



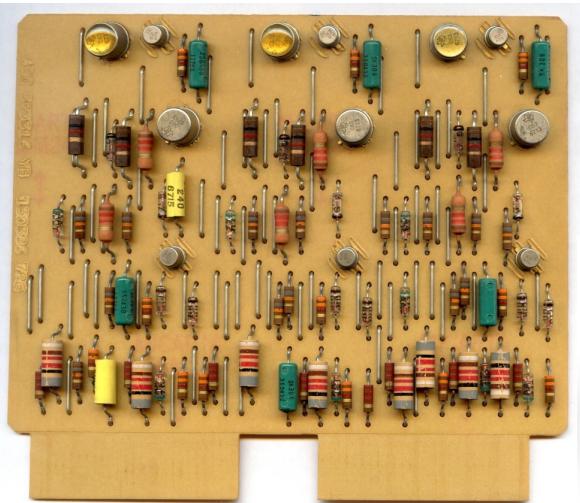
ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Breve introduzione ai mezzi trasmissivi

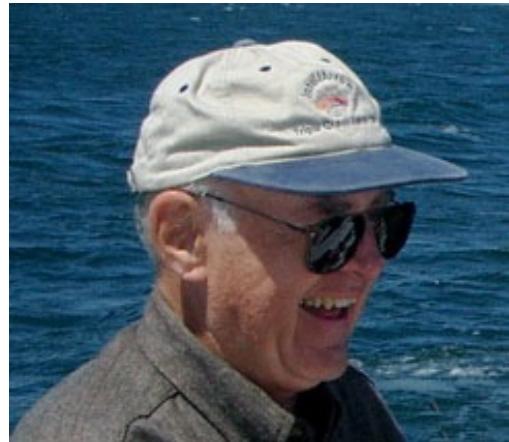
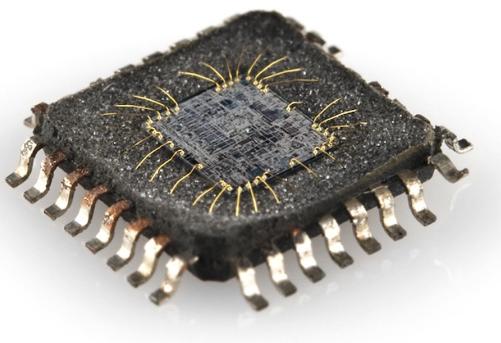
Franco CALLEGATI

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



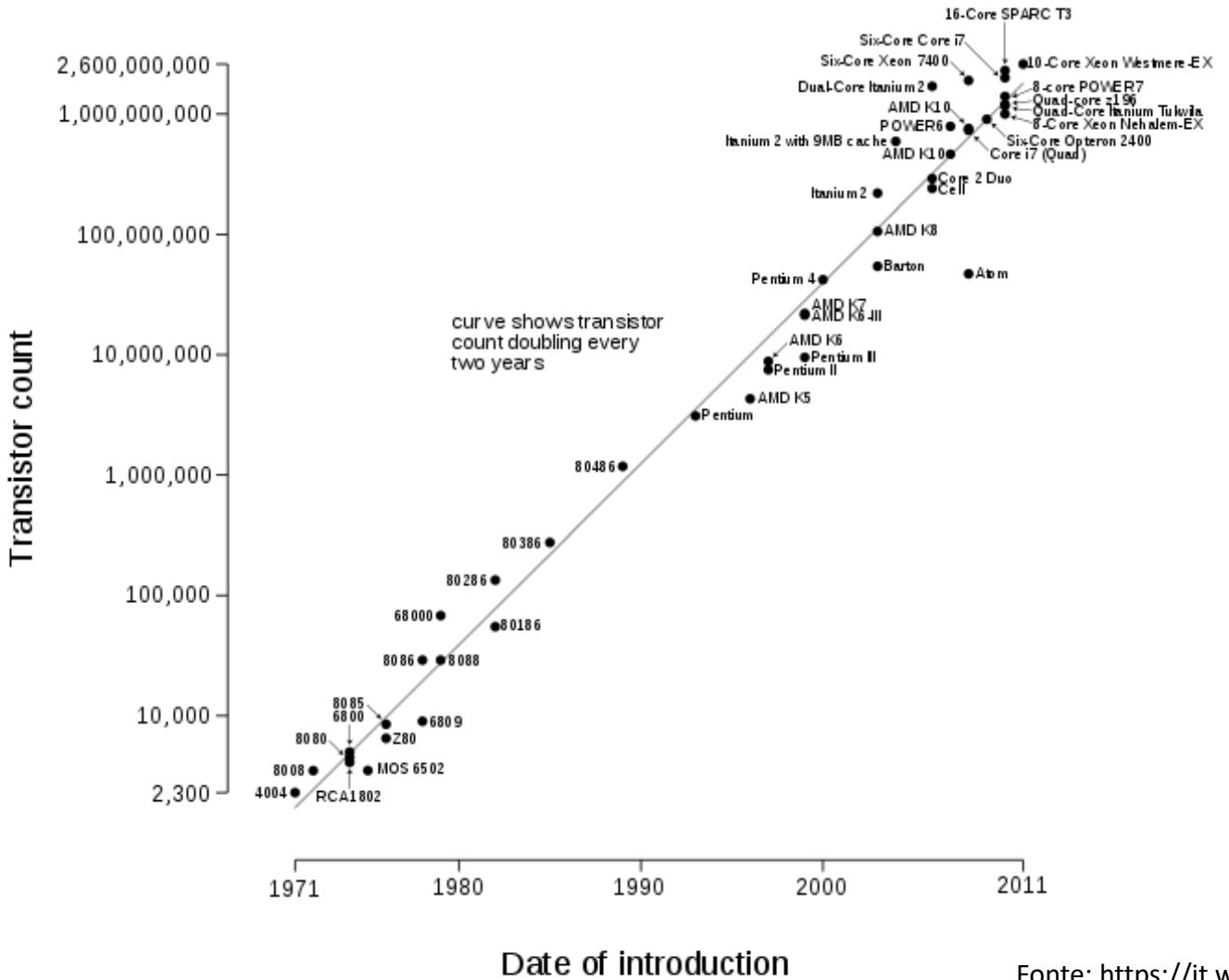
Gordon Moore  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Gordon\\_Moore](https://it.wikipedia.org/wiki/Gordon_Moore)

