



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

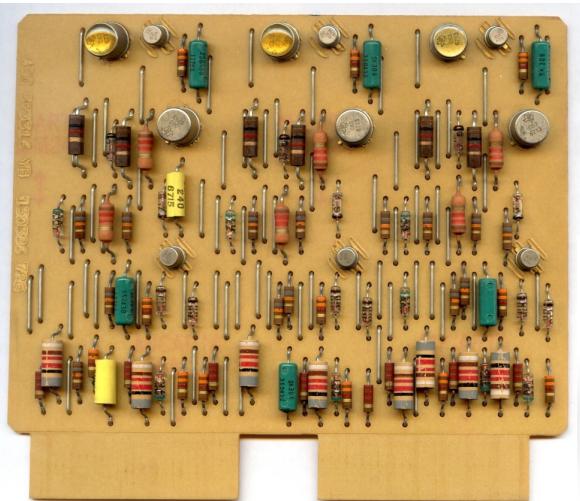
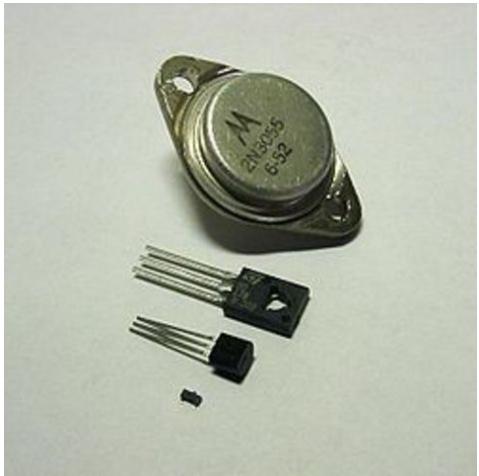
Breve introduzione ai mezzi trasmissivi

Franco CALLEGATI

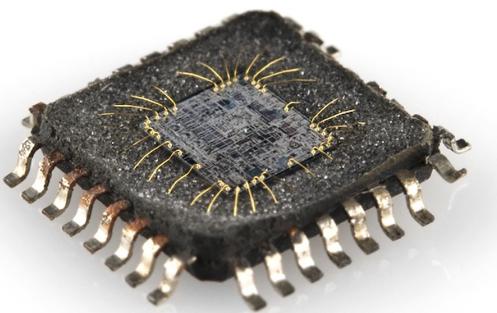
Dipartimento di Informatica: Scienza e Ingegneria



Lo sviluppo della microelettronica



1978	29.000
1985	275.000
1993	3.100.000
2004	112.000.000
2011	1.160.000.000
2013	5.000.000.000

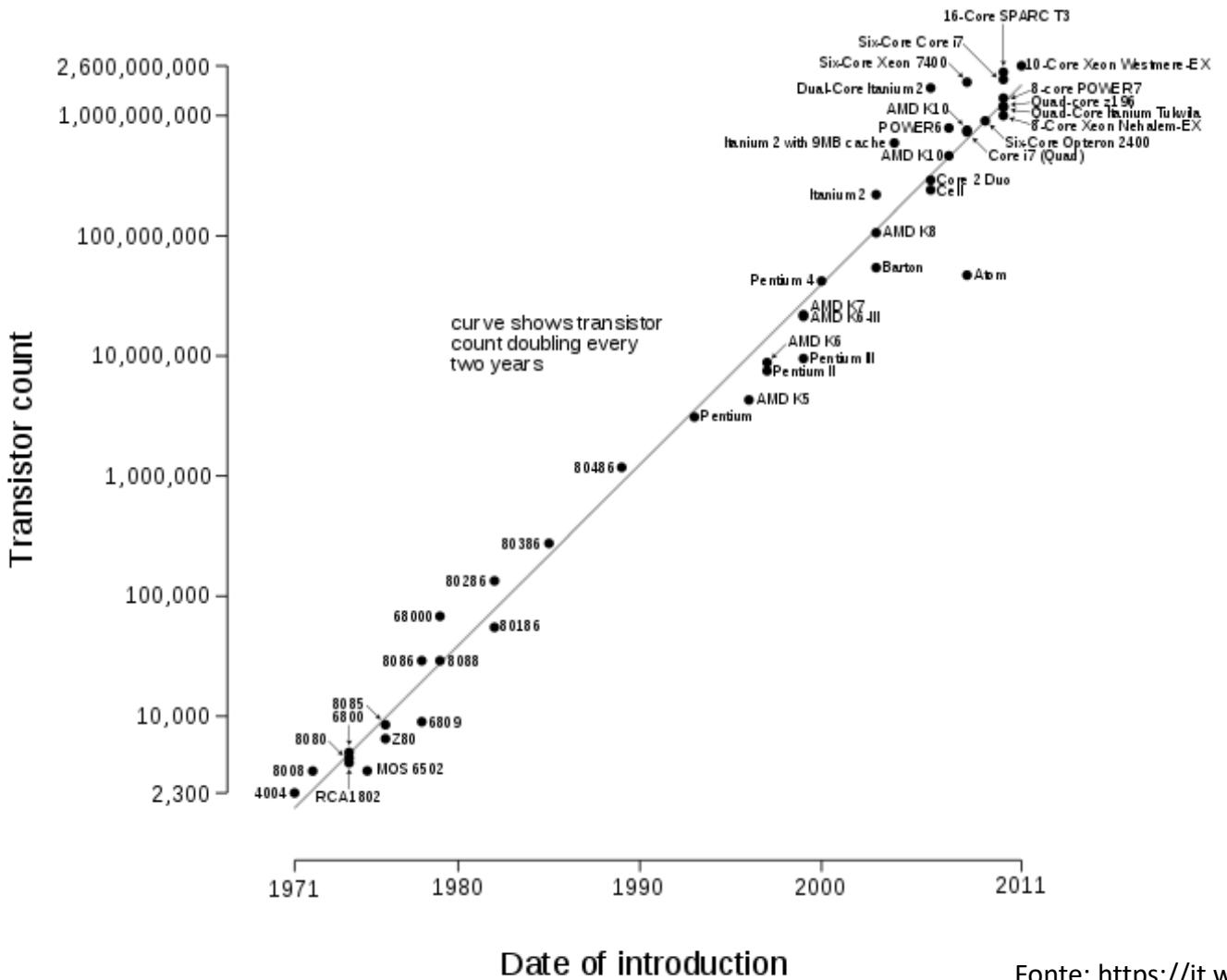


Prima Legge di Moore:
il numero di transistor per circuito
integrato raddoppia ogni anno e mezzo
circa



La prima legge di Moore

Microprocessor transistor counts 1971-2011 & Moore's law



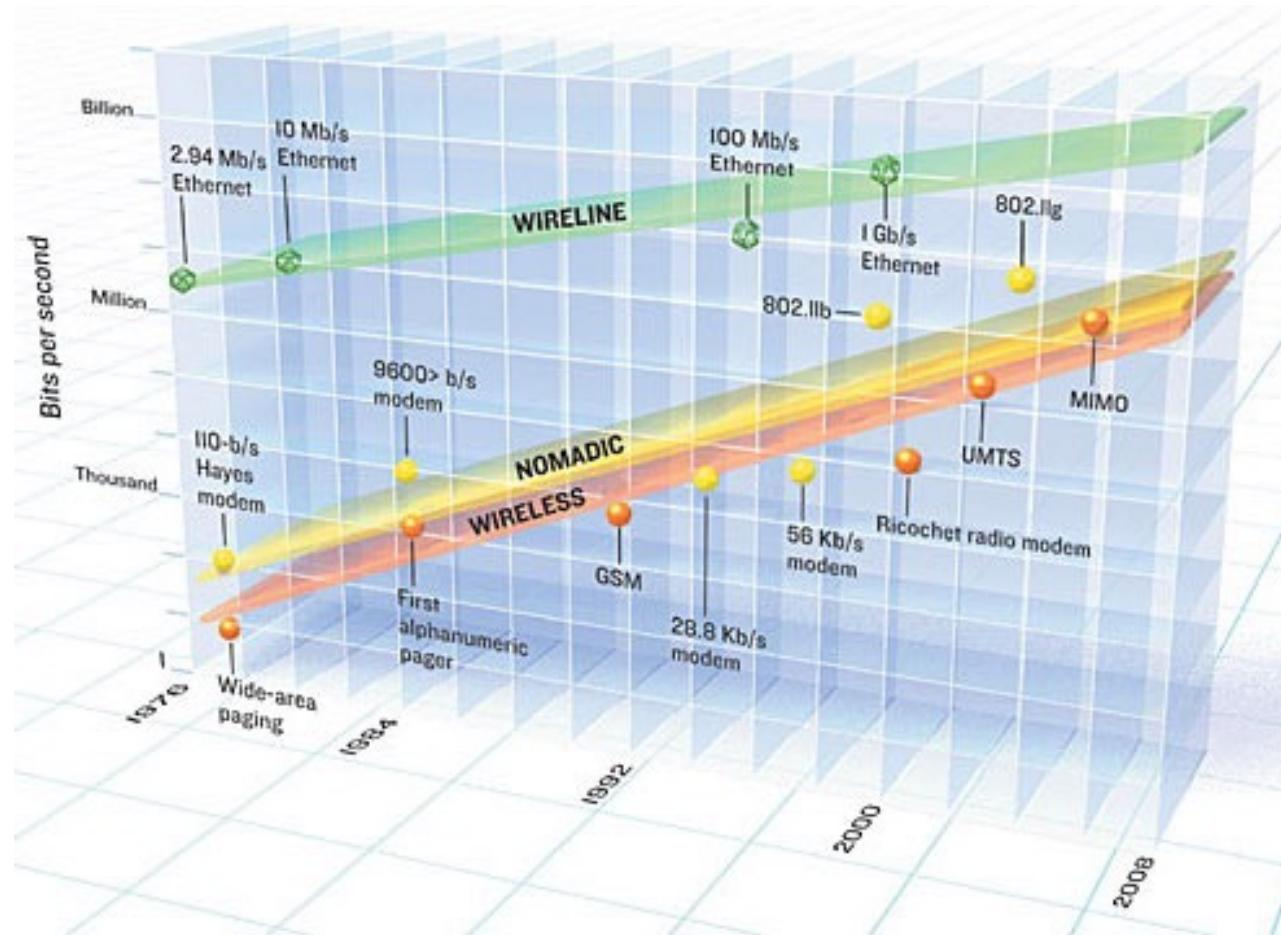
Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Moore

La Legge di Edholm mostra come la larghezza di banda nelle comunicazioni cablate e wireless sia cresciuta esponenzialmente, raddoppiando ogni 18 mesi, con un costo relativamente stabile.



Legge di Edholm

- Analoga alla legge di Moore: ogni circa 18 mesi la banda a disposizione dell'utente raddoppia, a costo circa costante





Attenuazione

L'attenuazione è il fenomeno per cui un segnale elettromagnetico perde parte della sua potenza mentre si propaga attraverso un mezzo di trasmissione.

- Qualunque mezzo trasmittivo degrada il segnale elettromagnetico mentre questo si sposta
- **Attenuazione** : misura di questo degrado, solitamente misurando la perdita di potenza del segnale

Solitamente l'attenuazione si misura in dB/km

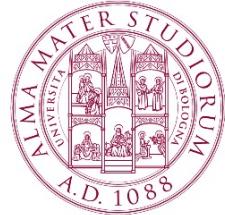
Decibel (dB) è un'unità logaritmica utilizzata per rappresentare rapporti di potenza. dB/km è un'unità pratica e standardizzata per quantificare la perdita di potenza su lunghe distanze, permettendo un confronto diretto tra tecnologie e materiali diversi.

Mezzo Trasmissivo: È il supporto fisico attraverso il quale i segnali viaggiano da un punto all'altro. Può essere costituito da cavi in rame, fibre ottiche o persino l'aria nel caso delle comunicazioni wireless.

Canale: Rappresenta una via di comunicazione o propagazione di un segnale, assumendo poi una varietà di significati più o meno specifici in base al contesto, comunque complementari tra loro. Si tratta di un elemento logico.

Collegamento: È l'insieme delle risorse fisiche e logiche che permettono la comunicazione tra due o più dispositivi in una rete. Include sia il mezzo trasmittivo sia i canali utilizzati per la trasmissione dei dati. Un collegamento può essere punto-punto o punto-multipunto.

Quindi, mentre il mezzo trasmittivo è ciò che esiste fisicamente, il canale rappresenta l'uso logico di quel mezzo per scopi di comunicazione.



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Mezzi trasmissivi in rame



Attenuazione

Coefficiente specifico del mezzo trasmittivo, che dipende dal materiale e dalle condizioni del sistema.

Rappresenta l'attenuazione espressa in decibel

$$A_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_T}{P_R} \right) = \alpha \sqrt{f_{MHz}} L$$

Diagramma esponenziale della perdita di potenza:

- Potenza trasmessa.
- Lunghezza del collegamento in chilometri.
- Potenza ricevuta.
- Frequenza del segnale in megahertz.

- **L'attenuazione cresce**

→ Più il segnale deve viaggiare lontano, maggiore sarà la perdita di potenza.

- Esponenzialmente con la lunghezza del collegamento

- Esponenzialmente con la radice della frequenza del segnale

Ciò significa che i segnali a frequenze più alte (ad esempio microonde o segnali ottici) subiscono maggiori perdite rispetto ai segnali a frequenze più basse (ad esempio onde radio).

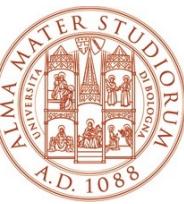
- In breve è molto difficile portare lontano segnali ad alta frequenza

→ Le alte frequenze, pur essendo utili per trasportare più dati (maggiore larghezza di banda), perdono energia più rapidamente a causa della loro maggiore attenuazione. Questo è uno dei motivi per cui, nelle comunicazioni su lunghe distanze, si utilizzano tecniche di rigenerazione del segnale o si prediligono mezzi trasmittivi con basse attenuazioni, come la fibra ottica.

Per ridurre l'attenuazione e garantire una comunicazione efficiente, si adottano soluzioni tecniche come:

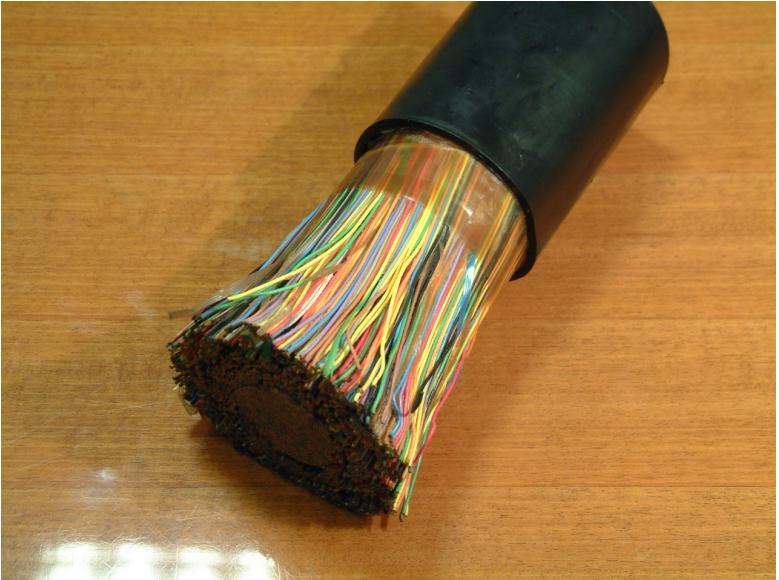
Amplificatori e ripetitori per compensare la perdita di potenza (si occupa di ripristinare e trasmettere il segnale degradato). Utilizzo di frequenze ottimali per il mezzo trasmittivo. Sviluppo di materiali e tecnologie a bassa attenuazione, come le fibre ottiche.

Anche se in un cavo, costituito da molte coppie bifilari in rame, si punta sul fatto che le coppie vicine non siano attive contemporaneamente, perché ci potrebbe essere interferenze elettromagnetiche tra i segnali

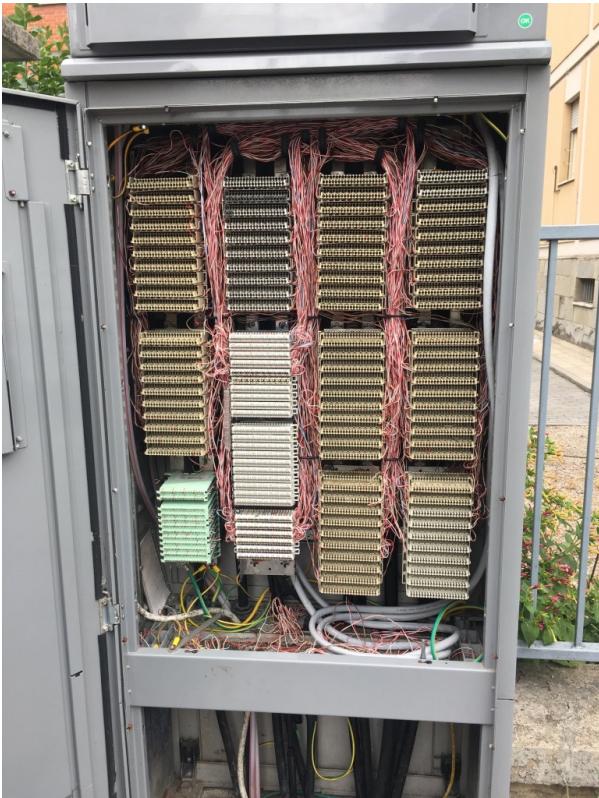


La rete telefonica di accesso

- Si sviluppa utilizzando coppie bifilari in rame
 - Due fili di rame accoppiati



Cavo telefonico urbano





Coppie intrecciate o Twisted Pair

- Agli inizi degli anni '90 si approfondiscono gli studi sulle coppie bifilari in due varianti

- Shielded twisted pair STP

- Nel cavo ogni coppia è avvolta in un conduttore che fa da schermo

Ogni coppia di fili è avvolta in uno schermo conduttore (solitamente una calza metallica o un foglio di alluminio). Lo scopo dello schermo è ridurre ulteriormente le interferenze elettromagnetiche ed interferenze tra coppie di fili.

- Maggiore costo del cavo

- Lo schermo deve essere messo a massa

(per scaricare le interferenze ed evitare accumuli di carica)

- Unshielded twisted pair UTP

Non ha schermature aggiuntive intorno ai fili intrecciati. Riduzione delle interferenze ottenuta unicamente tramite l'intreccio dei fili.

- Meno costose e più semplici da posare

- Vengono studiati modi per migliorare le prestazioni

(migliora la qualità del segnale)

- Aumentare il diametro dei conduttori e migliorare la qualità del dielettrico (riducono le perdite di segnale e le interferenze)
- Migliorare la regolarità e infittire il passo di avvolgimento

Per i cavi a coppie intrecciate

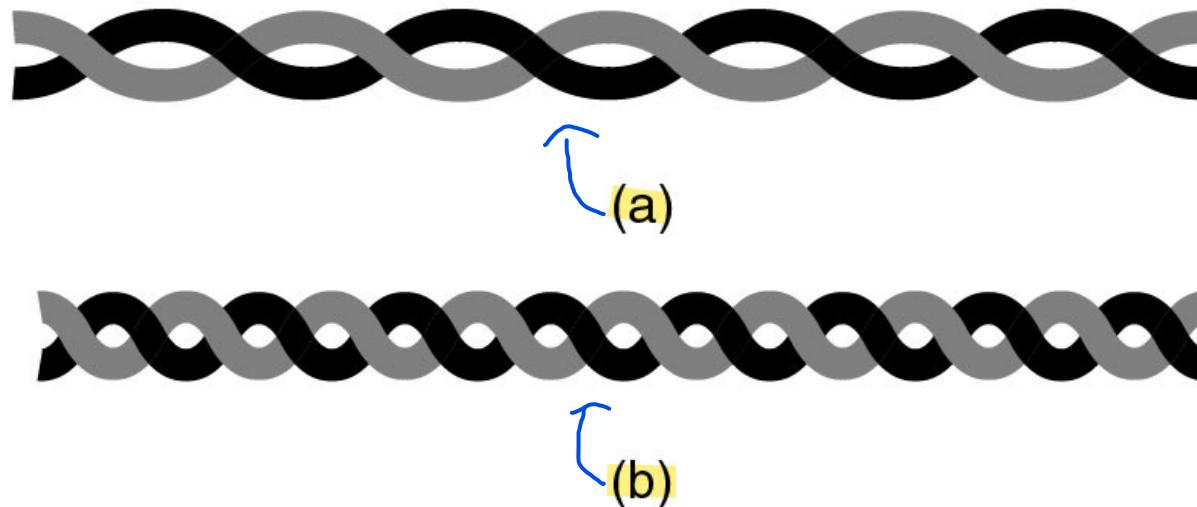
- Vengono definiti livelli di qualità detti Categorie

- Standardizzate da Cat. 1 a Cat 7

Per indicarne le prestazioni in termini di velocità di trasmissione e frequenza di trasmissione

Intrecciare i fili con maggiore precisione riduce le interferenze tra coppie di fili vicine.