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



# La prima legge di Moore

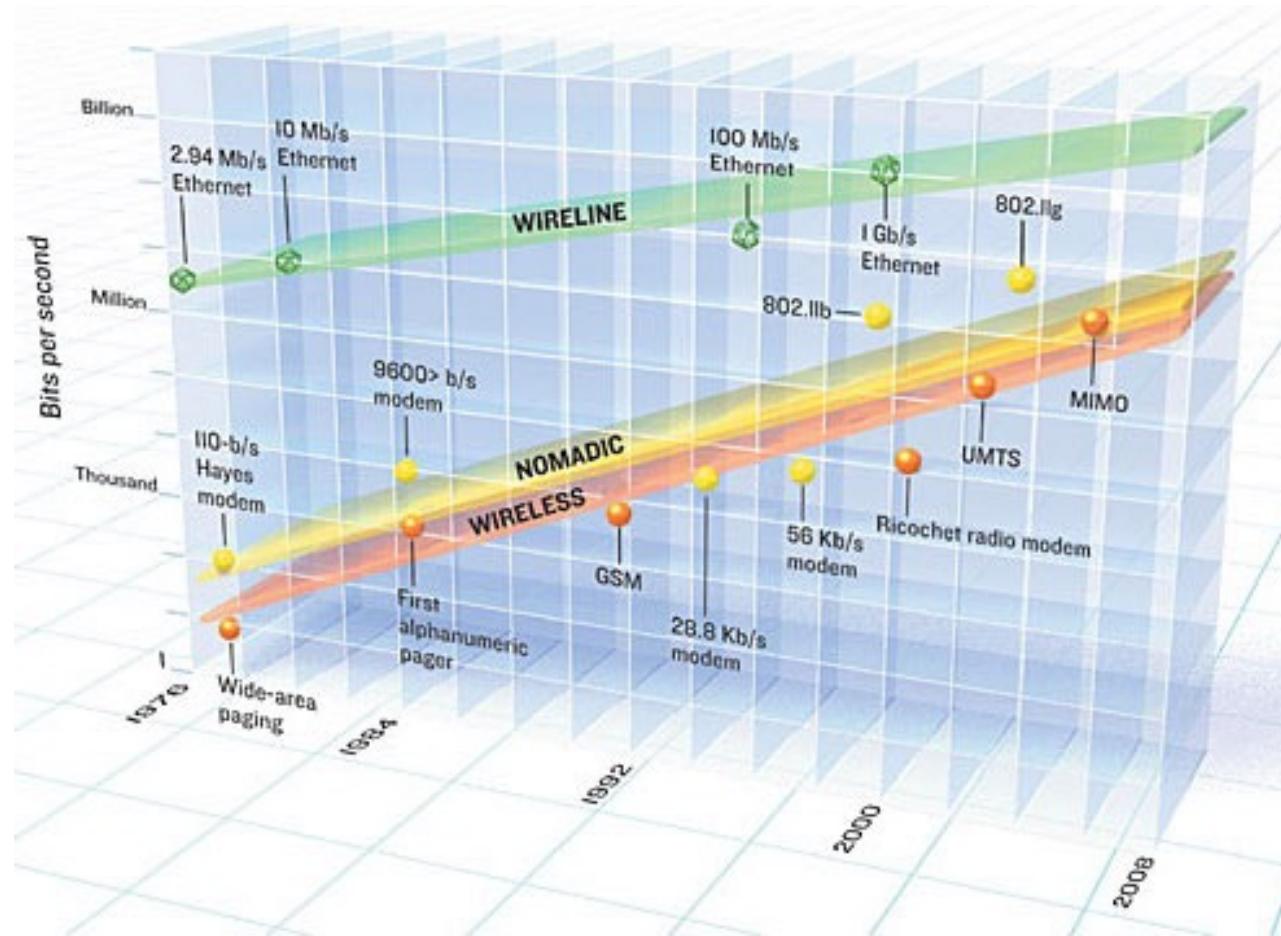
Microprocessor transistor counts 1971-2011 & Moore's law



Fonte: [https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_Moore](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_Moore)

# Legge di Edholm

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





# Attenuazione

- 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



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Mezzi trasmissivi in rame



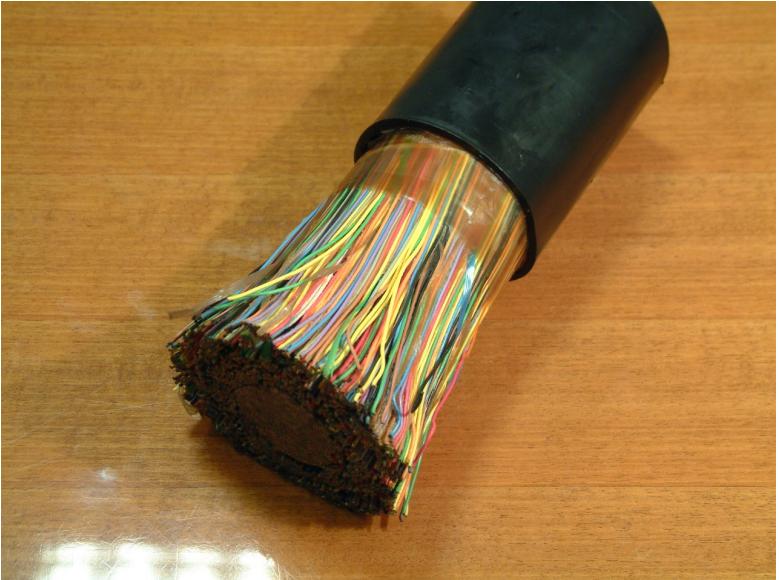
# Attenuazione

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

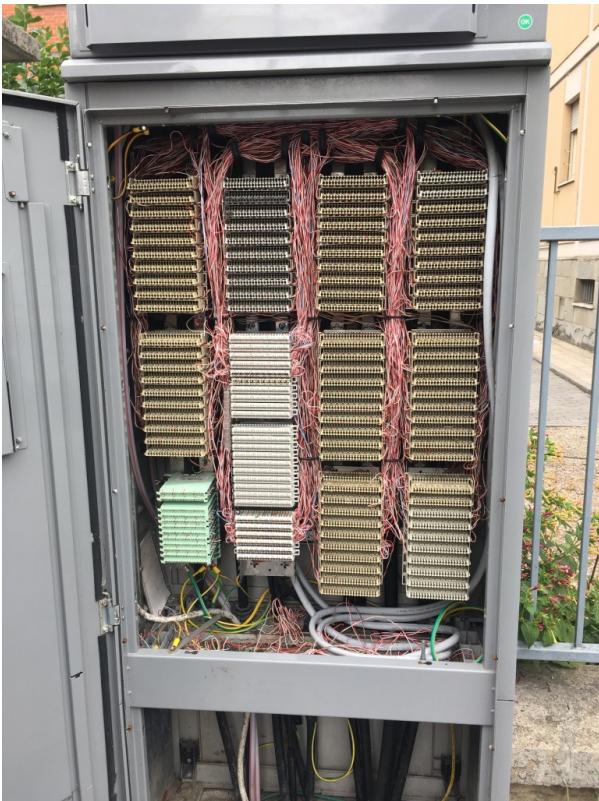
- L'attenuazione cresce
  - Esponenzialmente con la lunghezza del collegamento
  - Esponenzialmente con la radice della frequenza del segnale
- In breve è molto difficile portare lontano segnali ad alta frequenza