Twisted Pair



da Tanenbaum

(a) Category 3 UTP.

(b) Category 5 UTP.

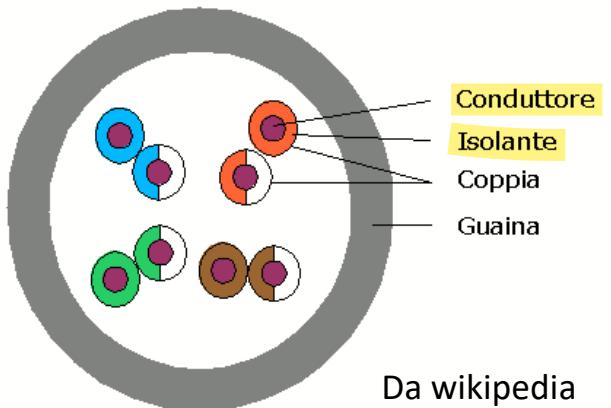
Velocità di Trasmissione

Categoria	Velocità (Mbit/s)
1	2
2	4
3	10
4	16
5	100

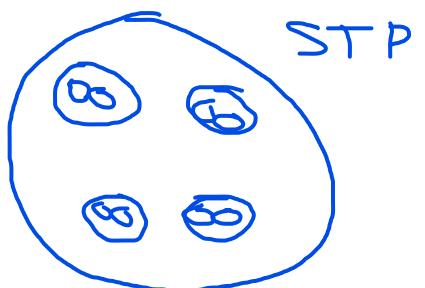
Categorie UTP e STP

- **Categoria 1:** (TIA/EIA-568-B). Usato per la Rete telefonica generale, ISDN e per i citofoni.
- **Categoria 3:** (TIA/EIA-568-B). Usata per reti con frequenze fino a 16 MHz, molto diffusa per le reti Ethernet a 10 Mbit/s.
- **Categoria 5 (non riconosciuta):** Usata per reti con frequenze fino a 100 MHz; come ad esempio ethernet a 100 Mbit/s.
- **Categoria 5e (TIA/EIA-568-B):** Usata per reti con frequenze fino a 200 MHz, come ad esempio fast ethernet e gigabit ethernet.
- **Categoria 6 (TIA/EIA-568-B):** Usata per reti con frequenze minima per certificazione 250 MHz.
- **Categoria 6a (TIA/EIA-568-B):** Usata per reti con frequenze fino a 500 MHz.
- **Categoria 7 (ISO/IEC 11801 Class F), nome informale.** Lo standard specifica 4 STP all'interno di un unico cavo. Concepito per trasmissioni sino a 600 MHz. Categoria
- **7a (ISO/IEC 11801).** Usata per reti con frequenze fino a 1 GHz.

UTP



Da wikipedia



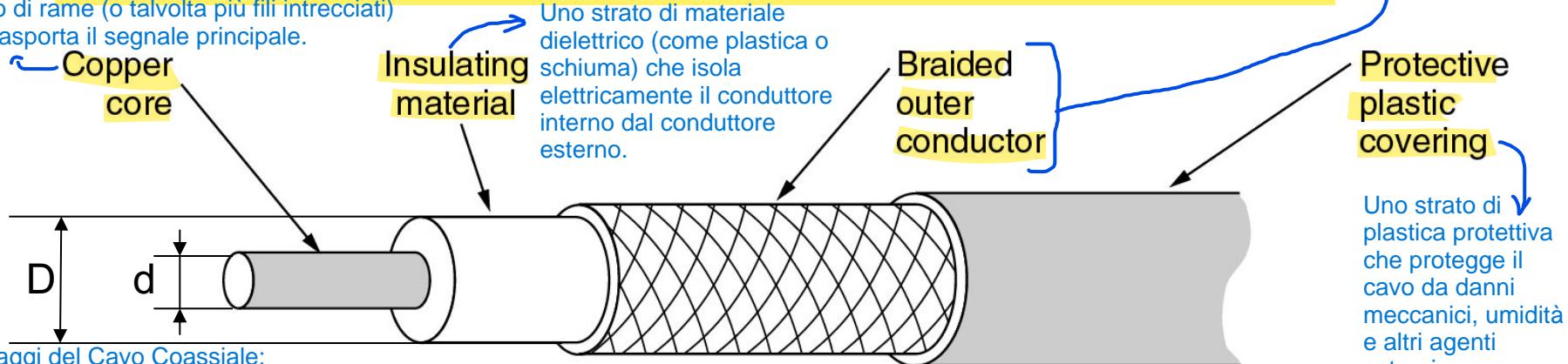
Un cavo coassiale è composto da più strati concentrici che garantiscono una trasmissione efficiente e riducono le interferenze.

Una treccia metallica o un foglio conduttore che avvolge il materiale isolante. Serve per Proteggere il segnale interno da interferenze elettromagnetiche ed agire come percorso di ritorno per il circuito elettrico del segnale.



Linee in rame: cavi coassiali

Un filo di rame (o talvolta più fili intrecciati) che trasporta il segnale principale.



Vantaggi del Cavo Coassiale:

Elevata capacità di trasmissione: Può trasportare segnali a larga banda, rendendolo ideale per TV via cavo e internet.

Buona protezione dalle interferenze: Grazie al conduttore esterno schermato.

Adatto a lunghe distanze: Minore attenuazione rispetto a cavi in rame non schermati.

da Tanenbaum

- Due conduttori cilindrici coassiali
 - D = diametro cavità conduttore esterno
 - d = diametro conduttore interno
- Quanto maggiore è D , tanto maggiore è il costo e tanto migliori sono le prestazioni
- Cavo coassiale normalizzato
 $d = 2.6 \text{ mm}$ $D = 9.5 \text{ mm}$ $A_{1 \text{ MHz}} = 2.35 \text{ dB/Km}$
- Multiplazione a divisione di frequenza (FDM)

Svantaggi

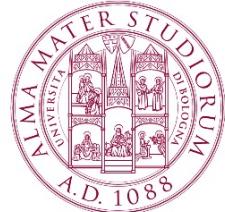
Costo: I cavi coassiali sono più costosi rispetto ad altri cavi in rame, come le coppie intrecciate.

Rigidità: Meno flessibili e più difficili da installare



Cavi coassiali per reti telefoniche





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Il mezzo radio



Radio comunicazioni

- Mezzo naturalmente broadcast
 - Vantaggioso per i servizi diffusivi
- Mezzo adatto alla mobilità
 - Non esiste vincolo fisico

Le radio comunicazioni permettono la trasmissione di un segnale da un unico trasmettitore verso più ricevitori contemporaneamente.

Le onde radio non richiedono un collegamento fisico (come un cavo) per trasmettere i segnali. I dispositivi mobili (smartphone, radio portatili, GPS) possono ricevere e trasmettere segnali ovunque si trovino, senza essere vincolati da una connessione fisica.

- Problema della condivisione dello spettro
 - Lo spettro radio è uno solo

Cos'è lo spettro radio?

È l'intervallo di frequenze utilizzate per le trasmissioni radio. Lo spettro radio è una risorsa finita e deve essere gestito con attenzione per evitare interferenze.

Qual è il problema?

Condivisione: Lo stesso spettro radio deve essere suddiviso tra molti utenti e servizi (radio, TV, telefoni cellulari, Wi-Fi, satelliti).

Interferenze: Se due o più trasmettitori utilizzano la stessa frequenza nella stessa area, i segnali interferiscono, causando una perdita di qualità.

Come si risolve?

15 Regolamentazione: Le autorità governative allocano bande di frequenza specifiche a diversi servizi.

Tecnologie avanzate: Tecniche come il multiplexing e il salto di frequenza riducono le interferenze e migliorano l'efficienza nell'uso dello spettro.



Radio comunicazioni

L'attenuazione rappresenta la perdita di potenza del segnale mentre viaggia attraverso il mezzo di trasmissione

• Attenuazione nei radiocollegamenti

- Cresce con la distanza con legge polinomiale
- Cresce con il quadrato della frequenza
- Le antenne diventano più efficienti quando la frequenza cresce

Un vantaggio delle alte frequenze è che le antenne necessarie per trasmettere o ricevere il segnale possono essere più piccole ed efficienti.

Le onde elettromagnetiche si propagano in modi diversi a seconda della frequenza.

• Le onde elettromagn. si propagano in linea retta

- Sotto i 3 MHz: visibilità diretta o onda di terra
- Fra 3 e 30 MHz: propagazione ionosferica
- Sopra i 30 MHz: solo visibilità diretta (ponti radio)

A frequenze alte (onde ultracorte), le onde radio viaggiano quasi esclusivamente in linea retta.

Non seguono la curvatura della Terra e non vengono riflesse dalla ionosfera.

Sono utilizzate per: Comunicazioni satellitari, Ponti radio terrestri, Wi-Fi e reti cellulari.

A queste frequenze (onde corte), le onde possono essere riflesse dalla ionosfera (uno strato dell'atmosfera).

Questo permette di trasmettere segnali su lunghe distanze senza bisogno di satelliti o ripetitori, ad esempio nelle trasmissioni radio amatoriali e a onde corte.

L'intensità del segnale diminuisce in modo proporzionale al quadrato (o a una potenza maggiore) della distanza dal trasmittitore.



più il segnale deve viaggiare lontano, più perde potenza, rendendo necessarie antenne più potenti o ripetitori.

Maggiore è la frequenza del segnale, maggiore è la perdita di potenza.



Comunicazioni Radio

- 1895: esperimento di Marconi ed invenzione delle radio-comunicazioni
 - Pontecchio Marconi
- 1901 : Prima trasmissione transatlantica
- All'inizio viene usata per portare segnali telegrafici (**telegrafo senza fili**)
- Applicazione ai **mezzi mobili**, in particolare navi
 - 1912 : salvataggio passeggeri del Titanic
- In seguito ai progressi dell'elettronica diventano possibili trasmissioni analogiche
 - **Radiodiffusione** (voce e musica)
 - **Telediffusione** (immagini e suoni)
- Dagli anni '90 emergono i servizi di radiocomunicazione mobile per telefonia (telefono cellulare)

La prima fase della telefonia mobile era caratterizzata da una copertura ampia ma inefficiente, con limitato accesso allo spettro e alti costi.
La seconda fase ha introdotto il concetto delle celle, utilizzando l'attenuazione a vantaggio per creare reti più dense, capaci e scalabili, rendendo possibile l'espansione della telefonia mobile come la conosciamo oggi (soprattutto: Riutilizzo delle frequenze (Ogni cella ha il proprio spettro), Maggiore densità di utenti e Scalabilità (aggiungendo nuove celle)).



Servizi su comunicazioni radio

- Sono possibili trasmissioni punto-multipunto
 - Servizi originali di diffusione (broadcasting)

- **Mobilità** Le comunicazioni radio non richiedono connessioni fisiche (come cavi), rendendole adatte alla mobilità.

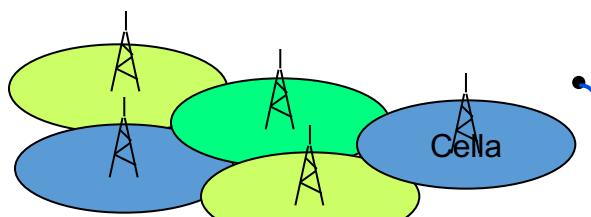
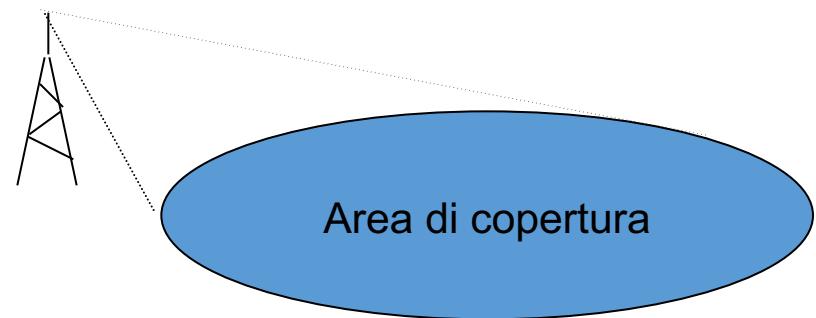
- **Limitazione delle risorse (lo spettro radio è finito)**

Lo spettro radio è l'insieme delle frequenze utilizzate per trasmettere segnali radio. Lo spettro è finito e deve essere condiviso tra molti servizi (radio, TV, telefoni cellulari, WiFi, comunicazioni militari, ecc.).

Obiettivo: Raggiungere il maggior numero possibile di utenti con un singolo segnale, ottimizzando l'uso delle risorse.
Pianificazione della localizzazione delle emittenti: Le antenne trasmittenti devono essere posizionate strategicamente per coprire ampie aree senza sovrapporsi con altre stazioni (evitando interferenze, essendo lo spettro radio finito).

Diffusione radiofonica/televisiva

- Raggiungere la maggior quantità di utenti possibili con un solo segnale
- Pianificazione della localizzazione delle emittenti



Sistemi radiomobili

- Segnale confinato in un'area limitata per poter riutilizzare lo spettro radio

Sistemi progettati per comunicazioni mobili, dove il segnale è confinato in aree geografiche definite (celle), consentendo il riutilizzo delle stesse frequenze in altre aree.

Come funziona?

Una rete cellulare divide il territorio in "celle", ciascuna servita da una stazione base (antenna).

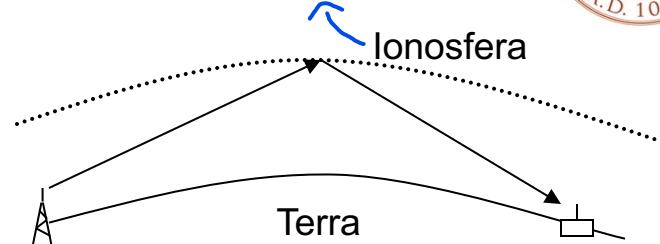
Questo approccio permette di: Massimizzare l'efficienza dello spettro e gestire più utenti nello stesso intervallo di frequenze.



Grande distanza

- Propagazione ionosferica
 - Servizio di radiodiffusione ad onda corta

La ionosfera è uno strato dell'atmosfera terrestre che riflette alcune frequenze di onde radio, permettendo la trasmissione su lunghe distanze senza bisogno di satelliti.



- Radiocommunicazione via satellite
 - 1957 : **Sputnik** primo satellite artificiale

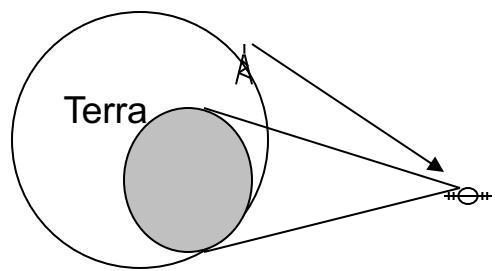
Risolvono i limiti delle onde corte, che dipendono dalla ionosfera e possono essere influenzate da condizioni atmosferiche e solari. Consentono una comunicazione diretta e stabile tra due punti distanti senza bisogno di riflessioni multiple.

- Satelliti per TLC (Satelliti per telecomunicazioni)

- Anni '60 : **Intelsat**
 - orbita geostazionaria (**GEO** = Geostationary Earth Orbit)
- Anni '70-'80
 - Satelliti molto semplici e stazioni a terra sofisticate e costose
 - Collegamenti televisivi transatlantici e mondovisione

I satelliti venivano posizionati in orbita geostazionaria (GEO), a circa 36.000 km dalla Terra, dove ruotano alla stessa velocità di rotazione terrestre, risultando "fissi" rispetto a un punto sul suolo.

- Anni '90
 - Satelliti sofisticati con buona potenza in trasmissione
 - La stazione a terra può diventare molto economica
 - Global Position System (**GPS**) → Sistemi di posizionamento e navigazione basati su satelliti.
 - Diffusione diretta da satellite (**DBS**) → Diffusione diretta di contenuti televisivi e radio.
 - Accesso ad internet tramite satellite → Connessione internet per aree remote dove i cavi terrestri non arrivano.



- Oggi
 - Costellazioni di satelliti sofisticati che formano una rete
 - **MEO**: Medium-Earth Orbit (da 10000 a 5000 Km di altezza)
 - **LEO**: Low-Earth Orbit (<5000 Km di altezza)

Si è passati dall'uso di singoli satelliti a reti di satelliti, che lavorano insieme per coprire l'intero pianeta.

Sistemi cellulari

- Principale applicazione: telefonia mobile
- Nuovo modo di usare i radiocollegamenti
 - La potenza trasmessa è piccola → Ogni cella utilizza segnali a bassa potenza, sufficienti per coprire una piccola area geografica, riducendo l'interferenza tra celle adiacenti.
 - I segnali interferiscono solamente fra celle adiacenti
 - Le frequenze possono essere riusate in celle non adiacenti
 - Gruppi di celle (**cell clusters**)
 - Con un centinaio di canali si può servire una quantità molto elevata di utenti
 - Sono necessari terminali molto sofisticati

Gli utenti possono spostarsi tra reti di diversi operatori e continuare a utilizzare il servizio, grazie agli accordi tra le reti.

- Copertura nazionale, ma limitato in capacità e qualità rispetto ai sistemi successivi.
- **Sistema ETACS a 900 MHz (analogico, copertura nazionale)**
- Copertura mondiale. Maggiore capacità di utenti simultanei. Servizi più avanzati
- **Global System Mobile (GSM): digitale, a copertura mondiale**
- **Sistemi di III, IV e V generazione**
 - Terminali con capacità multimediali

Questi sistemi hanno introdotto:

3G: Capacità multimediali come videochiamate e internet mobile.

4G: Velocità elevate per streaming video e applicazioni internet avanzate.

5G: Connessioni ultra veloci, bassa latenza e supporto per miliardi di dispositivi (Internet of Things).

Rete di Accesso (Antenne) deve permettere ad utenti di diverse reti di antenne di comunicare (avviene tramite rete di trasporto che lega le varie reti di accesso tra loro). Telefono comunica sempre con la rete per decidere/farsi localizzare nella rete. Il numero di telefono è virtuale, che permette di spostarsi in reti diverse con stesso numero (ciò permette di essere sempre localizzato). Insieme all'antenna (parte fisica), c'è anche la parte logica che si occupa di gestire i vari collegamenti.

In un cluster:

Ogni cella usa un sottoinsieme unico di frequenze all'interno del blocco assegnato al suo operatore.

Le celle di operatori diversi non interferiscono perché usano blocchi di frequenze separati.

Le celle dello stesso operatore in cluster non adiacenti possono riutilizzare le stesse frequenze.