# 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
    - Maggiore costo del cavo
    - Lo schermo deve essere messo a massa
  - **Unshielded twisted pair UTP**
    - Meno costose e più semplici da posare
- Vengono studiati modi per migliorare le prestazioni
  - Aumentare il diametro dei conduttori e migliorare la qualità del dielettrico
  - Migliorare la regolarità e infittire il passo di avvolgimento
- Vengono definiti livelli di qualità detti Categorie
  - Standardizzate da Cat. 1 a Cat 7

# Twisted Pair



(a)

da Tanenbaum



(b)

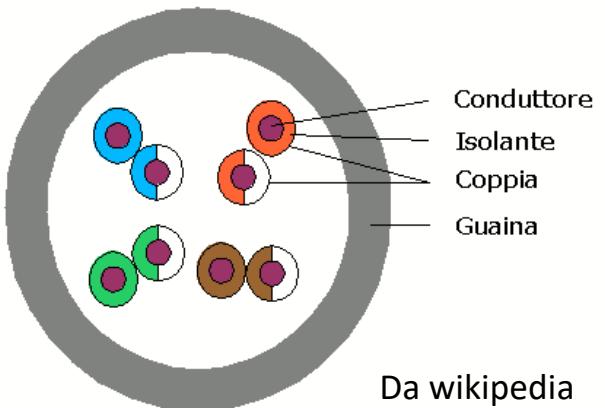
- (a) Category 3 UTP.
- (b) Category 5 UTP.

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

# Categorie UTP e STP

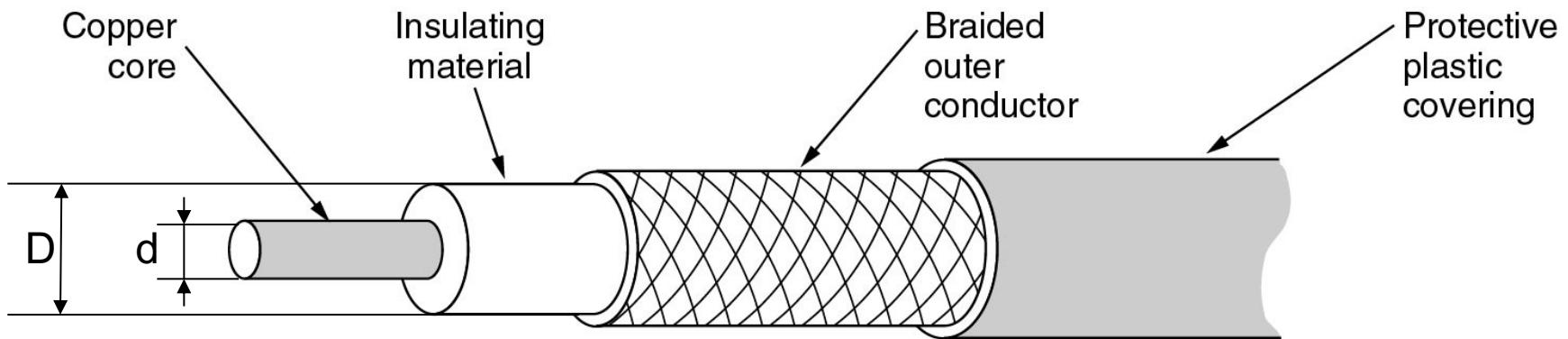
- Categoria 1: (TIA/EIA-568-B). Usato per la Rete telefonica generale, ISDN e per i citofoni.
- Categoria 3: (TIA/EIA-568-B). Usata per reti con frequenze fino a 16 MHz, molto diffusa per le reti Ethernet a 10 Mbit/s.
- Categoria 5 (non riconosciuta). Usata per reti con frequenze fino a 100 MHz; come 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

# Linee in rame: cavi coassiali



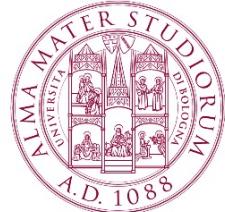
da Tanenbaum

- 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)



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



# Radio comunicazioni

- 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
- 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)

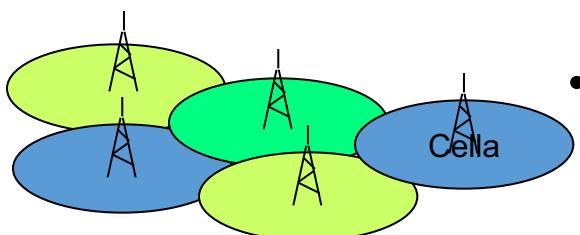
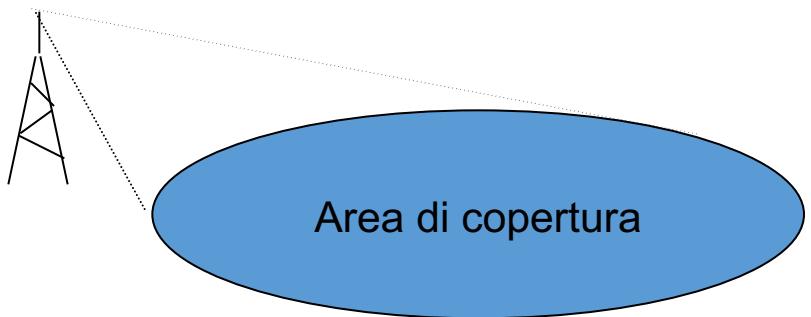


# Comunicazioni Radio

- 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)

# Servizi su comunicazioni radio

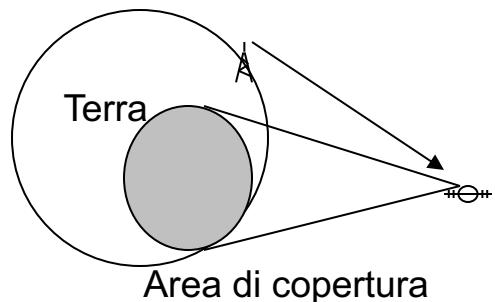
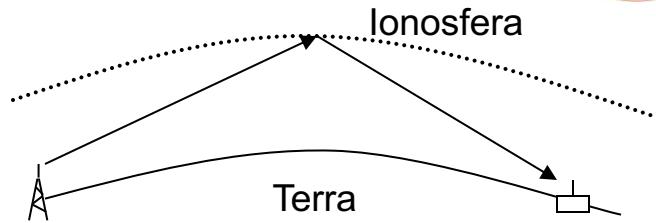
- Sono possibili trasmissioni punto-multipunto
  - Servizi originali di diffusione (broadcasting)
- Mobilità
- Limitazione delle risorse (lo spettro radio è finito)
- Diffusione radiofonica/televisiva
  - Raggiungere la maggior quantità di utenti possibili con un solo segnale
  - Pianificazione della localizzazione delle emittenti