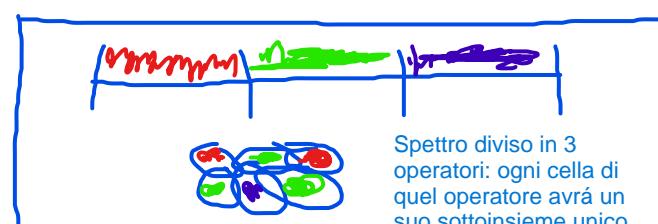
Ogni cella utilizza segnali a bassa potenza, sufficienti per coprire una piccola area geografica, riducendo l'interferenza tra celle adiacenti.

Le stesse frequenze possono essere riutilizzate in celle non adiacenti, migliorando l'efficienza dello spettro radio disponibile.

Le celle sono organizzate in gruppi (cluster). Ogni cluster usa un set unico di frequenze, mentre i cluster non adiacenti riutilizzano lo stesso set.

Il telefono seleziona automaticamente la frequenza più appropriata per comunicare con la cella.

Quando un utente si sposta da una cella all'altra, il sistema trasferisce automaticamente la connessione al nuovo punto di accesso senza interruzioni.





Osservazioni sulle reti radio

→ I ponti radio e i satelliti sono infrastrutture che permettono di trasmettere segnali radio su grandi distanze senza bisogno di cavi fisici.

- I ponti radio ed i satelliti sono il modo più economico e veloce per distribuire servizi di telecomunicazione in territori vasti e poco densamente popolati
- Il mezzo di propagazione radio è condiviso: ci sono forti problemi di banda, si può utilizzare solo un numero limitato di canali
- Il mezzo radio è vulnerabile ai disturbi
 - Molti collegamenti presentano una probabilità di fuori servizio per fenomeni atmosferici
 - Possibili sabotaggi →
 - Intercettazioni: Altri possono captare i segnali.
 - Interferenze intenzionali: Il segnale può essere disturbato da emettitori che generano rumore.
 - Danneggiamento delle infrastrutture: Antenne e stazioni di trasmissione possono essere bersagli di sabotaggi fisici.



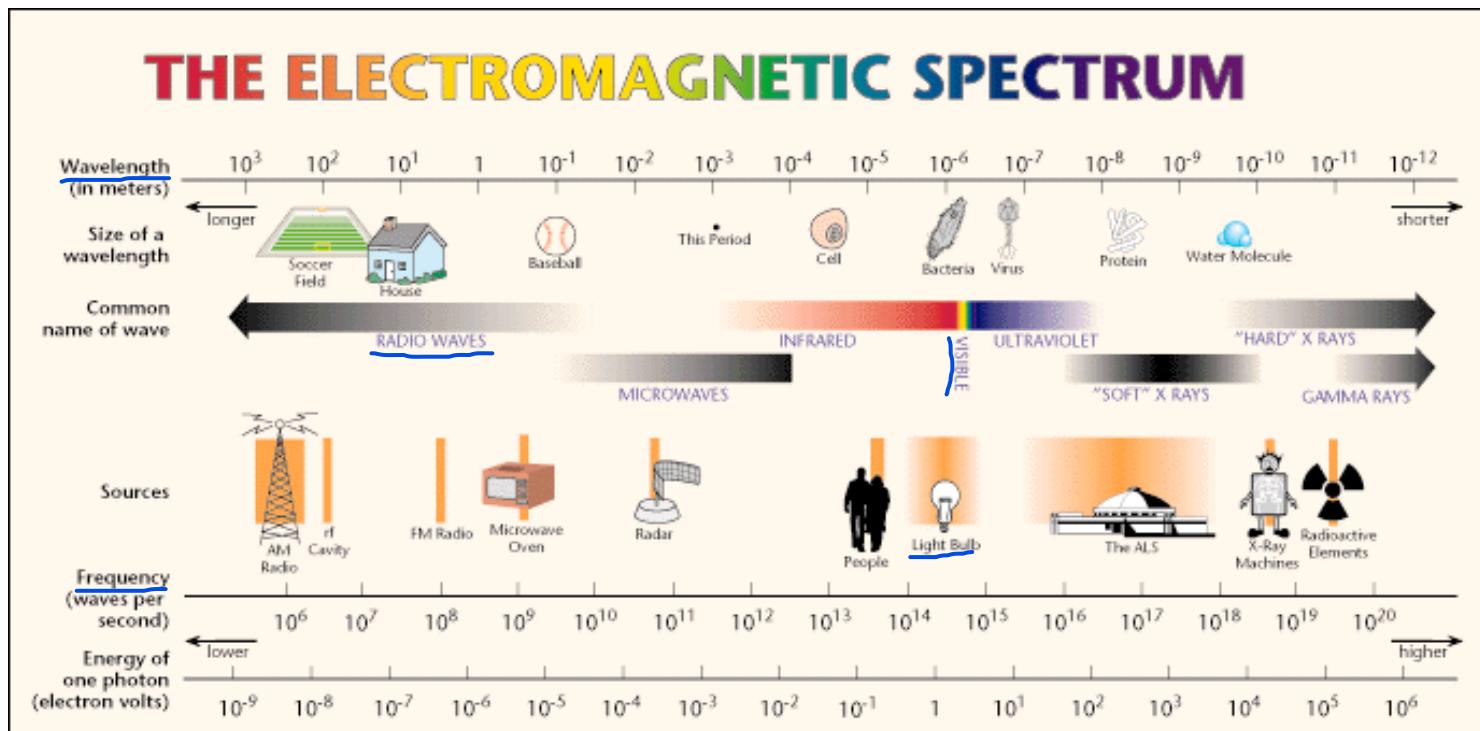
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

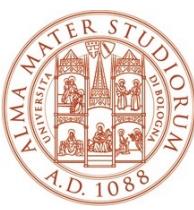
Fibra ottica



Comunicare con la luce?

- Utilizzare la luce per trasportare l'informazione
- In senso generale l'idea è ben nota agli esseri umani da moltissimo tempo





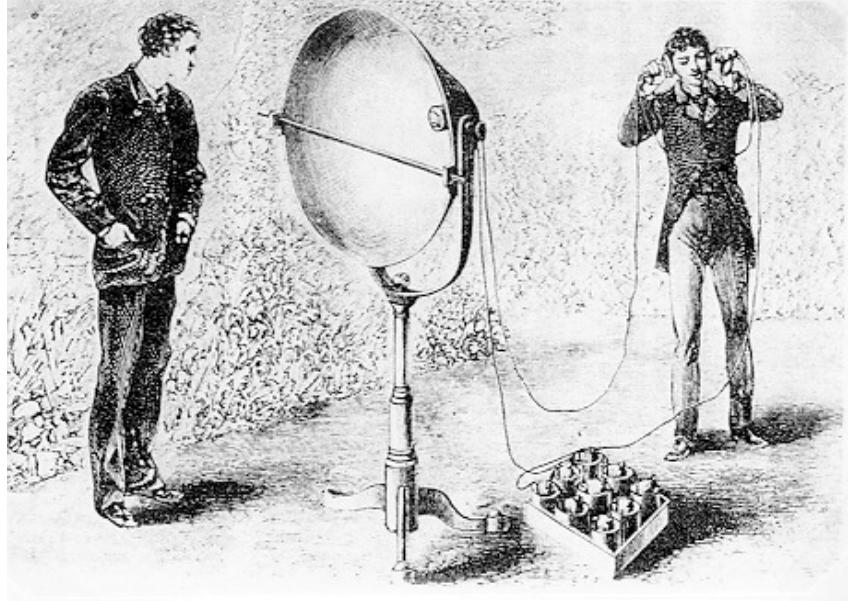
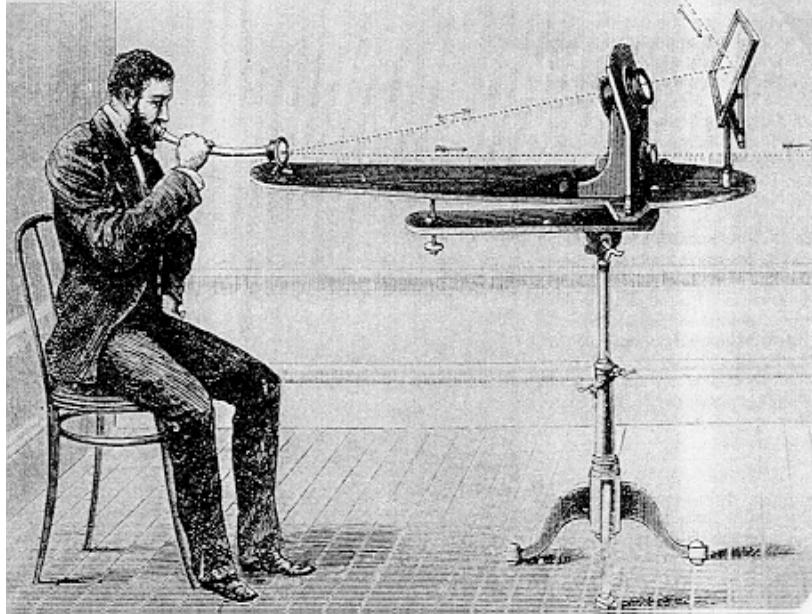
Nella storia

- Il sole o un fuoco generano la luce che porta un messaggio visibile da un osservatore lontano
 - Specchi sulle navi romane
 - Bandiere (Gengis Kan ≈1100)
 - Aztecs (Montezuma ≈1500)
 - Bandiere su torri (England ≈ 1600)

È stato progettato per convertire le vibrazioni sonore in variazioni di intensità della luce, trasmetterle attraverso un fascio luminoso e riconvertirle in suono all'arrivo.



Il Fotofono (1880)

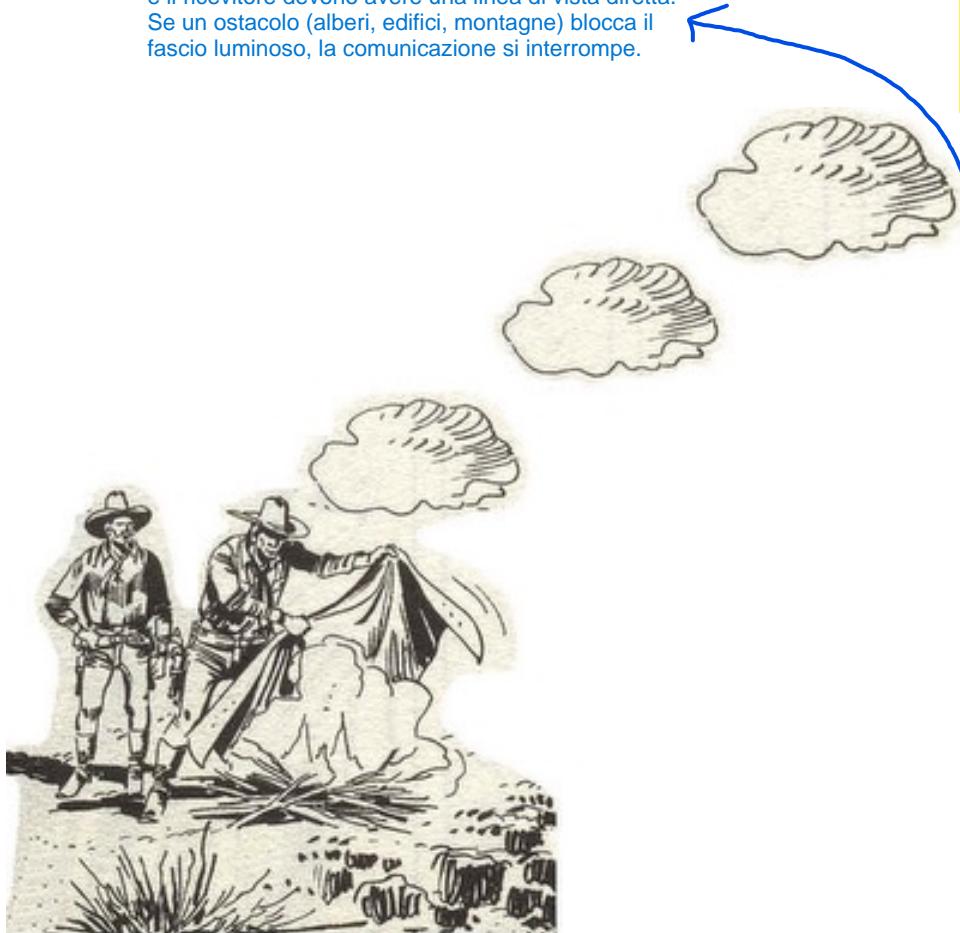


N.B. Per la prima volta il ricevitore non e' l'occhio
ma un dispositivo (in selenio).



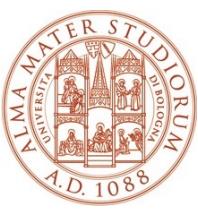
Problemi ?

Perché la comunicazione ottica funzioni, il trasmettitore e il ricevitore devono avere una linea di vista diretta. Se un ostacolo (alberi, edifici, montagne) blocca il fascio luminoso, la comunicazione si interrompe.

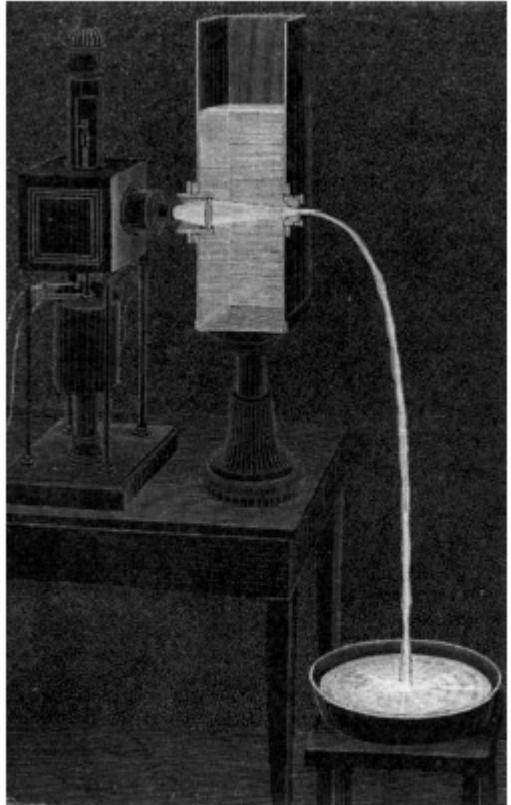


• Comunicazione ottica nello spazio libero:

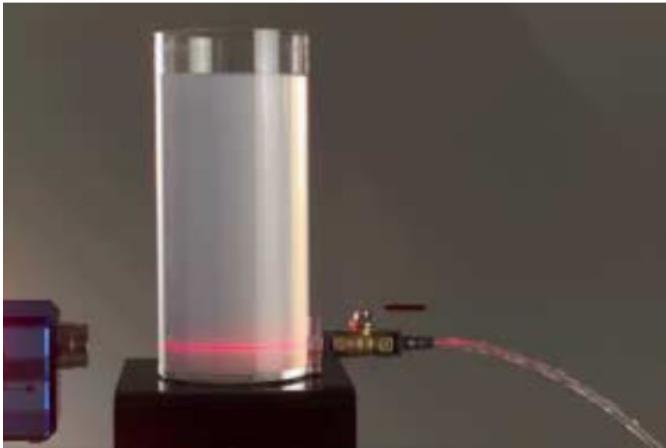
- Non è segreta → I segnali luminosi trasmessi nello spazio libero sono visibili a chiunque si trovi lungo il percorso del fascio di luce.
- Richiede visibilità
- Sensibile alle condizioni climatiche



Guidare la luce

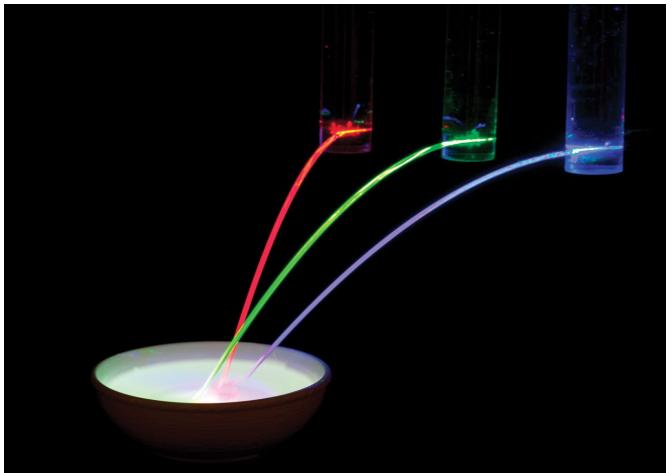


John Tyndall's light fountain (1870) : light can travel through a curved jet of water



<http://www.i-fiberoptics.com/educ/Tyndall.pdf>

Figure 1: John Tyndall's “light guiding” experiment (recreation from Daniel Colladon, “La Fontaine Colladon,” *La Nature* 2nd half year 1884, p. 325).





Dalla teoria alla pratica

- 1870 : Esperimento di Tyndall
- Circa 1960 : prime trasmissioni in fibra ottica
- Perché 100 anni?
 - Nelle realizzazioni tecnologiche spesso vi è un abisso fra la dimostrazione teorica e la realizzabilità pratica

↳ Tecnologie abilitanti

↳ Quali tecnologie hanno reso possibile la fibra ottica?

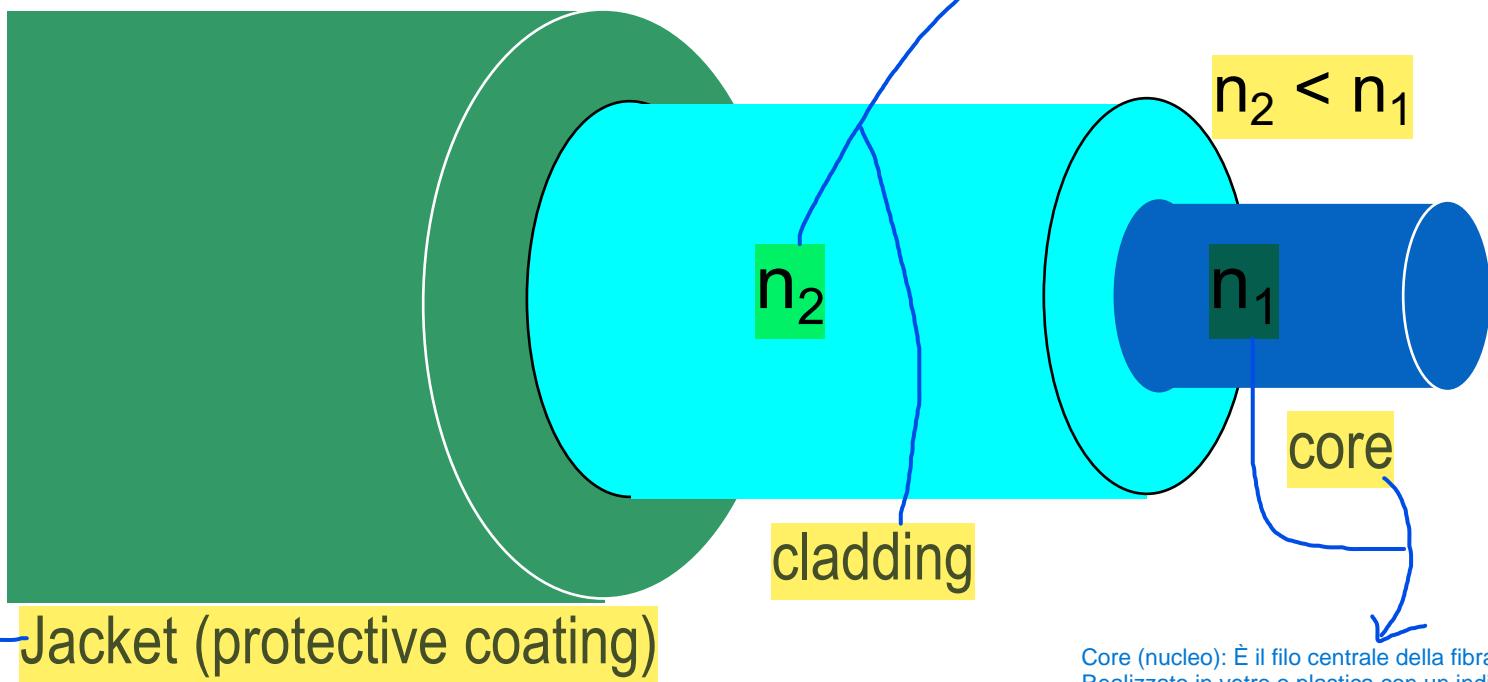
- Laser (1960): Fornì una sorgente di luce altamente coerente e adatta per la trasmissione a lunga distanza.
- Fibre a bassa attenuazione.
- Fotodiodi e amplificatori ottici: Strumenti per convertire il segnale luminoso in segnali elettrici e viceversa, migliorando la qualità delle comunicazioni.

La fibra ottica

La differenza tra n_1 (core) e n_2 (cladding) è essenziale per creare il fenomeno della riflessione interna totale.
Senza questa differenza, la luce non rimarrebbe confinata nel core e si disperderebbe nel cladding, perdendo il segnale.

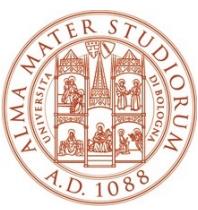
- Filamento di vetro o plastica
 - Molto sottile
 - A densità differenziata

Cladding (mantello): È lo strato che avvolge il core, realizzato con un materiale di indice di rifrazione inferiore (n_2) rispetto a n_1 . Crea il confine necessario per far riflettere la luce all'interno del core, mantenendola confinata. Questo processo di riflessione interna totale permette alla luce di viaggiare lungo la fibra senza disperdersi.

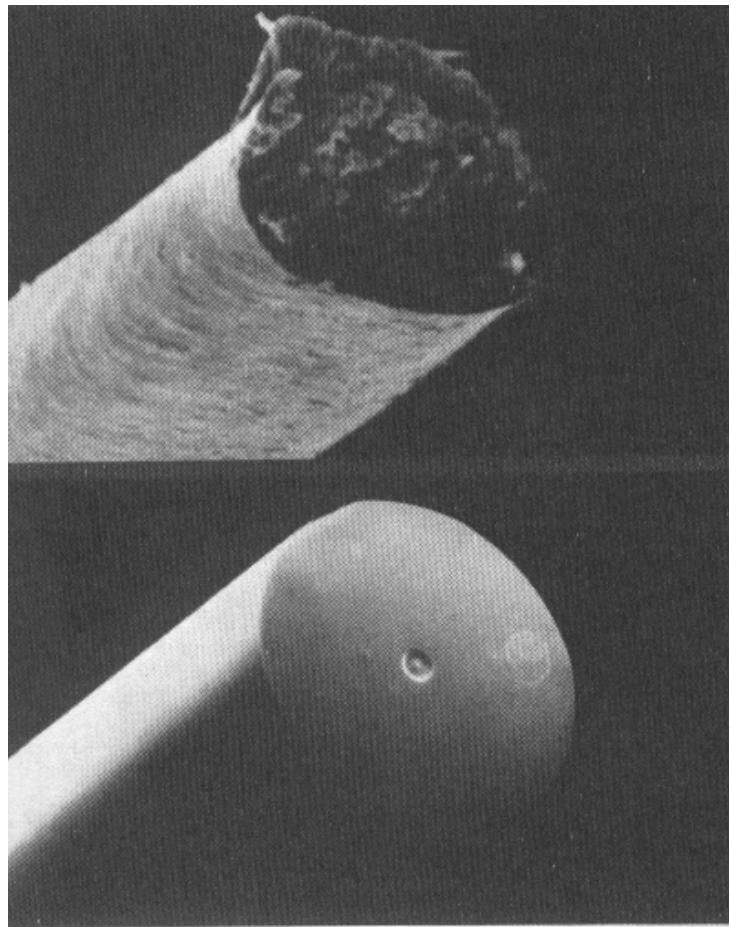


Jacket (rivestimento protettivo): È lo strato esterno della fibra, solitamente in plastica o gomma. Protegge il core e il cladding da danni fisici, umidità e contaminazione.

Core (nucleo): È il filo centrale della fibra, dove viaggia la luce. Realizzato in vetro o plastica con un indice di rifrazione più alto (n_1) rispetto agli strati esterni. Permette il trasporto del segnale luminoso grazie al fenomeno della riflessione interna totale.



Dimensioni della fibra



← human hair
(mean diameter : 80 μm)

← optical fibre
(diameter : 125 μm)

From Tricker R.L., "Optoelectronic Line Transmission",
Heinemann Newnes, 1989



Quale vetro

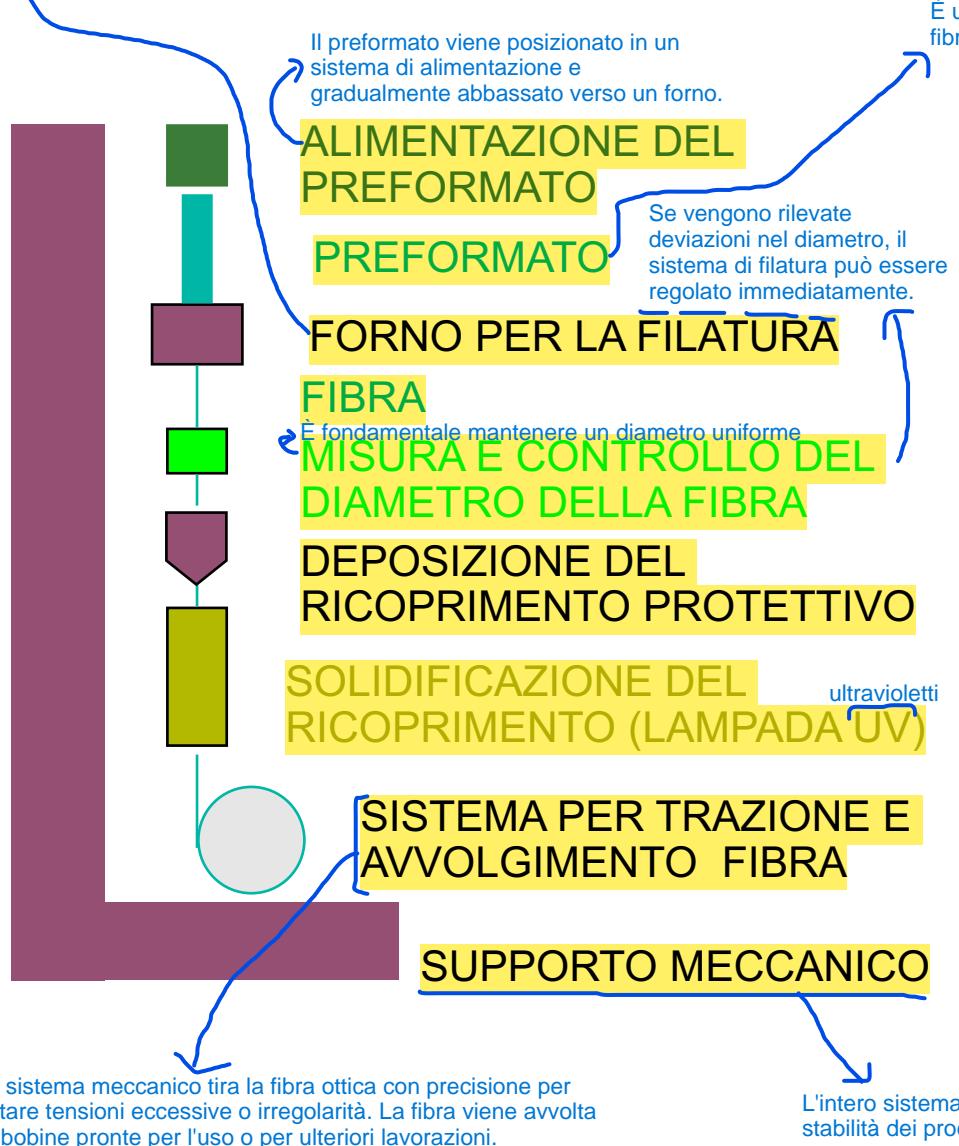
- Il vetro comunque assorbe parte della luce che lo attraversa Questo assorbimento è descritto in termini di attenuazione, misurata in dB/km.
- L'Intensità del raggio luminoso diminuisce mano a mano che questo attraversa il vetro Man mano che la luce viaggia attraverso il vetro, la sua intensità si riduce gradualmente. La quantità di riduzione dipende dalla qualità e dalla purezza del materiale
- Quanta strada può percorrere un raggio luminoso prima che la sua intensità dimezzi?
 - 3 cm nel vetro comune (100000 dB/km)
 - 3 m in un vetro di alta qualità (1000 dB/km)
 - ↳ 15 km in una fibra ottica di media qualità (0.2 dB/km)

↳ Il vetro delle fibre ottiche è prodotto usando biossido di silicio.



Quando il vetro raggiunge lo stato semi-liquido, un filo sottile di vetro (fibra) viene estratto dalla base del preformato grazie alla forza di gravità ed a un sistema di trazione. Risultato: Si forma un filamento continuo (fibra) con un diametro estremamente piccolo

Come si costruisce la fibra



È una barra cilindrica di vetro puro (biossido di silicio) che funge da "base" per creare la fibra ottica. Contiene il core e il cladding già definiti con i rispettivi indici di rifrazione.



Fibre ottiche

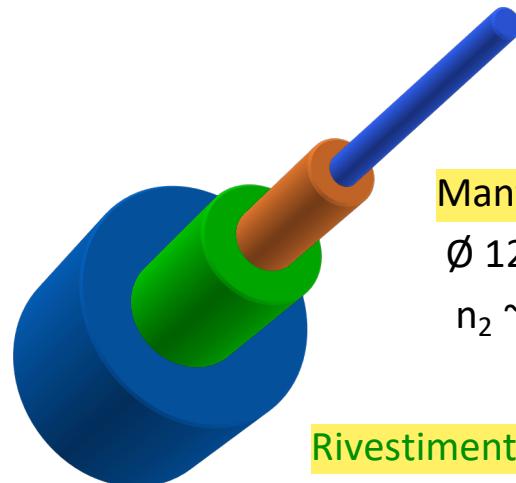
In silice

Nucleo (Core): $\text{SiO}_2 + \text{GeO}_2$

$\varnothing 8\text{-}10 \mu\text{m}$ (MonoModo),
per aumentare l'indice di rifrazione.

$\varnothing 50, 62.5 \mu\text{m}$ (MultiModo),

$n_1 \sim 1.443$



Rivestimento secondario $\varnothing 1 \text{ mm}$

In plastica

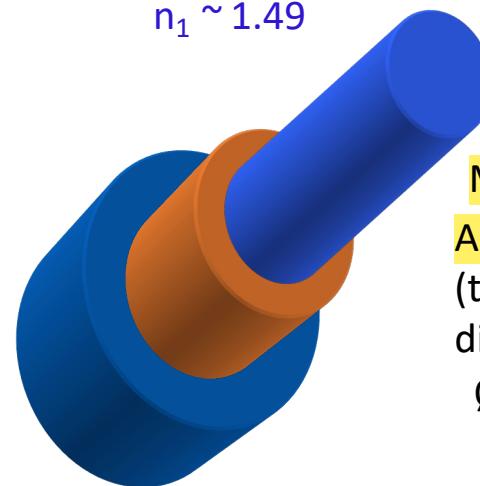
Nucleo (Core):

PoliMetilMetaAcrilato (PMMA),

Polimero Perfluorinato (CYTOP), ...

$\varnothing 62.5 \mu\text{m} - 980 \mu\text{m}$

$n_1 \sim 1.49$



Rivestimento esterno $\varnothing \sim 2 \text{ mm}$

Le fibre ottiche in plastica sono meno costose e più flessibili rispetto a quelle in silice, ma hanno prestazioni inferiori in termini di attenuazione e capacità di trasmissione.

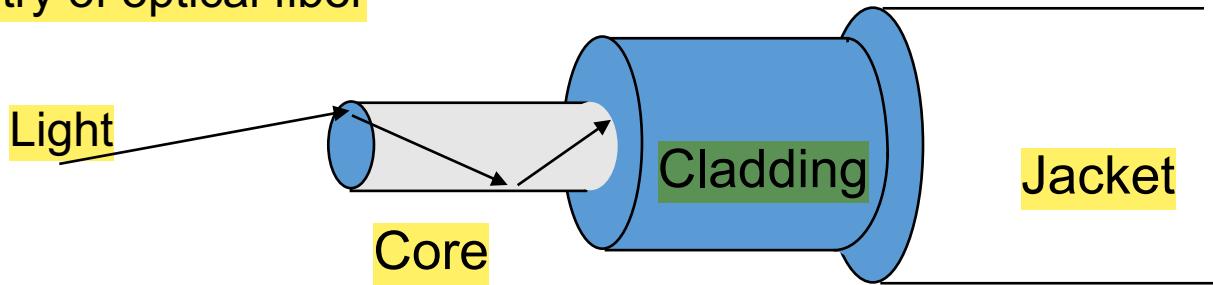


Alcune date

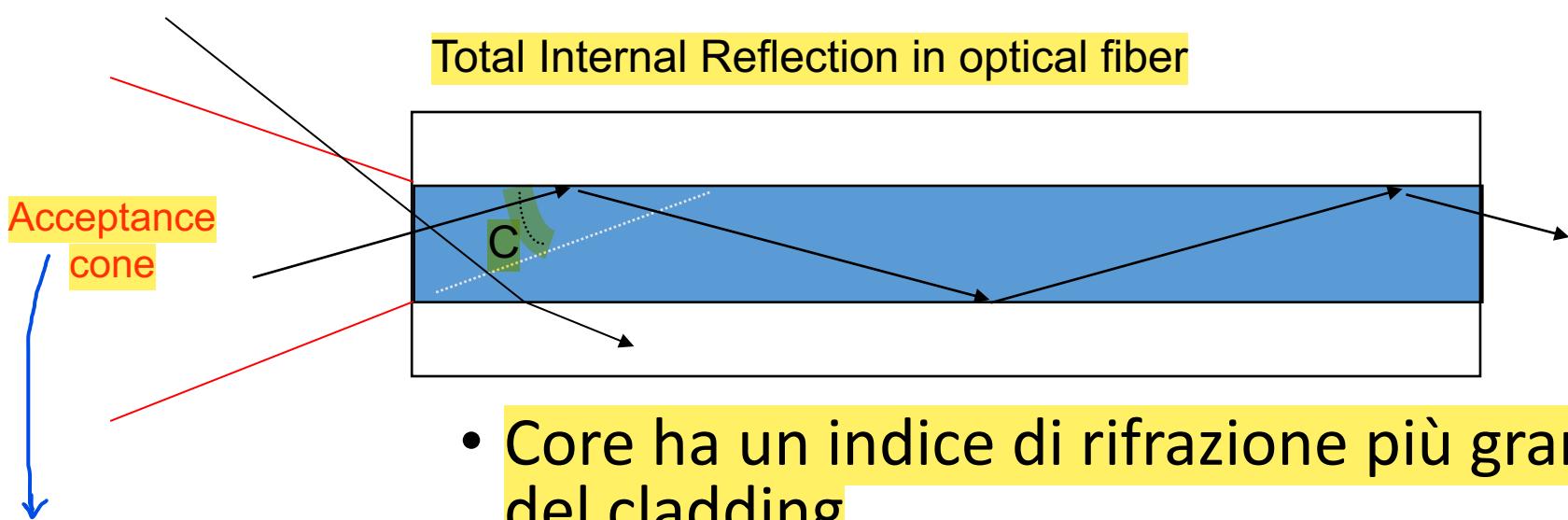
- 1962: first GaAs laser diodes (General Electric: Robert Hall et al.)
- 1970: first true optical fibre (multimode) exhibiting 17 dB/km at 633 nm (CORNING)
- 1972: first CW laser diodes operating at room temperature
- 1974: fibre attenuation goes down to 3 dB/km at 0,85 μm (CORNING). 1975: FP laser diodes (GaAs) and APD photodiodes APD (Si) commercially available
- 70's : PDH standardisation : 1.5-2/6-8/34/140 Mbps Plesiochronous Digital Hierarchy
- 1977: First 6 Mbps link over MM fibre deployed in Long Beach Ca.

Come funziona

Geometry of optical fiber



Total Internal Reflection in optical fiber



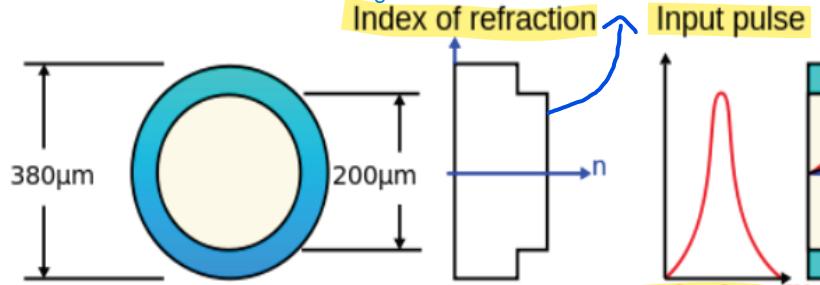
- Core ha un indice di rifrazione più grande del cladding
- I raggi di luce che colpiscono la discontinuità ad un angolo inferiore a quello critico sono rilessi completamente

È l'angolo entro il quale i raggi di luce possono entrare nel core ed essere confinati tramite riflessione interna totale.

Tipi di fibre ottiche

La dispersione modale distorce il segnale, rendendo questa fibra meno adatta per trasmissioni a lunga distanza.

La differenza netta di indice tra core e cladding crea un "gradino" nell'indice di rifrazione.

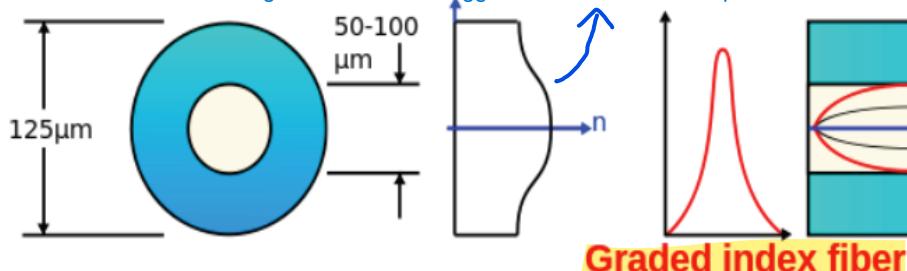


I diversi raggi seguono percorsi di lunghezza diversa, causando un fenomeno chiamato dispersione modale.

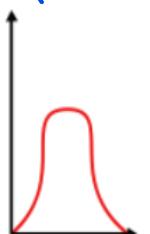
Output pulse

Multimode fiber

Il core ha un indice di rifrazione che diminuisce gradualmente dal centro verso il cladding. La velocità dei raggi varia a seconda della posizione nel core

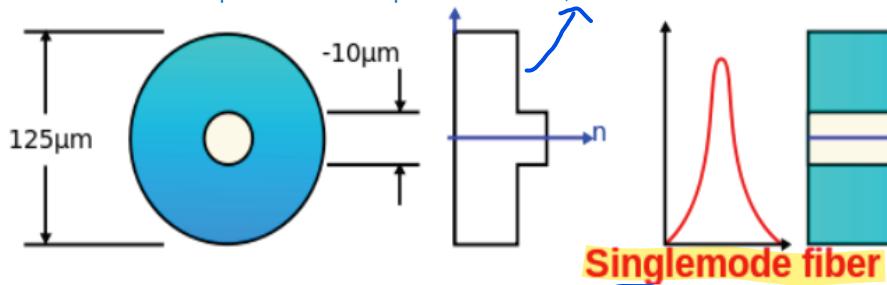


La dispersione modale è significativamente ridotta rispetto alla fibra a indice gradino.