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

# Grande distanza

- Propagazione ionosferica
  - Servizio di radiodiffusione ad onda corta
  
- Radiocomunicazione via satellite
  - 1957 : **Sputnik** primo satellite artificiale
  
- Satelliti per TLC
  - 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
  - Anni '90
    - Satelliti sofisticati con buona potenza in trasmissione
      - La stazione a terra può diventare molto economica
        - Global Position System (**GPS**)
        - Diffusione diretta da satellite (**DBS**)
        - Accesso ad internet tramite satellite
  - 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)





# Sistemi cellulari

- Principale applicazione: telefonia mobile
- Nuovo modo di usare i radiocollegamenti
  - La potenza trasmessa è piccola
  - 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
    - Selezione del canale e segnalazione
    - **Hand-over** (mobilità fra celle)
    - **Roaming** (mobilità fra operatori)
- Sistema **ETACS** a 900 MHz (analogico, copertura nazionale)
- Global System Mobile (**GSM**): **digitale**, a copertura mondiale
- Sistemi di III, IV e V generazione
  - Terminali con capacità multimediali



# Osservazioni sulle reti radio

- 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



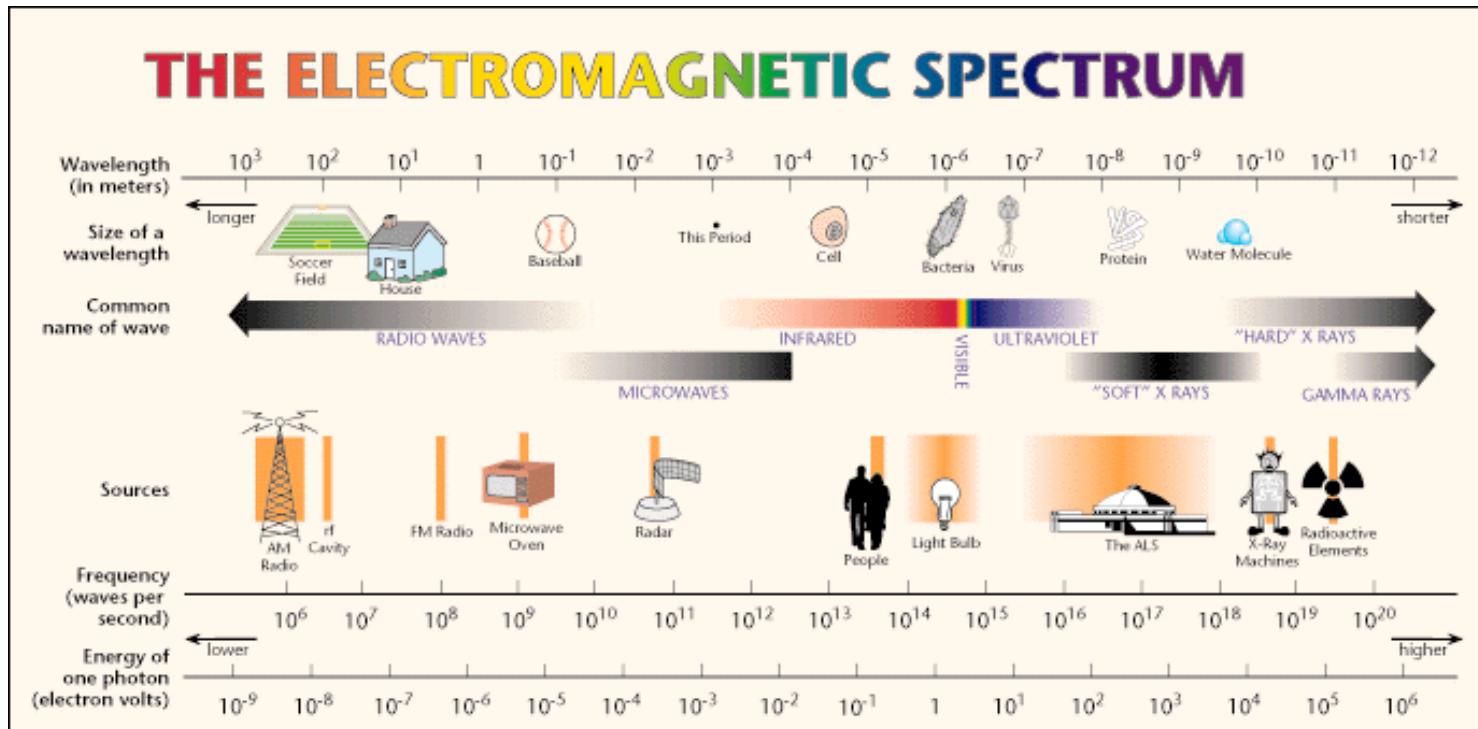
ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# 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



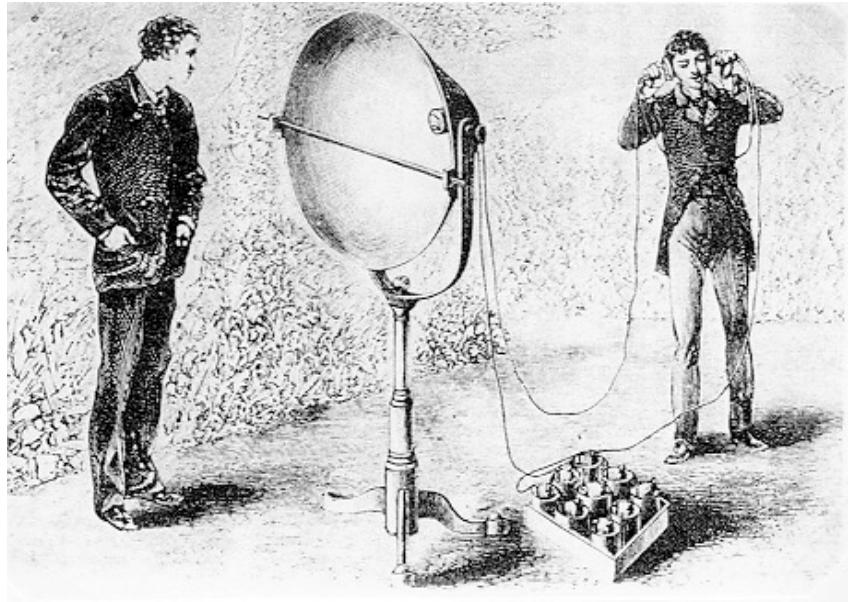
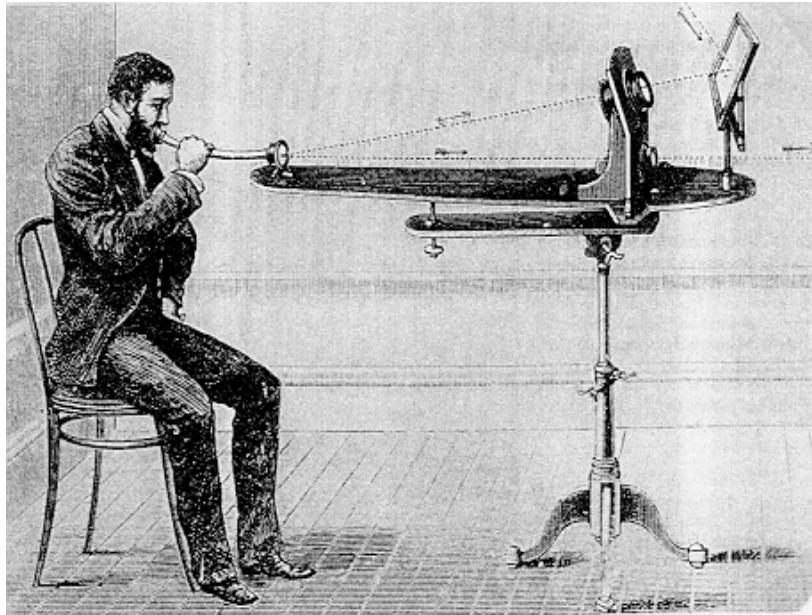


# Nella storia

- 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)



# Il Fotofono (1880)



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

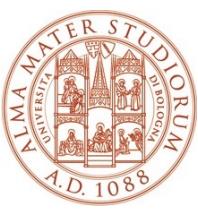


# Problemi ?

- Comunicazione ottica nello spazio libero:



- Non è segreta
- Richiede visibilità
- Sensibile alle condizioni climatiche



# Guidare la luce

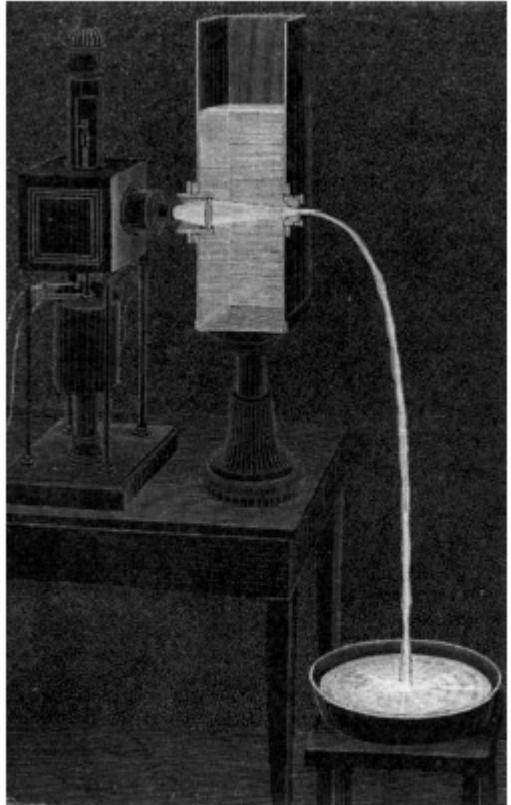
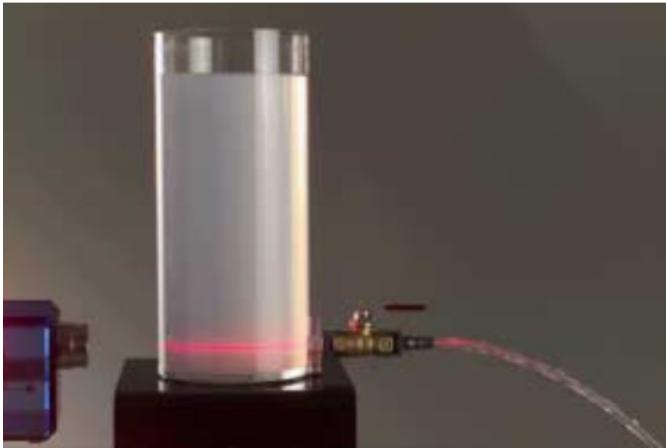
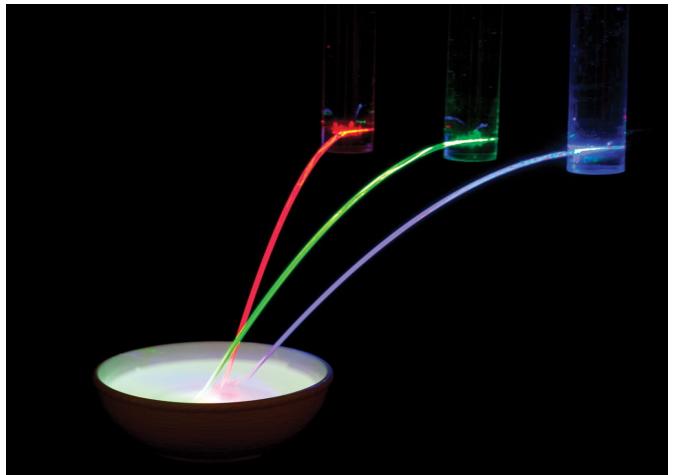


Figure 1: John Tyndall's “light guiding” experiment (recreation from Daniel Colladon, “La Fontaine Colladon,” *La Nature* 2nd half year 1884, p. 325).