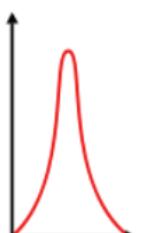


Graded index fiber

La luce viaggia in linea retta, senza rimbalzi o percorsi multipli. Questo elimina quasi completamente la dispersione modale, rendendo la trasmissione estremamente efficiente.



Ideale per trasmissioni su lunghe distanze con altissima capacità di dati.



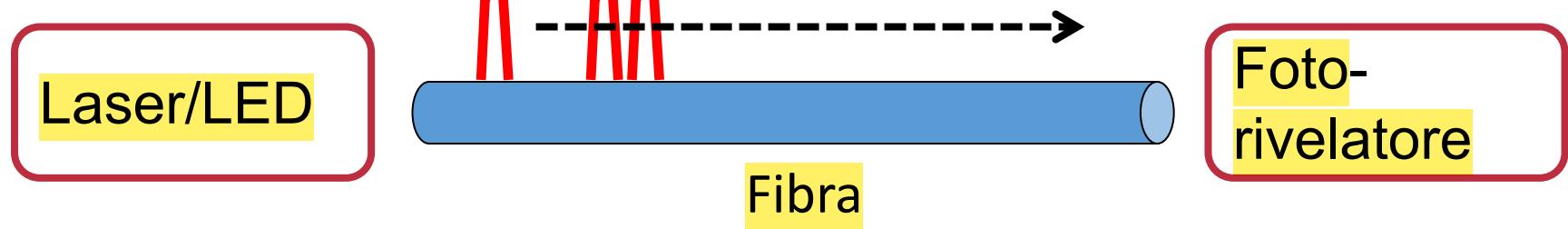
Singlemode fiber

Singlemode fiber

Il sistema di trasmissione

- I sistemi tradizionali in fibra utilizzano una tecnica detta On/Off Keying (OOK)
Gli impulsi luminosi generano una sequenza di dati digitali trasmessi lungo la fibra.
ON: La luce è accesa per rappresentare un bit 1.
OFF: La luce è spenta per rappresentare un bit 0.
- La sorgente di luce (laser, LED) genera impulsi luminosi
- Gli impulsi
 - Si propagano nella fibra per grandi distanze (>1000 km)
 - Possono essere generati a grandissima velocità (>40 Gb/s/wavelength)
- Un rivelatore (fotodiodo) riceve gli impulsi → Il fotodiodo riceve gli impulsi luminosi in uscita dalla fibra e li converte in segnali elettrici.
La propagazione è praticamente priva di errore (BER of 10⁻¹⁵)

Il sistema è estremamente affidabile, con un tasso di errore (BER - Bit Error Rate) estremamente basso(10^{-15}), il che significa praticamente zero errori.





Il paradosso delle fibre ottiche

- In generale nella tecnologia
 - Un aumento di prestazioni *implica* un aumento di costo
- Invece, 
 - Le fibre ottiche aumentano moltissimo le prestazioni con un aumento di costo minimo se non nullo

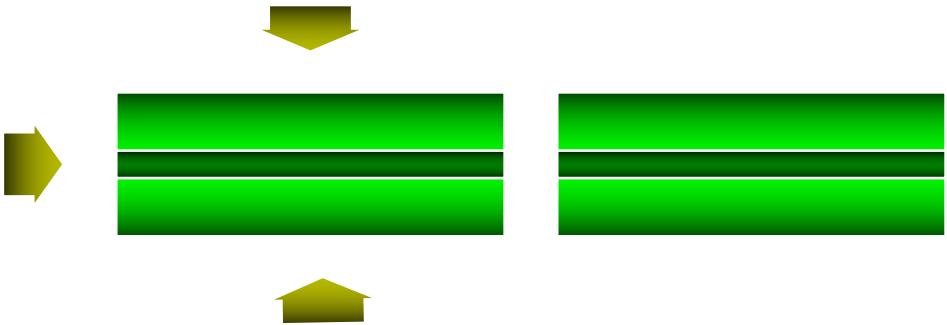


Ma qualche problema c'è?

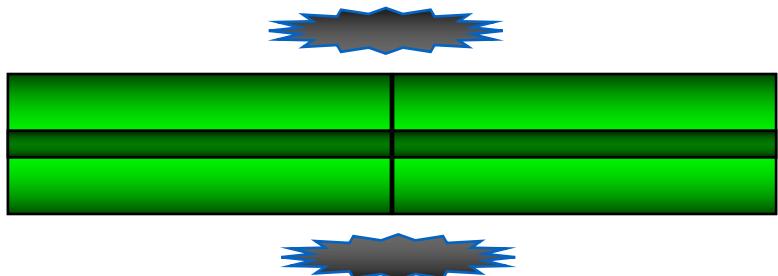
- Rispetto ai cavi in rame le fibre ottiche sono più difficili da giuntare →
Richiede precisione estrema, perché la fibra ottica è molto sottile (circa 125 micro metro di diametro esterno) e la trasmissione del segnale dipende dalla luce che viaggia nel core. Anche un piccolo disallineamento tra le estremità delle fibre può causare perdite significative di segnale.
- Si possono avere
 - Giunti stabili →
Questi giunti sono permanenti e vengono effettuati con tecniche come la fusione a caldo (fusion splicing) (Richiedono strumenti specializzati e operatori esperti). Due estremità della fibra vengono riscaldate e unite, formando una connessione stabile e quasi priva di perdite.
 - Joints (loss < 0.01 dB)
 - Giunti temporanei
 - Connectors (loss < 0.1 dB)
Utilizzano connettori meccanici che permettono di unire temporaneamente due fibre.
- L'elemento critico è la stabilità dell'allineamento
L'allineamento preciso delle fibre è fondamentale per ridurre al minimo la perdita di segnale. Anche un leggero disallineamento (a livello di micron) può causare dispersione della luce, aumentando le perdite.

Giunto stabile

- Allineamento



- ◆ Flash elettrico che fonde le due fibre in una



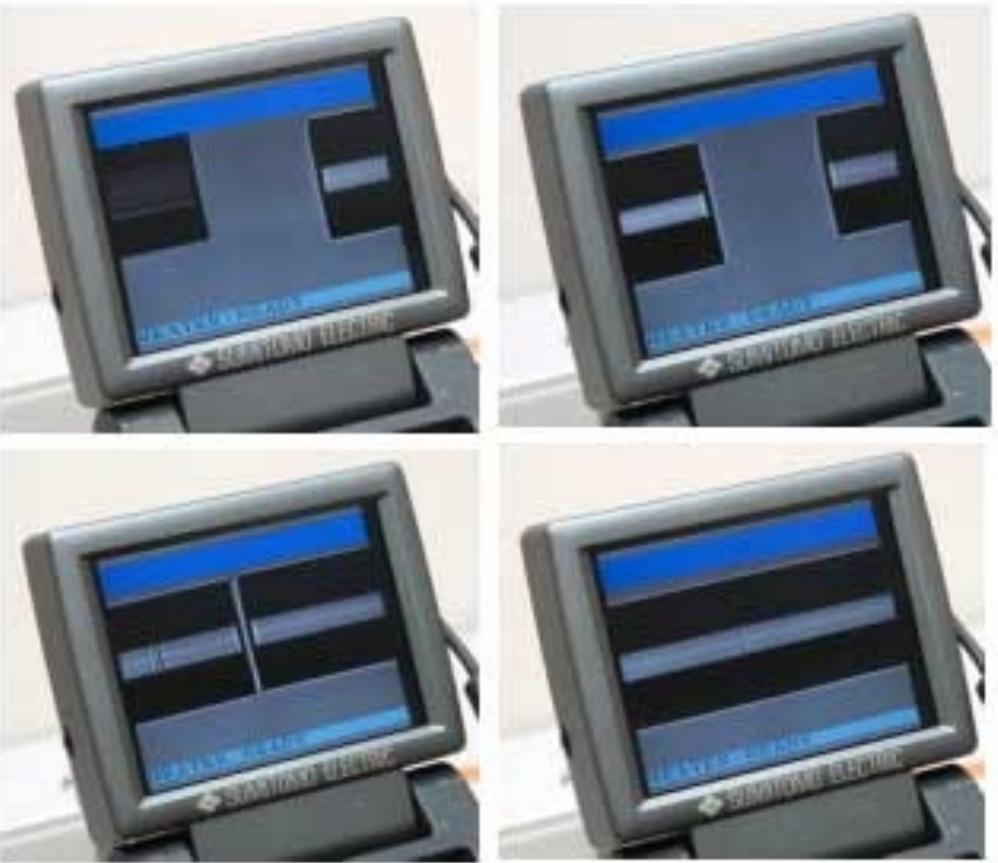
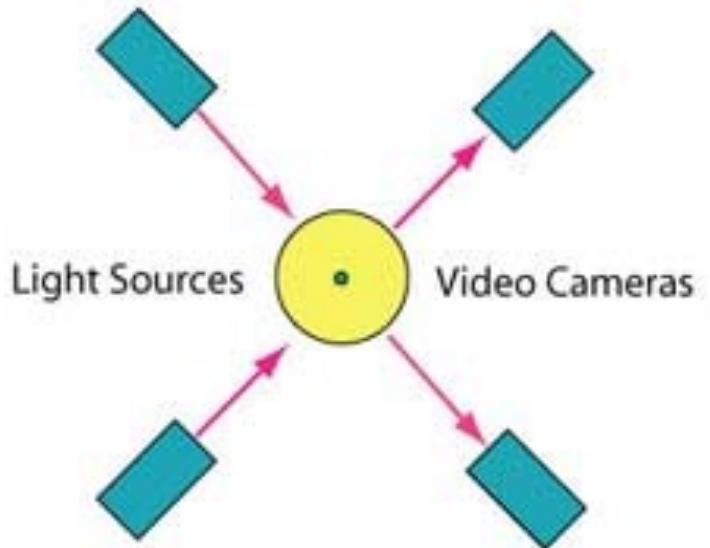


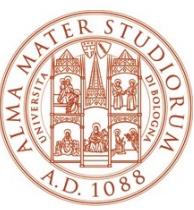
Fusion splicing machine



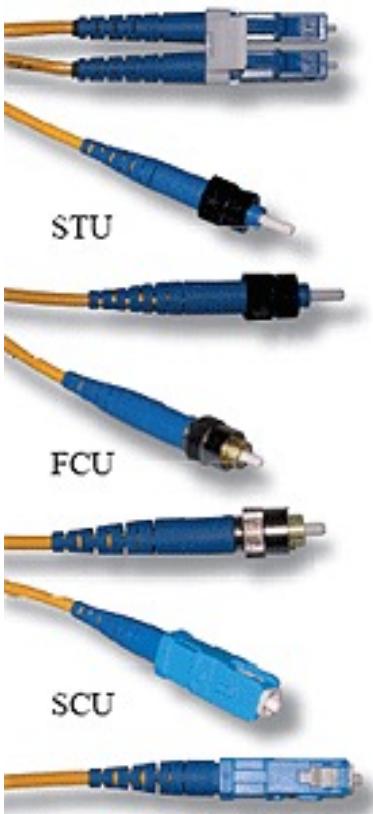
<http://www.thefoa.org/tech/ref/termination/fusion.html>

Allineamento





Giunti temporanei



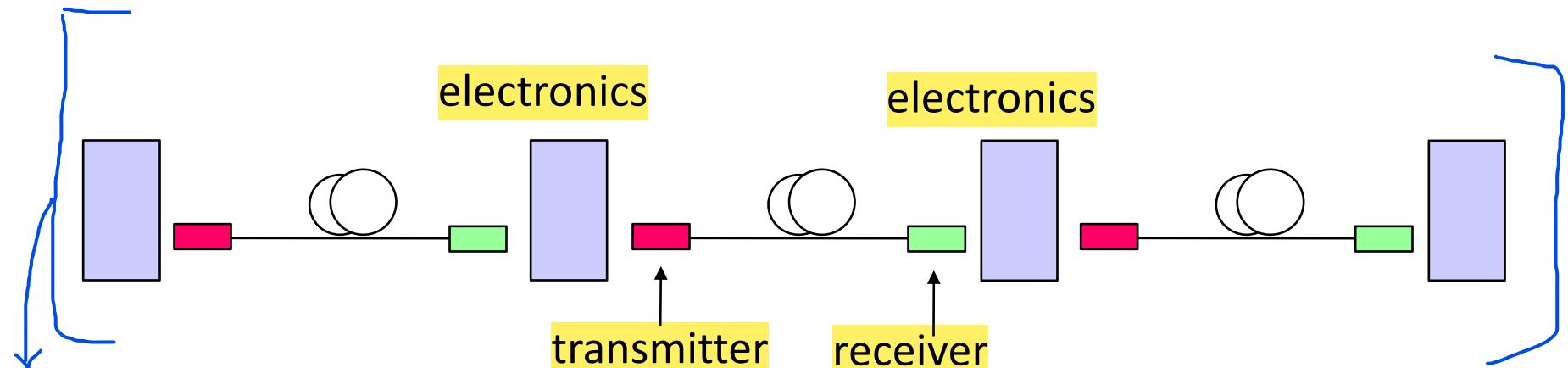
<https://americantechsupply.com>

La fibra ottica è utilizzata soprattutto per collegamenti a lunga distanza, come reti dorsali (backbone), cavi sottomarini e connessioni intercontinentali.



Fibra: dove e come

- Nelle reti di telecomunicazioni la fibra ottica viene usata per i collegamenti a lunga distanza
 - Con cavi in rame si coprono distanze di circa 10Km
 - Con la fibra si coprono distanze molto superiori



Rappresenta la configurazione tipica di una rete in fibra ottica, composta da:

Transmitter (Trasmettitore): Genera il segnale ottico, utilizzando sorgenti di luce come laser o LED.

Fibra ottica: Trasporta il segnale luminoso.

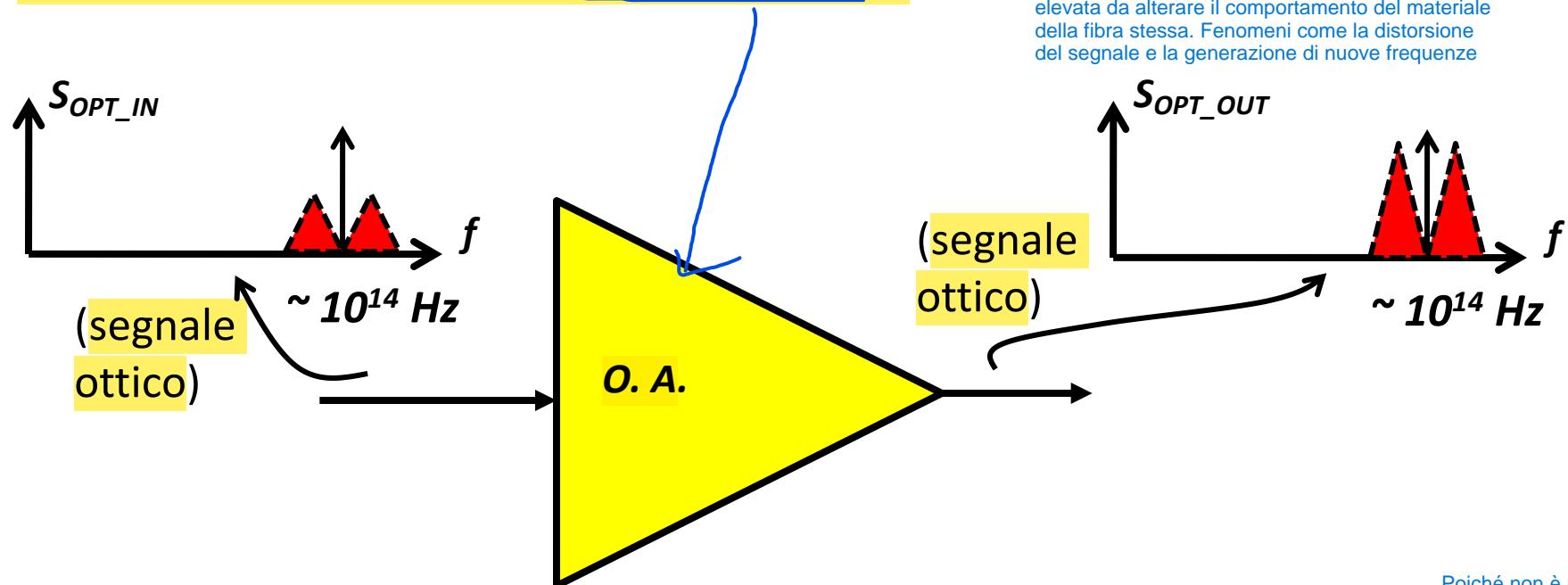
Electronics (Elettronica): Circuiti elettronici che gestiscono e amplificano i segnali in punti specifici.

Receiver (Ricevitore): Rileva il segnale ottico e lo converte in segnale elettrico.



Un amplificatore ottico è un dispositivo che amplifica un segnale luminoso direttamente a livello ottico, senza convertirlo in segnale elettrico. Funziona amplificando tutti i segnali ottici in arrivo, garantendo che il segnale mantenga la sua forza durante la trasmissione lungo la fibra.

L'Amplificatore Ottico...



- Il segnale viene mantenuto a livello ottico: maggior banda trasmisibile
- In un segnale WDM tutti i canali vengono amplificati

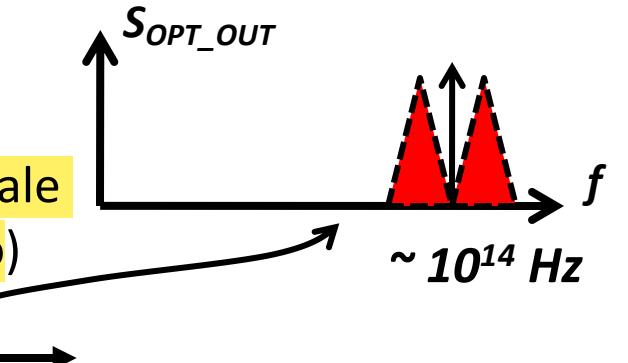
Poiché non è necessaria la conversione ottico-elettrica-ottica, si preserva una maggiore larghezza di banda trasmisibile.



- L'amplificatore effettua solo il “Re-amplifying” → necessario combattere gli effetti di dispersione e non linearità,
 - Introducendo comunque ogni tanto uno o più stadi “3R”,
 - Prendendo contromisure contro la dispersione (Reticoli, Fibre compensatrici,...)

La dispersione si riferisce al fenomeno per cui i diversi componenti di un segnale ottico (ad esempio, diverse lunghezze d'onda o modalità) viaggiano a velocità leggermente diverse all'interno della fibra. Gli impulsi ottici si "sovrappongono".