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



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



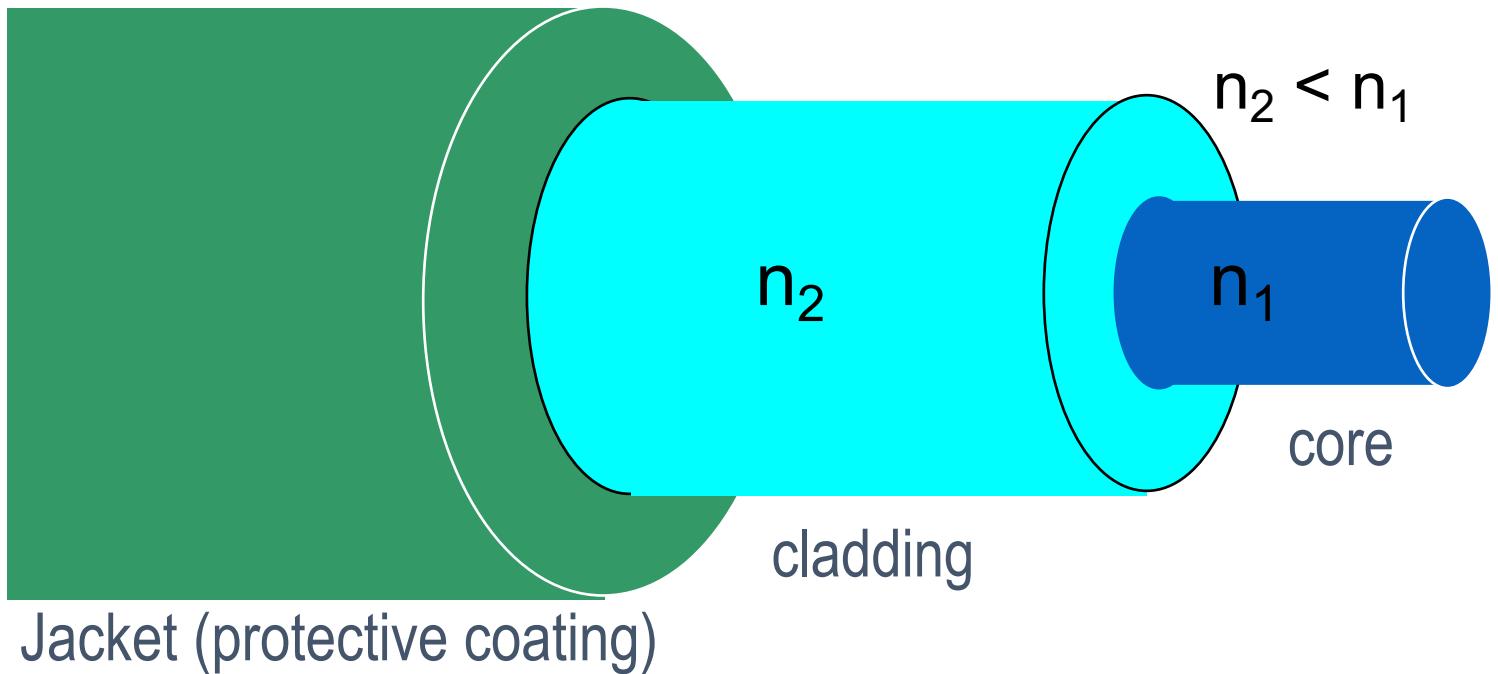


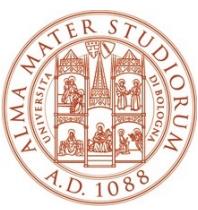
# Dalla teoria alla pratica

- 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

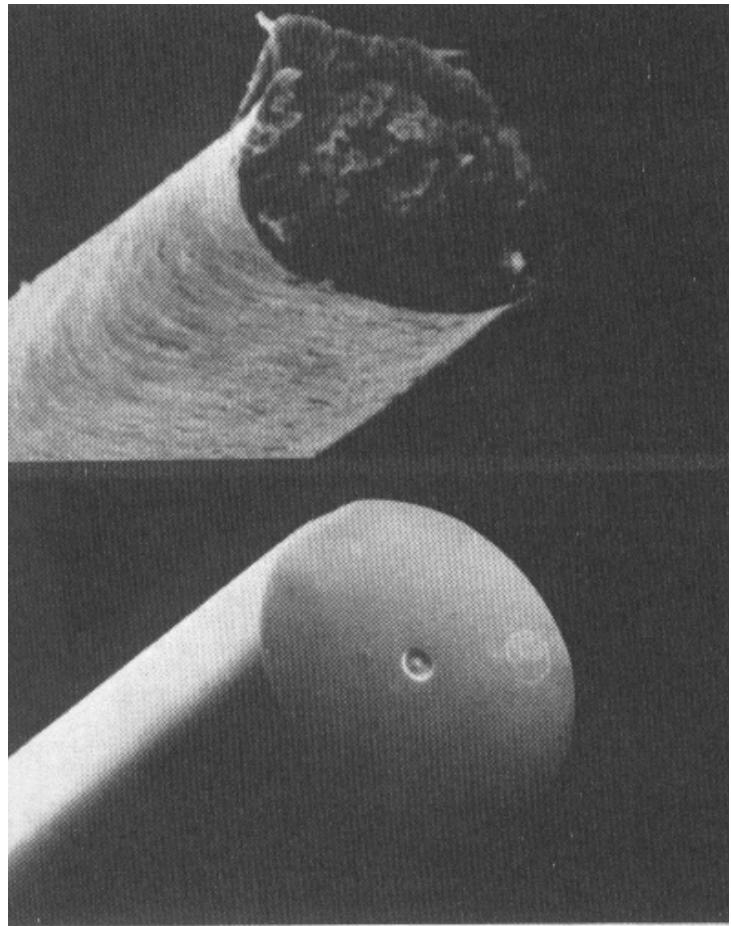
# La fibra ottica

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





# Dimensioni della fibra



← human hair  
(mean diameter : 80  $\mu\text{m}$ )

← optical fibre  
(diameter : 125  $\mu\text{m}$ )

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



# Quale vetro

- Il vetro comunque assorbe parte della luce che lo attraversa
- L'Intensità del raggio luminoso diminuisce mano a mano che questo attraversa il vetro
- Quanta strada può percorrere un raggio luminoso prima che la sua intensità dimezzi?
  - 3 cm nel vetro comune ( $100000 \text{ dB/km}$ )
  - 3 m in un vetro di alta qualità ( $1000 \text{ dB/km}$ )
  - 15 km in una fibra ottica di media qualità ( $0.2 \text{ dB/km}$ )

# Come si costruisce la fibra



# Fibre ottiche

## In silice

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

$\varnothing$  8-10  $\mu\text{m}$  (MonoModo),

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

$n_1 \sim 1.443$



## In plastica

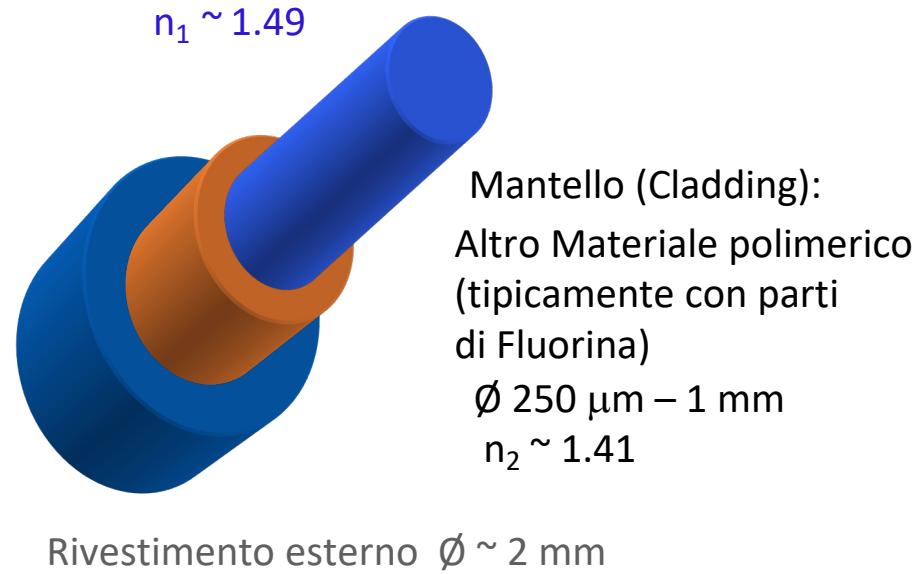
Nucleo (Core):

PoliMetilMetaAcrilato (PMMA),

Polimero Perfluorinato (CYTOP), ...