Le non linearità emergono quando l'intensità del segnale luminoso nella fibra è sufficientemente elevata da alterare il comportamento del materiale della fibra stessa. Fenomeni come la distorsione del segnale e la generazione di nuove frequenze



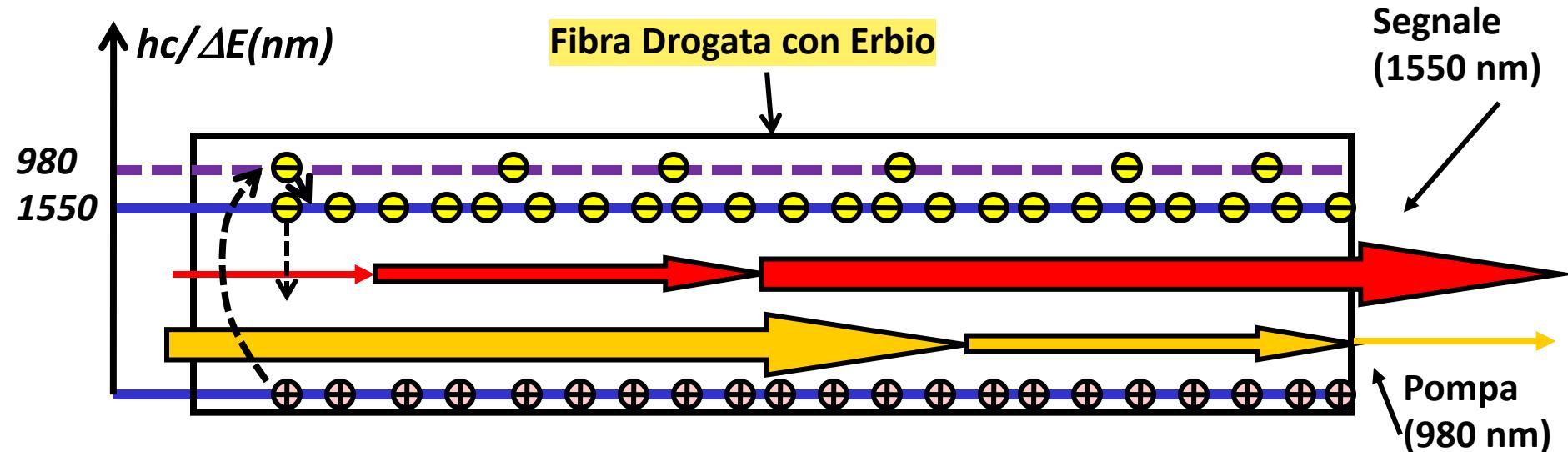
In sistemi WDM, tutti i canali vengono amplificati simultaneamente, migliorando la capacità di trasmissione.

- Ririformare (Reshape) il segnale.
- Risincronizzare (Resynchronize) i segnali ottici.
- Rigenerare (Regenerate) completamente il segnale in un formato elettrico, se necessario.

L'EDFA è un tipo di amplificatore ottico che utilizza una fibra ottica drogata con ioni di erbio per amplificare i segnali ottici. Permette di amplificare i segnali ottici direttamente a livello ottico, senza convertirli in segnali elettrici.



L'EDFA



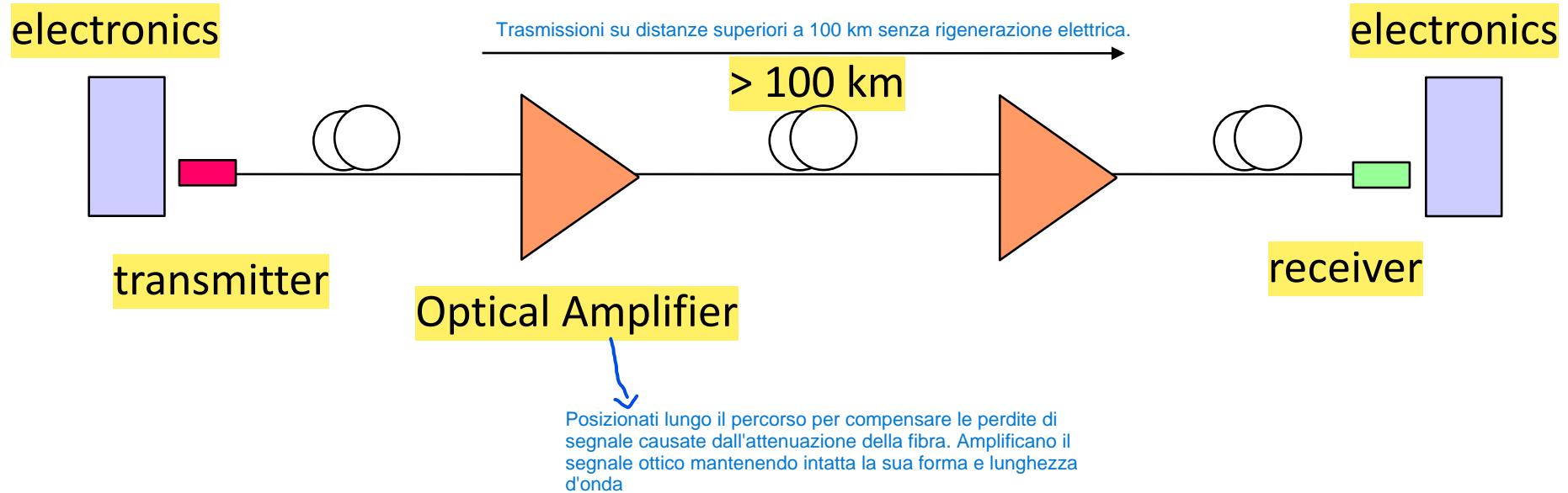
- Drogaggio di erbio:
 - ✓ Alcuni livelli instabili ($800, 980, 1480 \text{ nm}$) e un livello meta-stabile (1550 nm)
 - ✓ Laser di pompa (es. a 980 nm) → elettroni al livello instabile,
 - ✓ Livello instabile → livello metastabile (inversione di popolazione)
 - ✓ Il segnale attraversa la fibra → amplificazione per emissione stimolata
- Amplificazione a λ diverse tramite diversi drogaggi (Neodimio, Tullio, Itterbio,...)
- Tecnologia consolidata per $\lambda \sim 1550 \text{ nm}$ → Soluzione più utilizzata per segnali WDM
- Guadagno $G \sim$ decine di dB, Cifra di rumore $F < 10 \text{ dB}$



Con l'introduzione degli Optical Amplifiers, è stato possibile amplificare direttamente il segnale ottico, evitando la conversione elettrica.

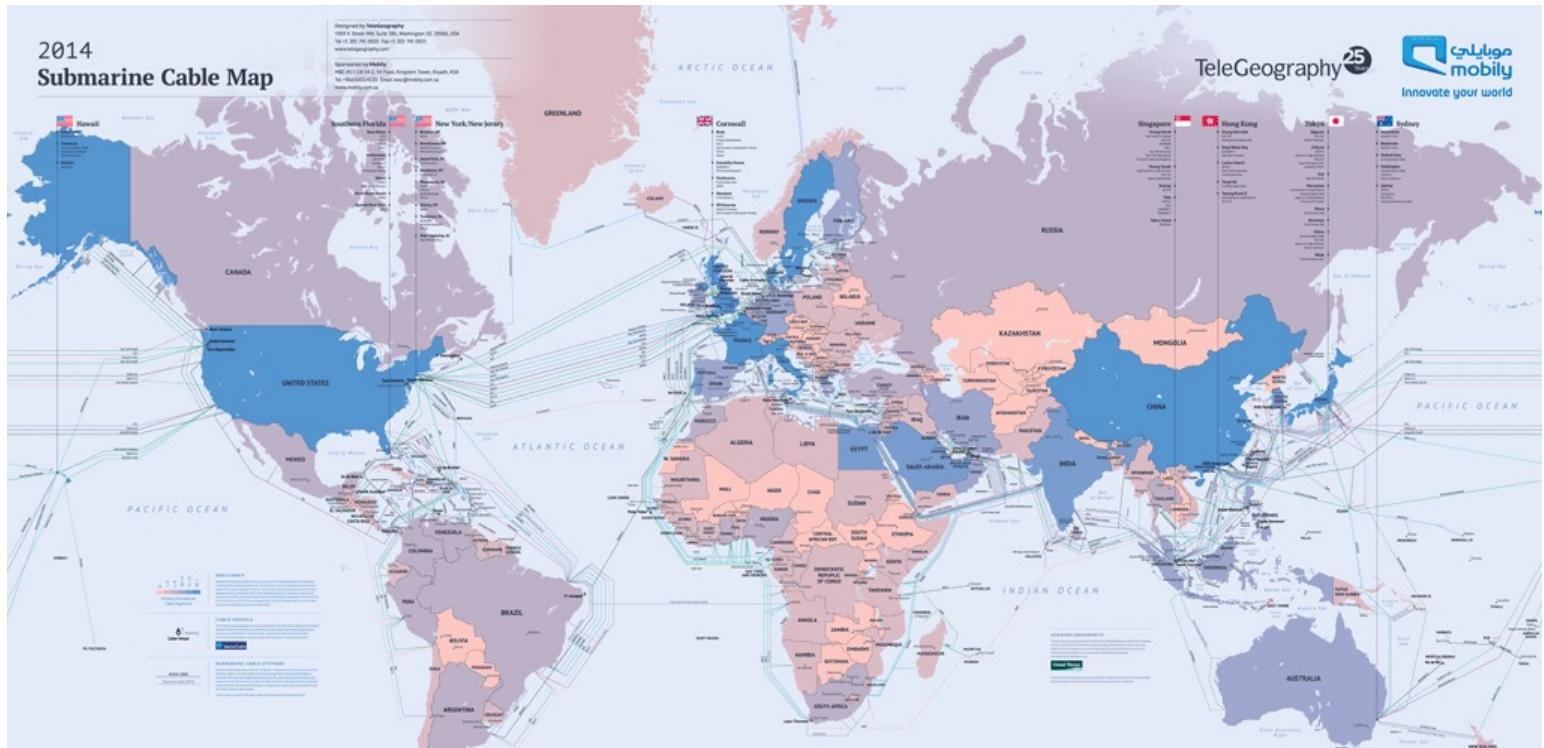
Evoluzione: sistemi amplificati

Primi amplificatori ottici sviluppati dal 1985





I collegamenti intercontinentali



Protectors of the Internet

Fiber-optic cables that traverse the bottom of the ocean floor form the backbone of the Internet. This critical global infrastructure relies on a small group of companies responsible for both the installation and maintenance of the more than 300 active submarine cable systems that interconnect the world.





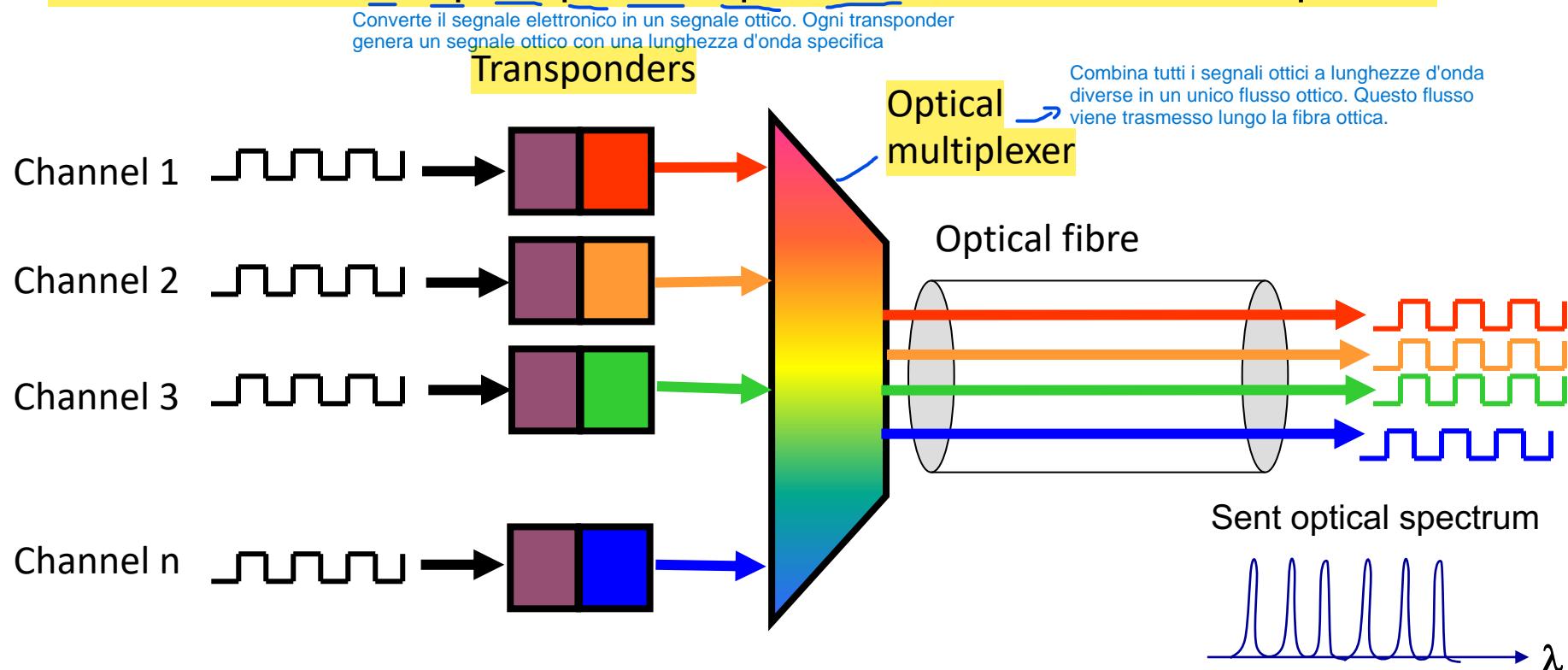
Il boom del WDM

Wavelength Division Multiplexing (WDM) è una tecnica che consente di trasmettere flussi di dati multipli su una singola fibra ottica utilizzando diverse lunghezze d'onda della luce (colori).

- **Wavelength Division Multiplexing**
 - È un modo alternative per FDM ma qui le "frequenze" sono rappresentate dalle lunghezze d'onda ottiche.
 - Multiplazione di diversi flussi su diversi ambiti di frequenze (o di lunghezze d'onda)
- **WDM = flussi dati diversi vengono trasmessi su colori (lunghezze d'onda) diversi nella stessa fibra**
- **Richiede**
 - Trasmettitori e ricevitori selettivi
 - Trasmettitori selettivi: Generano segnali ottici a lunghezze d'onda precise e stabili.
 - Ricevitori selettivi: Rilevano e decodificano ciascun segnale ottico separato dalla fibra.
- **Inizia negli USA all'inizio degli anni 90**
 - Deregulation la deregulation ha stimolato investimenti e innovazione.
 - Abbassamento dei costi dell'elettronica
 - Aumento del traffico (esplosione di Internet)
- **Permette di aumentare molto la capacità ^{trasmissiva} della rete senza installare nuove fibre**

I principi del WDM

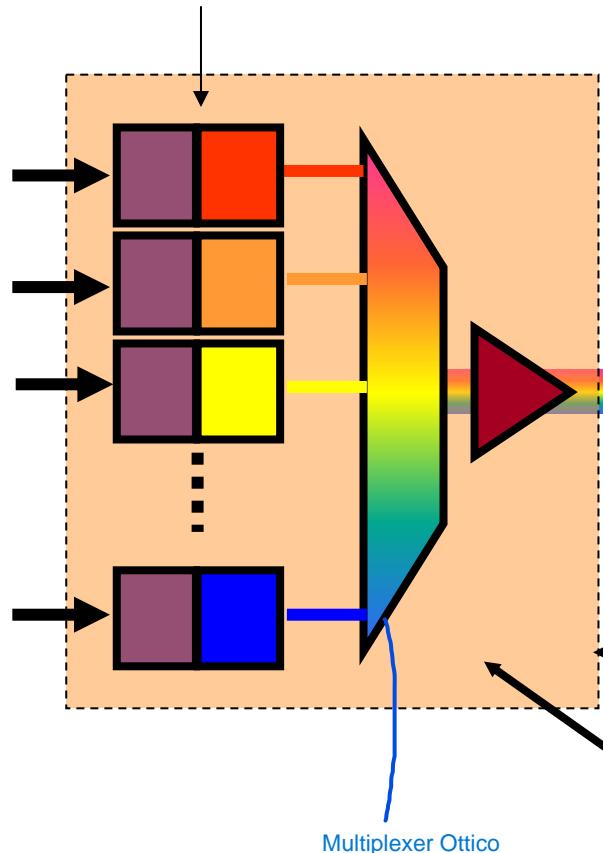
- Si trasmettono più flussi di informazione ^{indipendenti} utilizzando diversi colori della luce
- I vari flussi convivono senza danneggiarsi sulla stessa fibra
- Se uso n flussi moltiplico per n la quantità di informazione trasportata



Un sistema WDM

Convertono i segnali elettronici in segnali ottici, ognuno su una specifica lunghezza d'onda. Ogni lunghezza d'onda rappresenta un canale indipendente.

Transponders



Line amplification nodes

Amplificatori di linea:
Posizionati lungo il percorso per compensare l'attenuazione del segnale causata dalla distanza. Amplificano contemporaneamente tutte le lunghezze d'onda, mantenendo il segnale ottico integro.

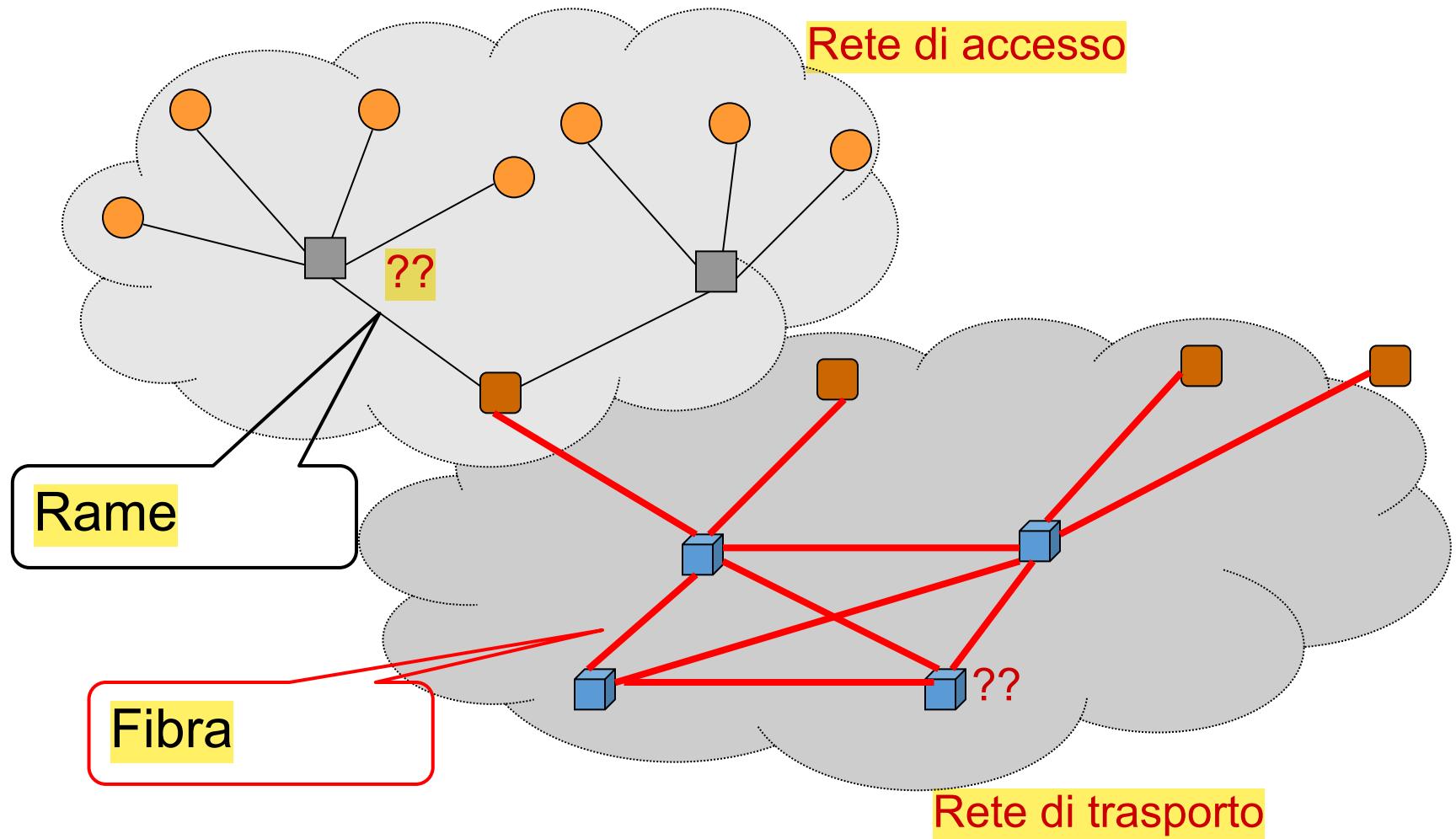
Ricevitori (Transponders): Convertono i segnali ottici separati nuovamente in segnali elettronici per l'elaborazione.

Optically amplified line

Terminal nodes

Demultiplexer Ottico

Le reti di oggi



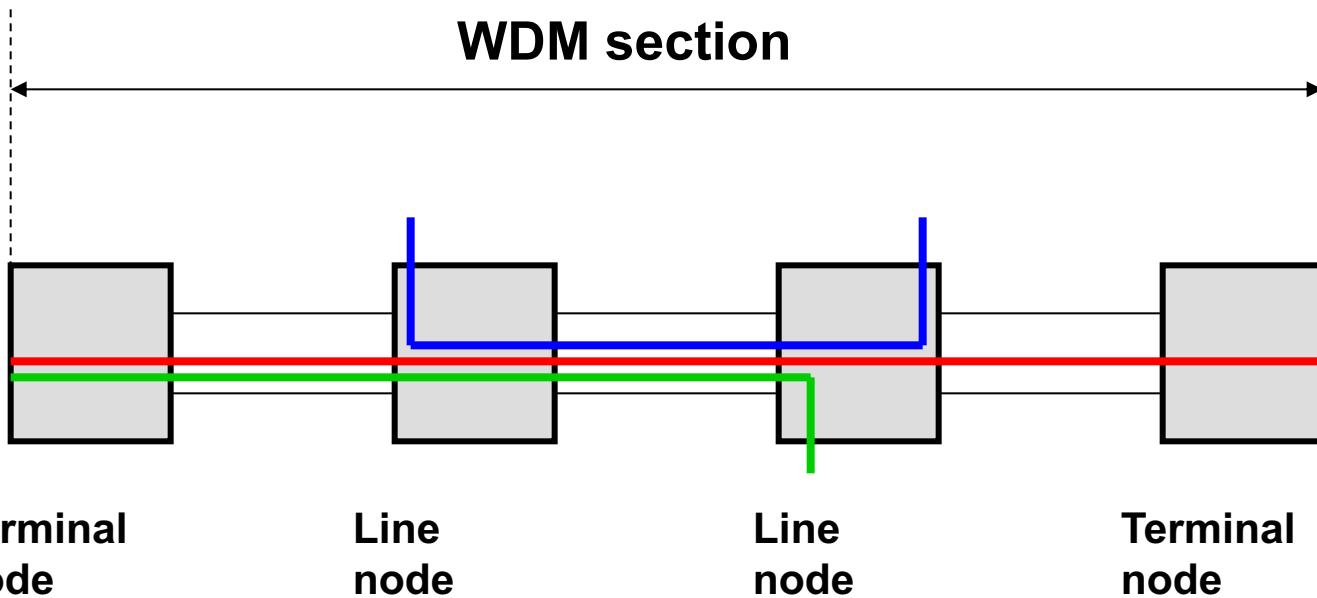


Cosa rimane?

- Le tecnologie ottiche e in fibra devono ancora permeare
 - I nodi di commutazione della rete di trasporto
 - Commutazione ottica
 - La rete di accesso
 - Fiber to the X
- La rete di accesso in molte aree utilizza ancora rame o altre tecnologie più vecchie, limitando le prestazioni.
- Soluzione attesa:
Fiber to the X (FTTX):
Include diverse configurazioni come:
FTTH (Fiber to the Home): La fibra arriva direttamente all'abitazione dell'utente.
FTTC (Fiber to the Curb): La fibra arriva fino a un nodo vicino, con il tratto finale in rame.
FTTB (Fiber to the Building): La fibra arriva fino all'edificio.

Commutazione WDM

- Trasporto flussi informativi di diversi clienti su diversi colori:
 - Uso il colore per distinguere punto di partenza e punto di arrivo
- Sono necessari apparati capaci di selezionare il colore della luce in modo comandato (ROADM)



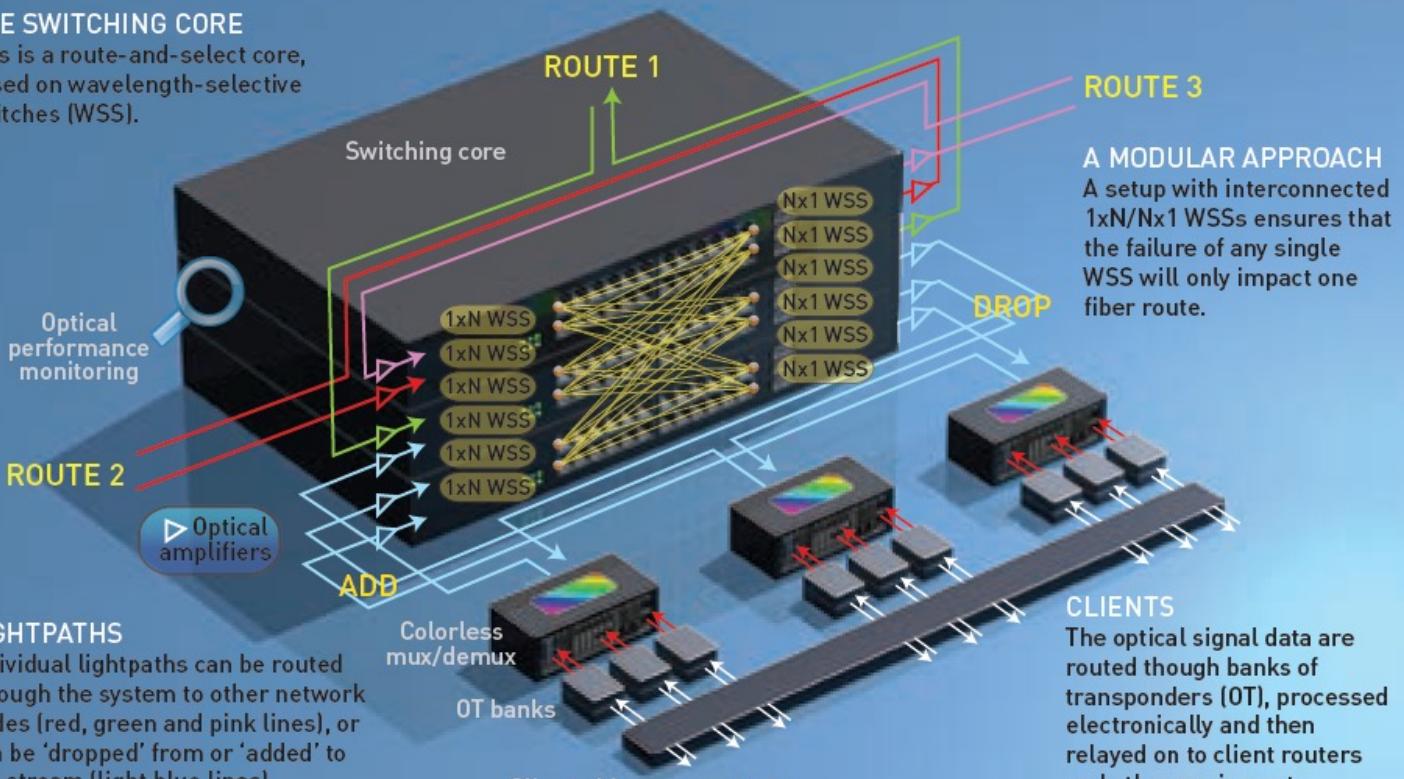


ROADM

ROADM - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer

THE SWITCHING CORE

This is a route-and-select core, based on wavelength-selective switches (WSS).



LIGHTPATHS

Individual lightpaths can be routed through the system to other network nodes (red, green and pink lines), or can be 'dropped' from or 'added' to the stream (light blue lines).

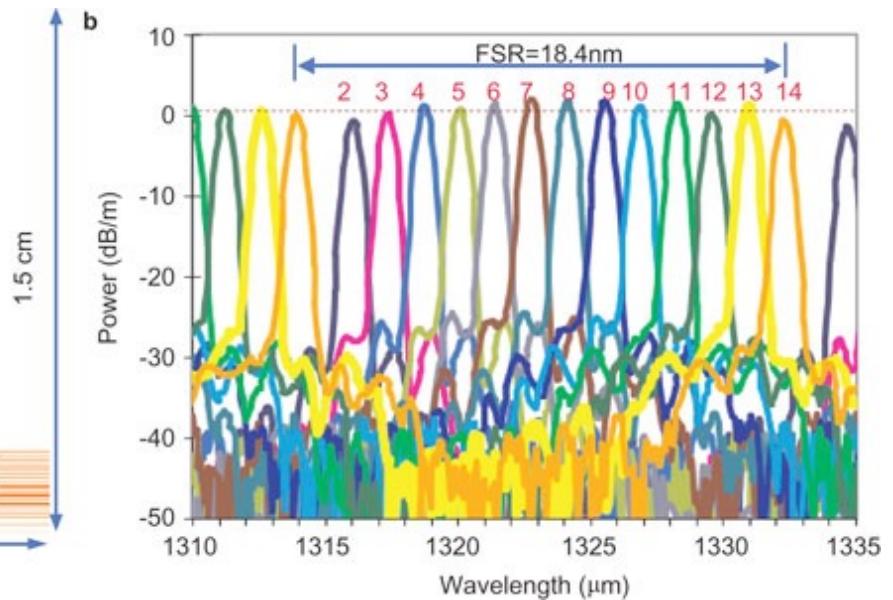
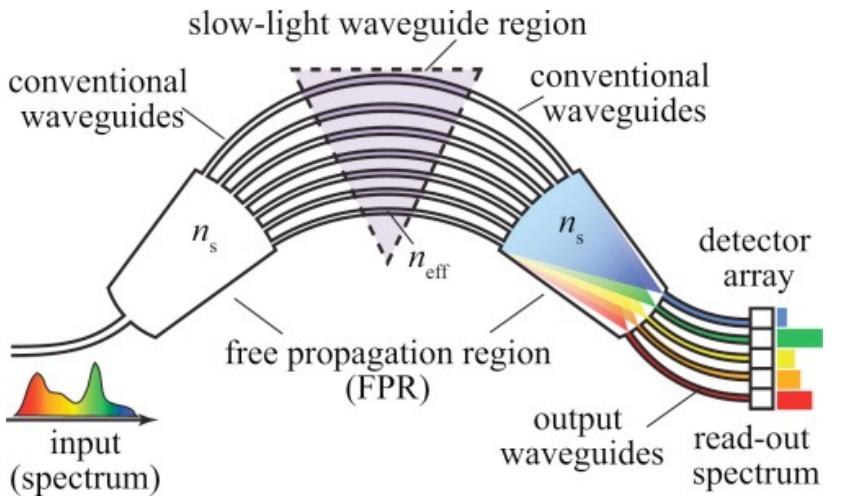
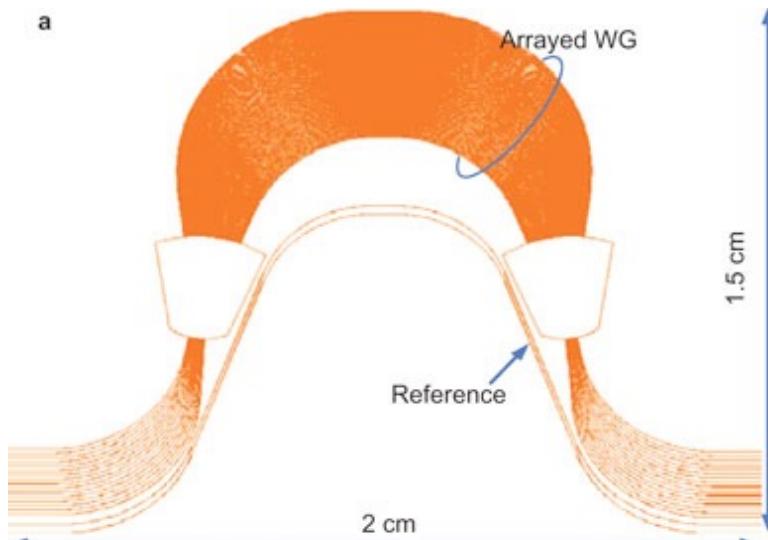
A MODULAR APPROACH

A setup with interconnected $1 \times N$ / $N \times 1$ WSSs ensures that the failure of any single WSS will only impact one fiber route.



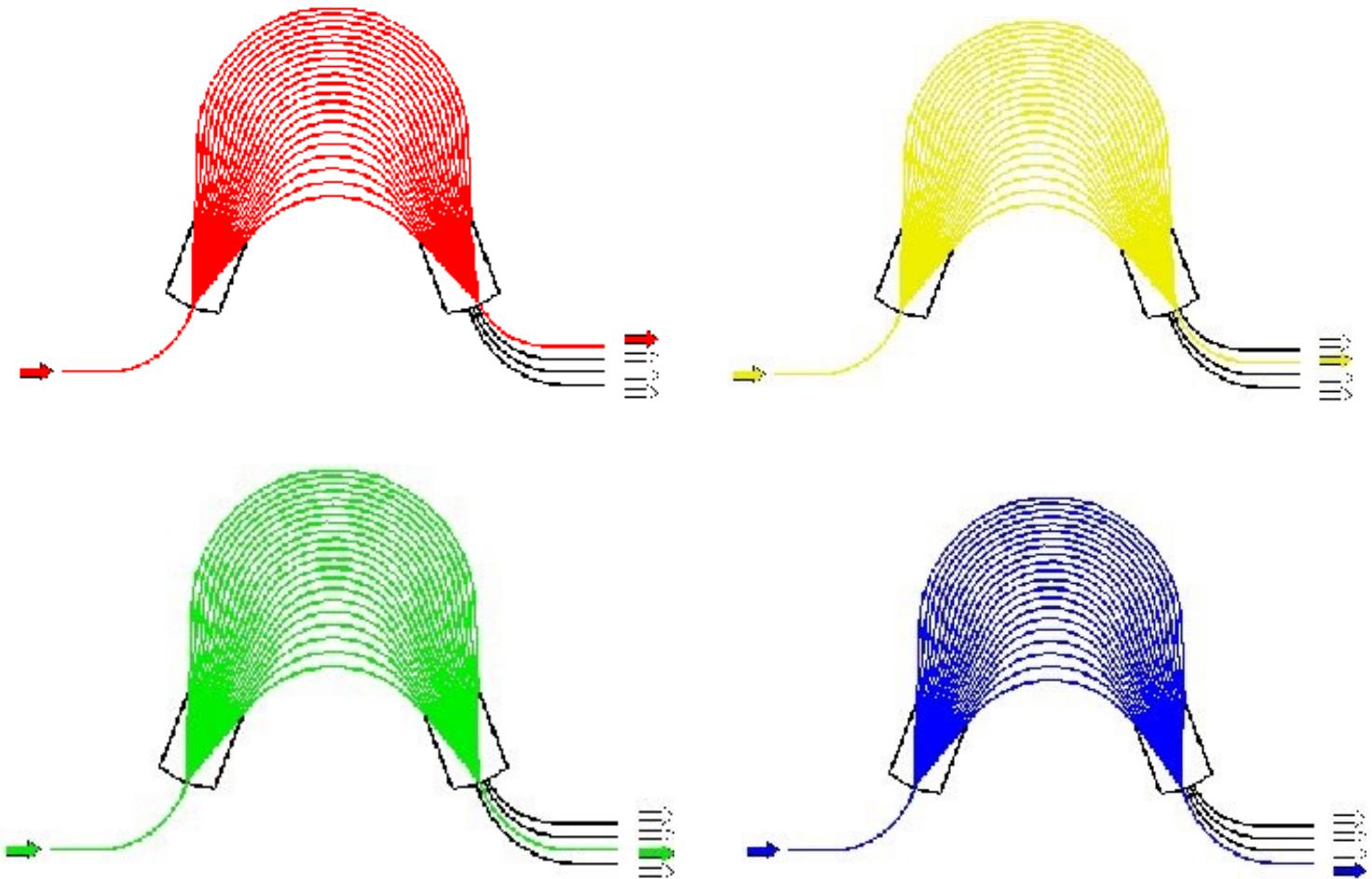
AWG

AWG =
Arrayed Waveguide Gratings





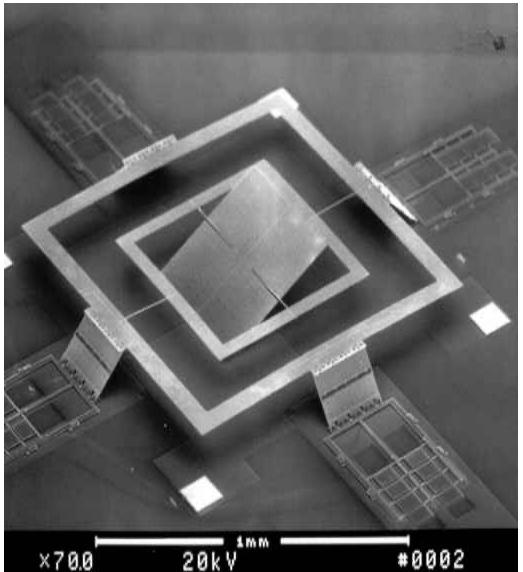
Funzionamento di AWG



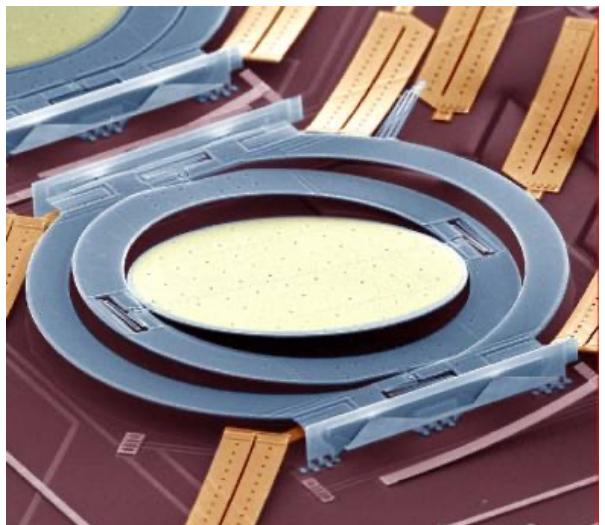


MEM

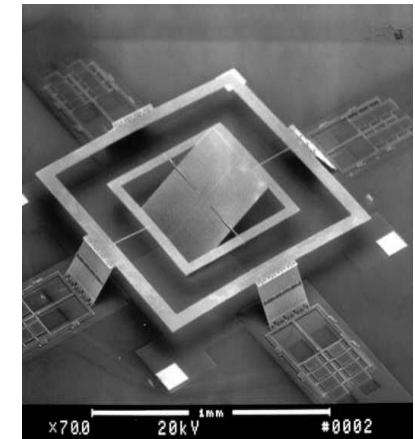
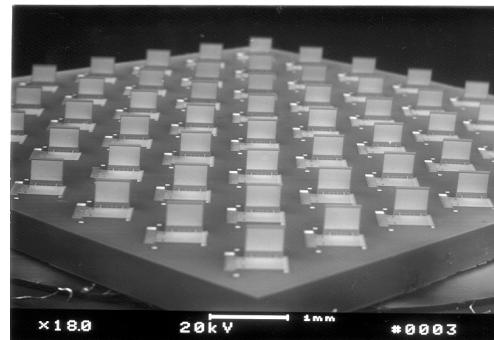
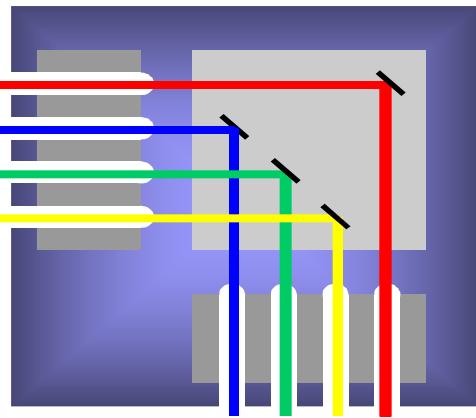
- Sposto la luce con piccoli specchi
 - Piccole dimensioni = brevi tempi di reazione