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

$n_1 \sim 1.49$



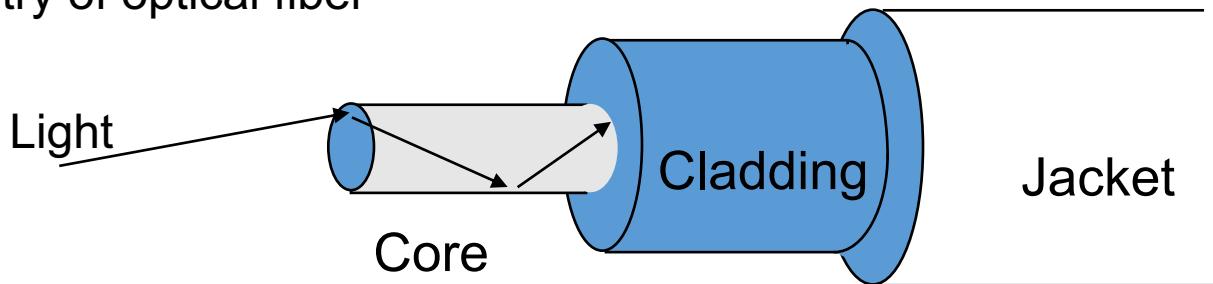


# Alcune date

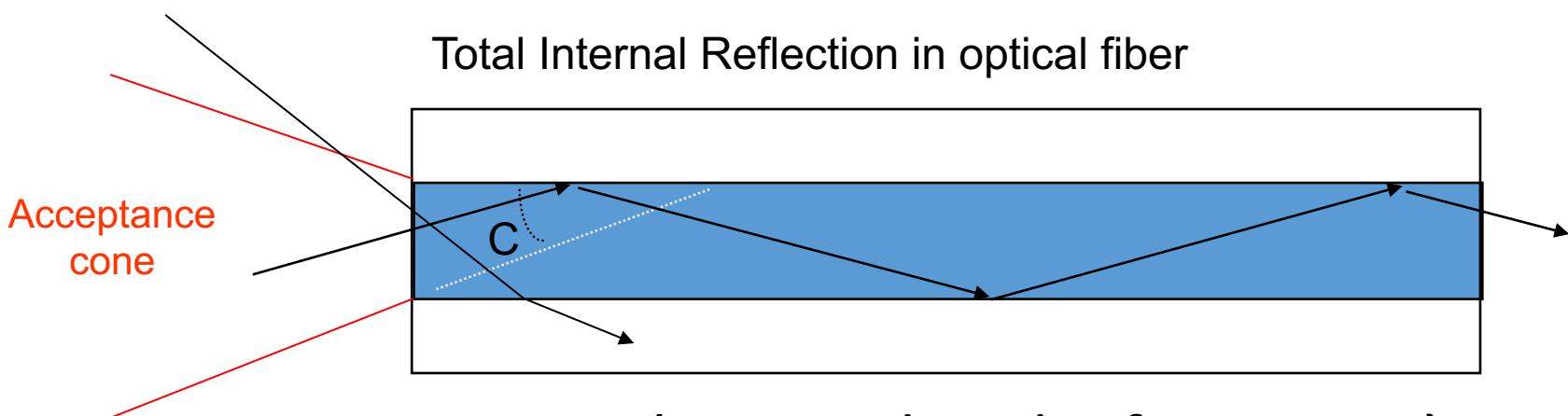
- 1962: first GaAs laser diodes (General Electric: Robert Hall et al.)
- 1970: first true optical fibre (multimode) exhibiting 17 dB/km at 633 nm (CORNING)
- 1972: first CW laser diodes operating at room temperature
- 1974: fibre attenuation goes down to 3 dB/km at 0,85 μm (CORNING). 1975: FP laser diodes (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