↔
1 mm

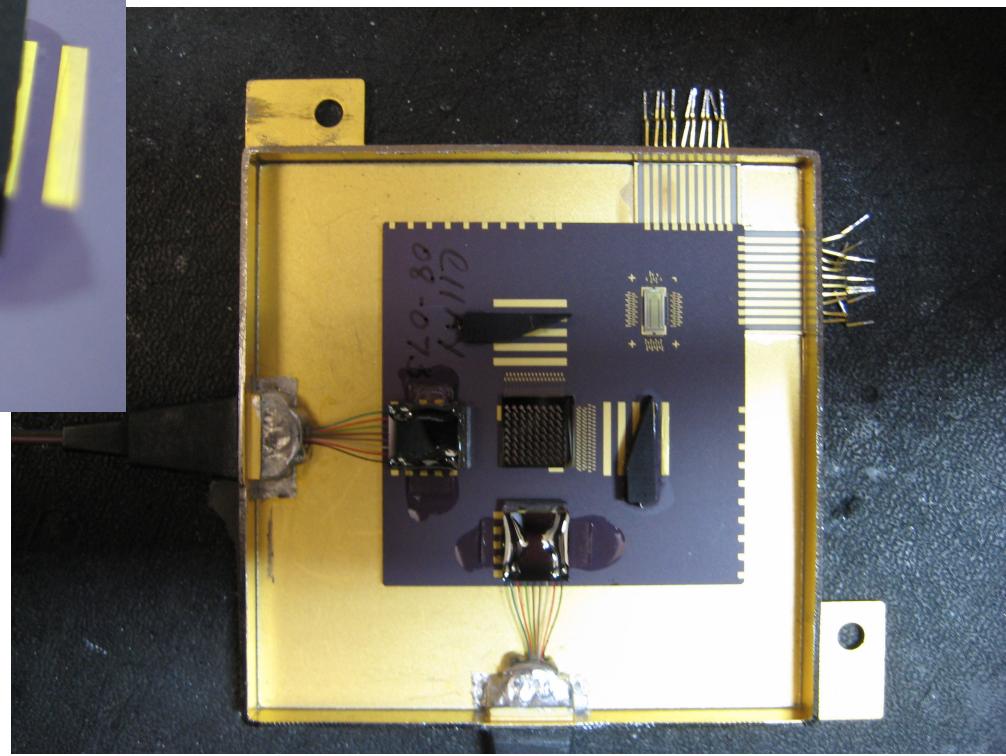
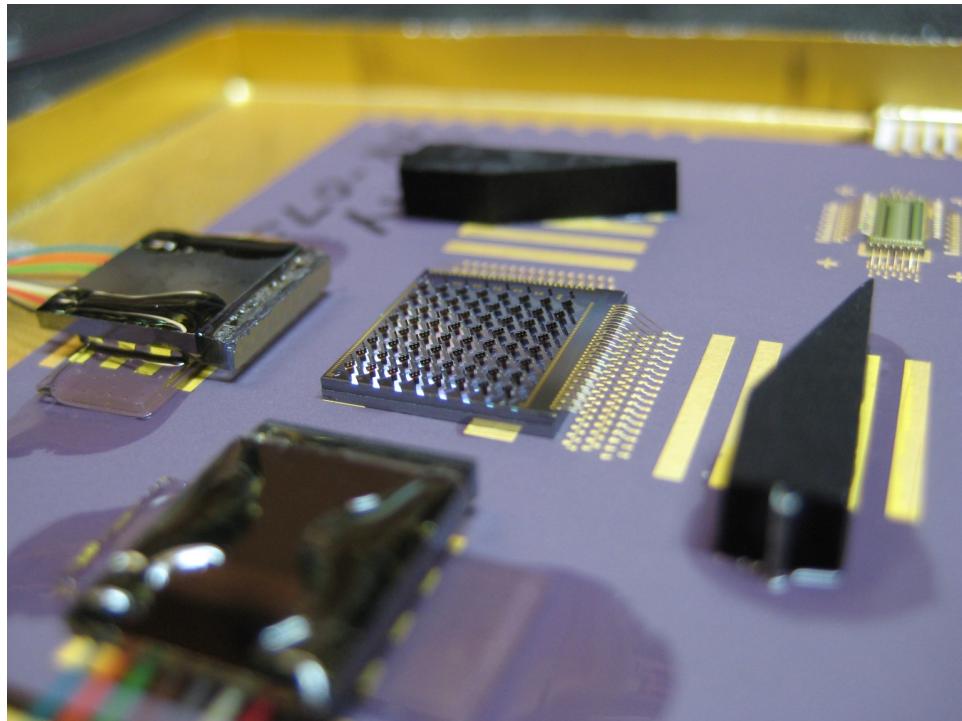


MEMs Switch Matrix



4x4 switch = 16 mirrors. Each mirror can be moved independently

MEMs Switch





Aree bianche, grigie o nere

- Concetto di classificazione di un territorio in base alle potenzialità di investimento da parte degli operatori
 - introdotto dalla Commissione Europea nel 2013
- Distingue le aree geografiche sulla base degli investimenti previsti in infrastrutture a banda ultralarga
- Nere
 - Previsti investimenti di almeno due operatori
- Grigie
 - Previsti investimenti di un solo operatore
- Bianche
 - Non sono previsti investimenti



Banda Ultralarga?

- Reti di tipo Next Generation Access (NGA)
 - Velocità di Download > 30 Mbit/s
- Next Generation Access Very High Capacity Networks (NGA-VHCN)
 - Velocità di download > 100Mbit/s



Strategia Italiana Banda Ultra-larga

- Approvata dal Governo il 3 Marzo 2015
 - Oggetto
 - aree a fallimento di mercato (*aree bianche*)
 - Obiettivo
 - ridurre il gap infrastrutturale e di mercato esistente
 - Metodologia
 - costruire una rete di proprietà pubblica che verrà messa a disposizione di tutti gli operatori che vorranno attivare servizi verso cittadini ed imprese
 - Finanziamento
 - fondi nazionali (FSC) e fondi comunitari (FESR e FEASR)
 - “intervento diretto”, autorizzato dalla Commissione europea ai sensi della disciplina sugli aiuti di Stato



Piano Italia 1 Giga

- Approvato il 27 Luglio 2021
- Obiettivo
 - «... realizzare infrastrutture di rete a banda ultra larga che garantiscano la velocità di trasmissione di almeno 1 Gbit/s sull'intero territorio nazionale al 2026, collegando i civici delle unità immobiliari nei quali non è presente, né lo sarà entro i prossimi cinque anni, alcuna rete idonea a fornire velocità di almeno 300 Mbit/s in download nell'ora di picco del traffico. ...»
- Mappatura che «... ha riguardato le sole aree originariamente incluse nel “Piano Aree bianche” del 2016.»



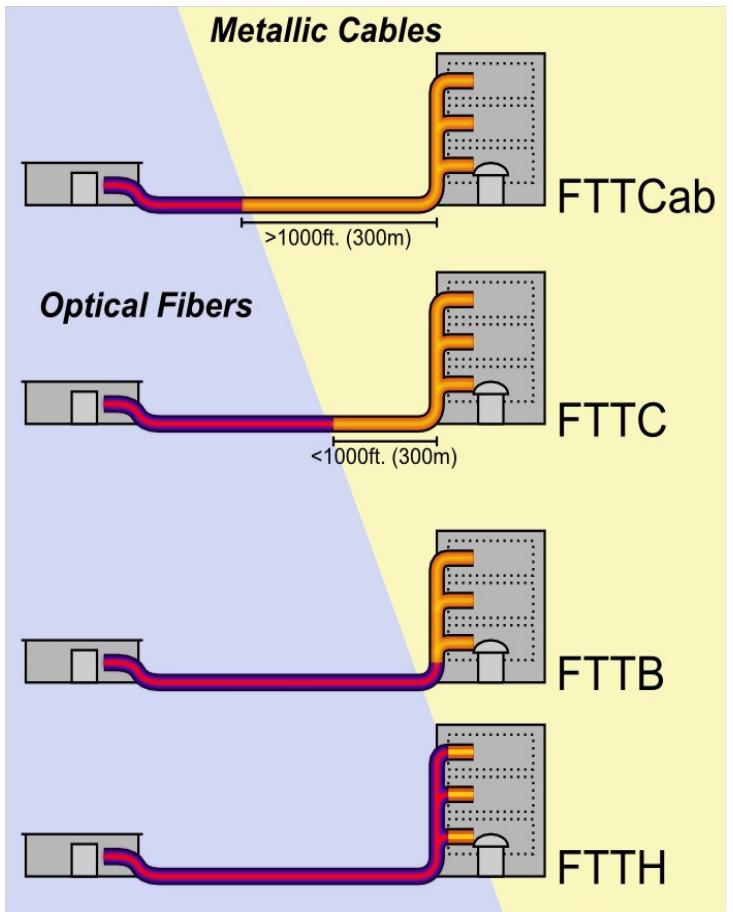
Come

- Infratel
 - Pianifica la costruzione della rete pubblica a banda ultra-larga
 - Affida in appalto tale costruzione a soggetti di mercato
- Per la rete in fibra ottica
 - Strategia banda ultra larga 2015
 - OpenFiber ha avuto l'appalto per la realizzazione dell'infrastruttura
 - Piano Italia 1 Giga

LOTTO	OPERATORE AGGIUDICATARIO
Lotto 1: Sardegna	Tim
Lotto 2: Puglia	Open Fiber
Lotto 3: Abruzzo, Molise, Marche, Umbria	Tim
Lotto 4: Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria	Tim
Lotto 5: Calabria Sud	Tim
Lotto 6: Toscana	Open Fiber
Lotto 7: Lazio	Open Fiber
Lotto 8: Sicilia	Open Fiber
Lotto 9: Emilia-Romagna	Open Fiber
Lotto 10: Campania	Open Fiber
Lotto 11: Calabria Nord	Tim
Lotto 12: Friuli-Venezia Giulia, Veneto	Open Fiber
Lotto 13: Lombardia	Open Fiber
Lotto 14: Basilicata	Tim

Nella rete di accesso

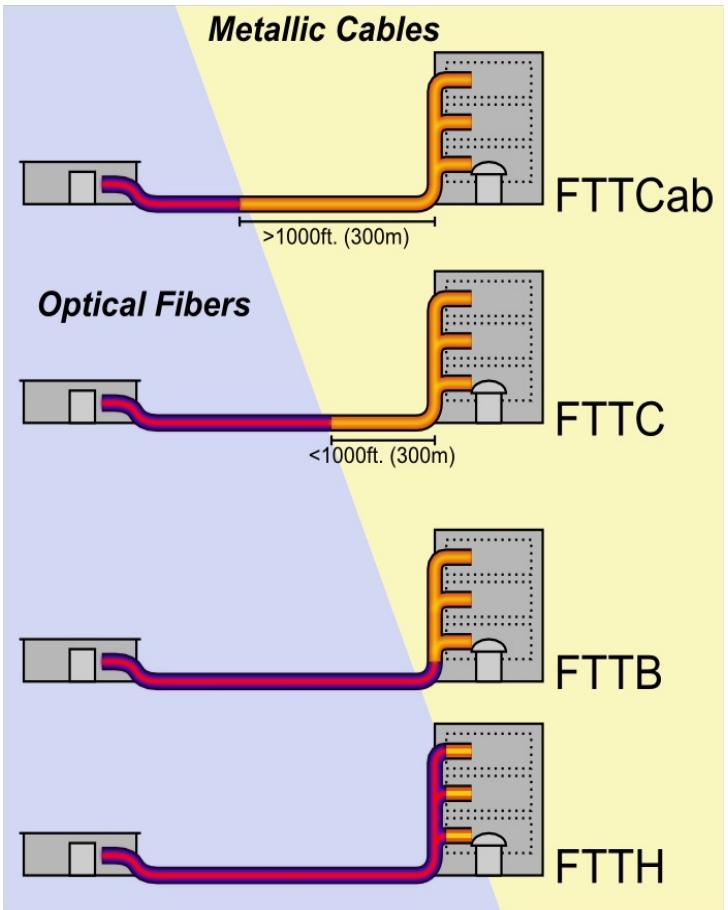
- Come sostituire le reti in rame?





Alternative

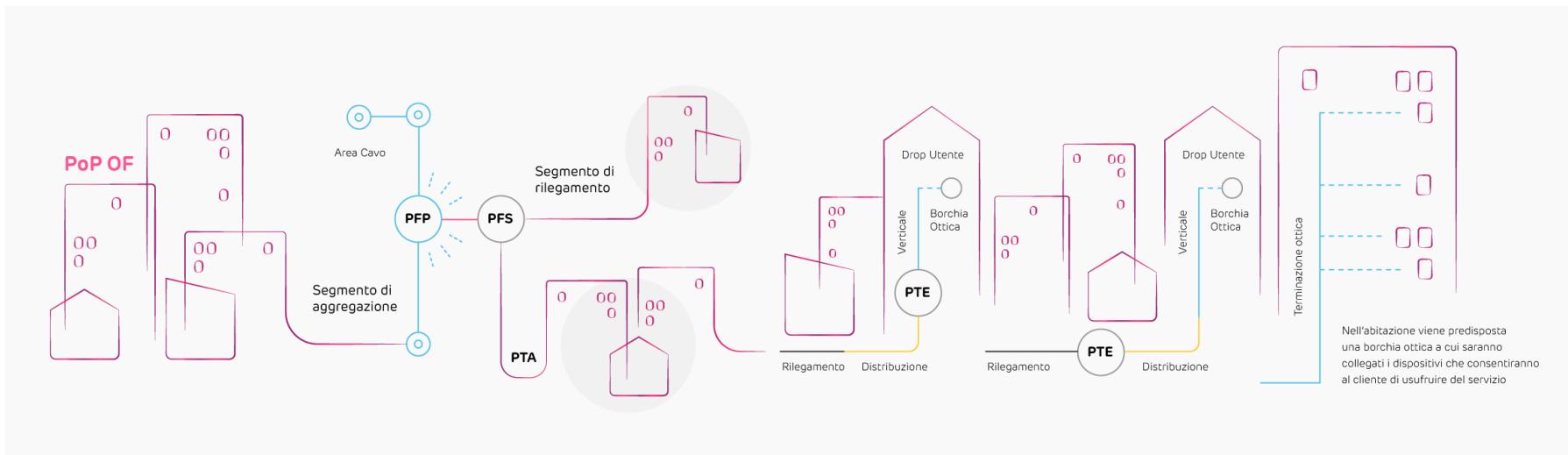
- Classificate in base alla localizzazione dell'interfaccia elettro/ottica (EOI)
 - Fiber To The Exchange (FTTE): EOI in centrale
 - Fiber To The Cab (FTTCab): EOI in the equivalent of the PSTN cabinet
 - Fiber To The Curb (FTTC): EOI in the equivalent of the PSTN distribution point
 - Fiber To The Building (FTTB): EOI at the basement
 - Fiber To The Home (FTTH): EOI in the NIU





La tecnologia

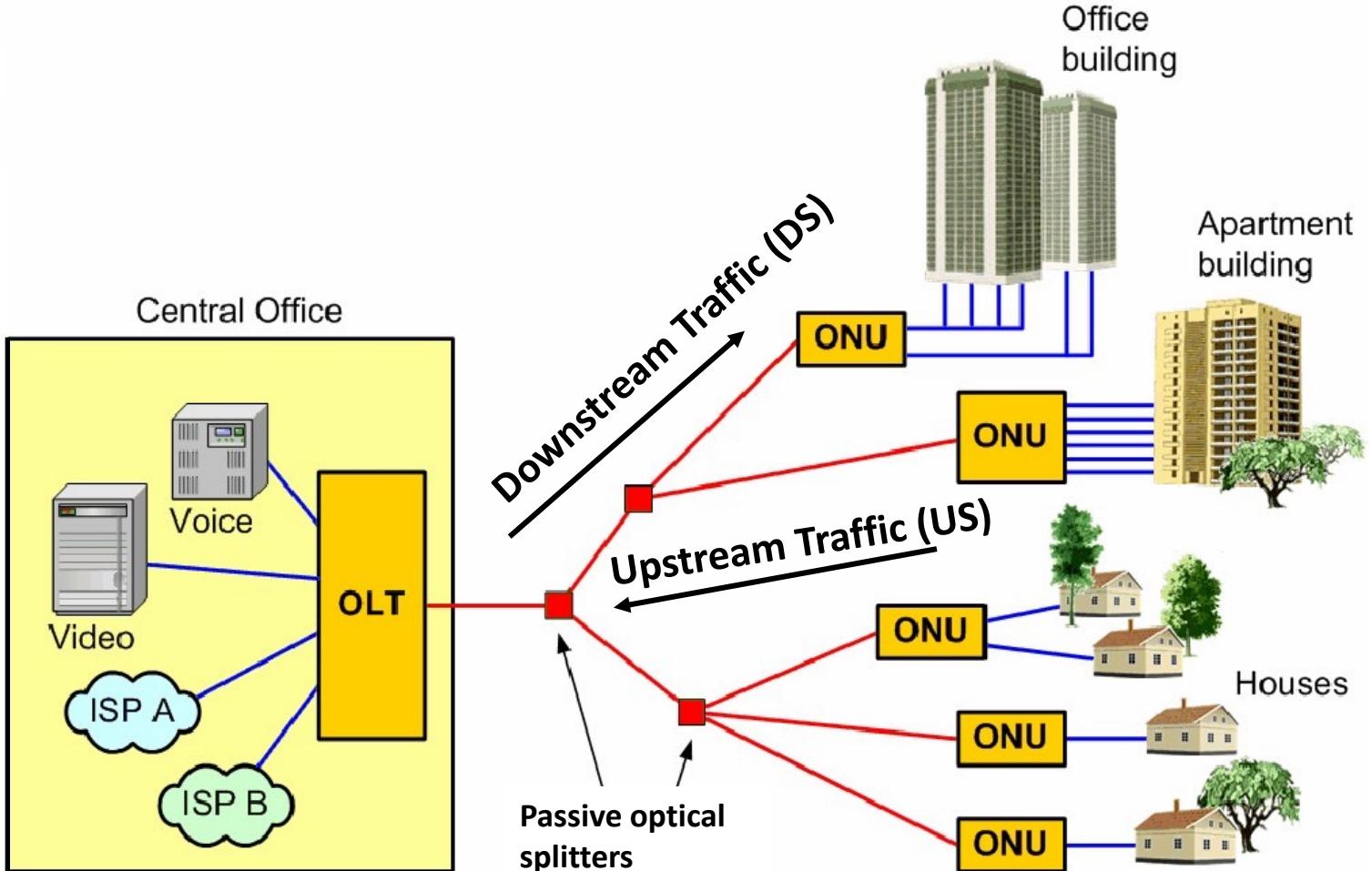
- Fiber to the home – FTTH
- Tecnologia G-PON
 - Gigabit Passive Optical Network

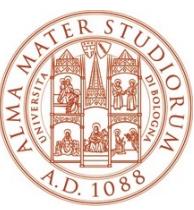


Dal sito web di OpenFiber



Passive Optical Network





A Imola



Sei connesso!

La città Imola è coperta

Ora che ti abbiamo raggiunto, scopri le offerte commerciali dei partner che utilizzano la nostra rete 100% in fibra ottica.



Lavori in corso