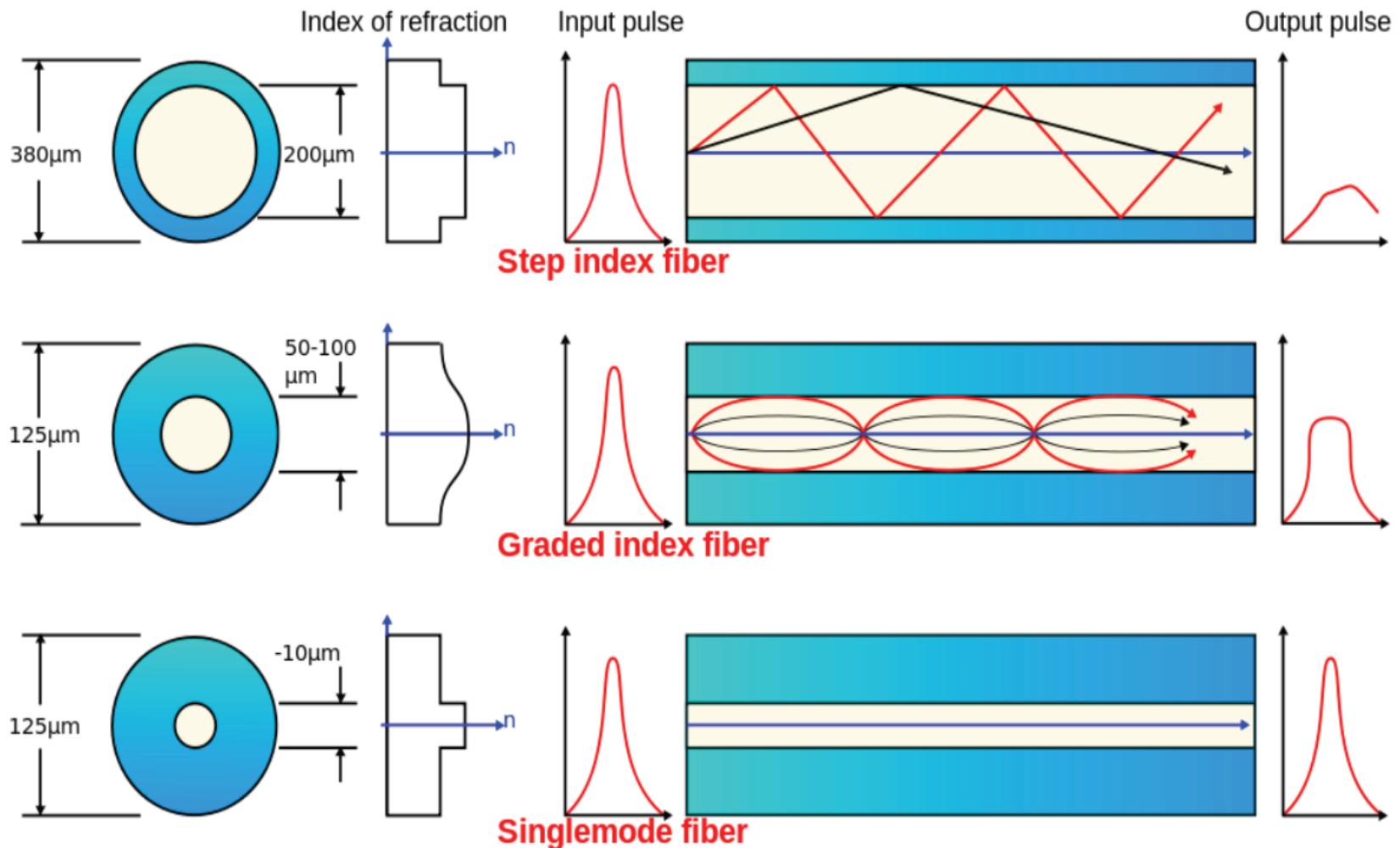


Total Internal Reflection in optical fiber



- 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

# Tipi di fibre ottiche



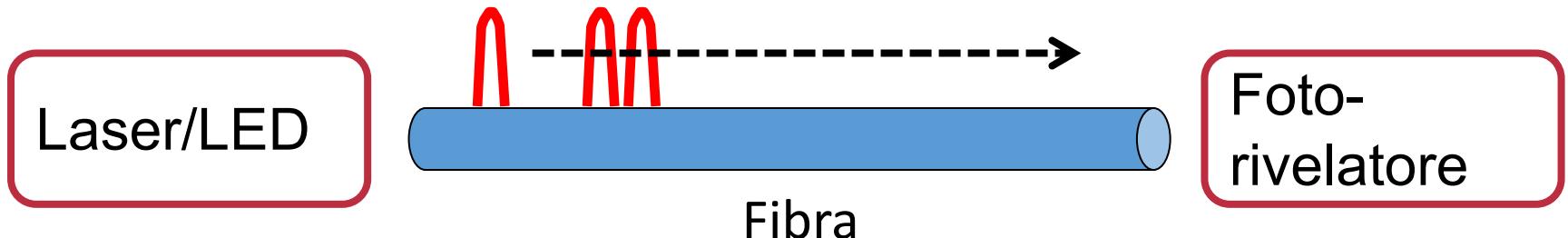
Multimode fiber

Singlemode fiber



# Il sistema di trasmissione

- I sistemi tradizionali in fibra utilizzano una tecnica detta On/Off Keying (OOK)
- 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
  - La propagazione è praticamente priva di errore (BER of 10-15)





# Il paradosso delle fibre ottiche

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



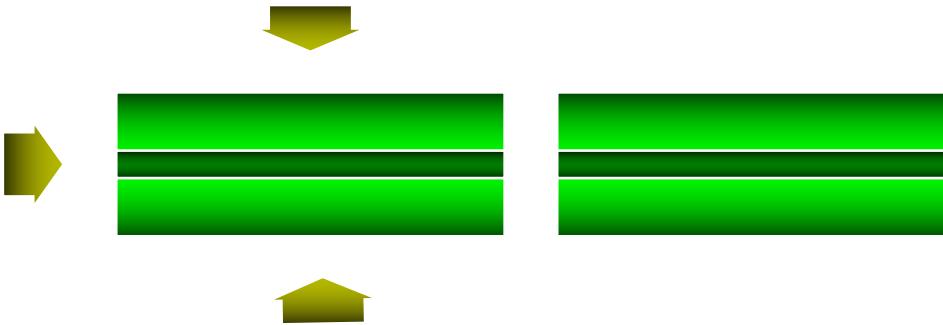
# Ma qualche problema c'è?

- Rispetto ai cavi in rame le fibre ottiche sono più difficili da giuntare
- Si possono avere
  - Giunti stabili
    - Joints (loss < 0.01 dB)
  - Giunti temporanei
    - Connectors (loss < 0.1 dB)
- L'elemento critico è la stabilità dell'allineamento

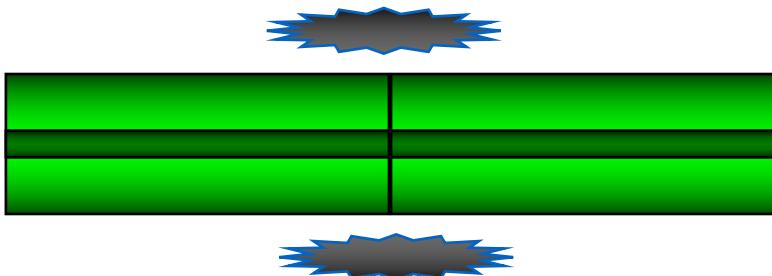


# Giunto stabile

- Allineamento



- ◆ Flash elettrico che fonde le due fibre in una



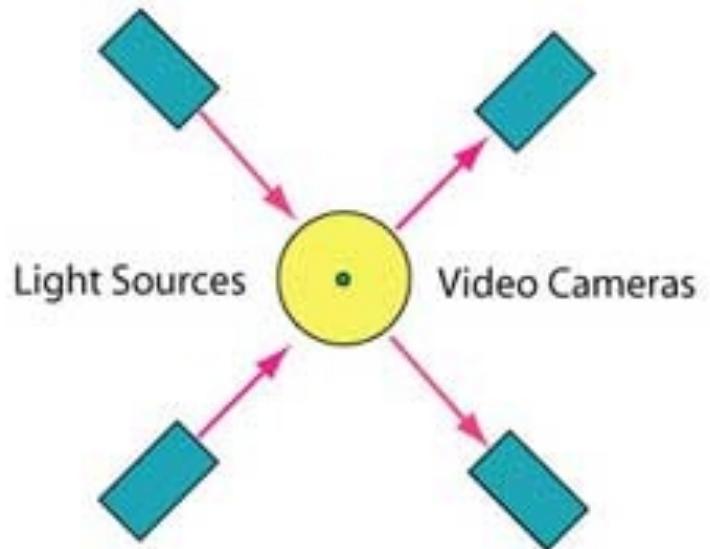


# Fusion splicing machine



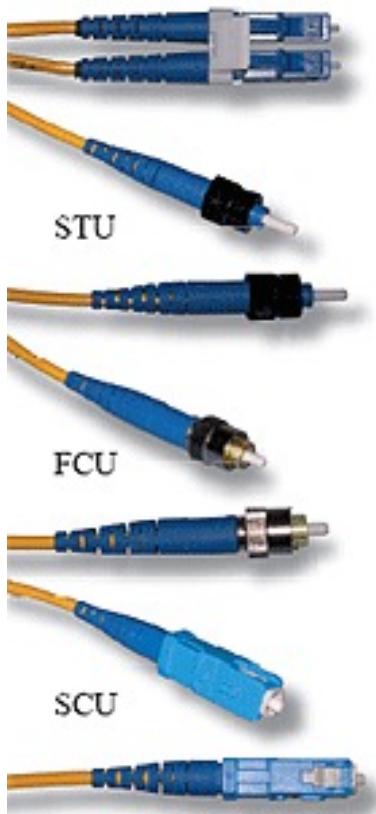
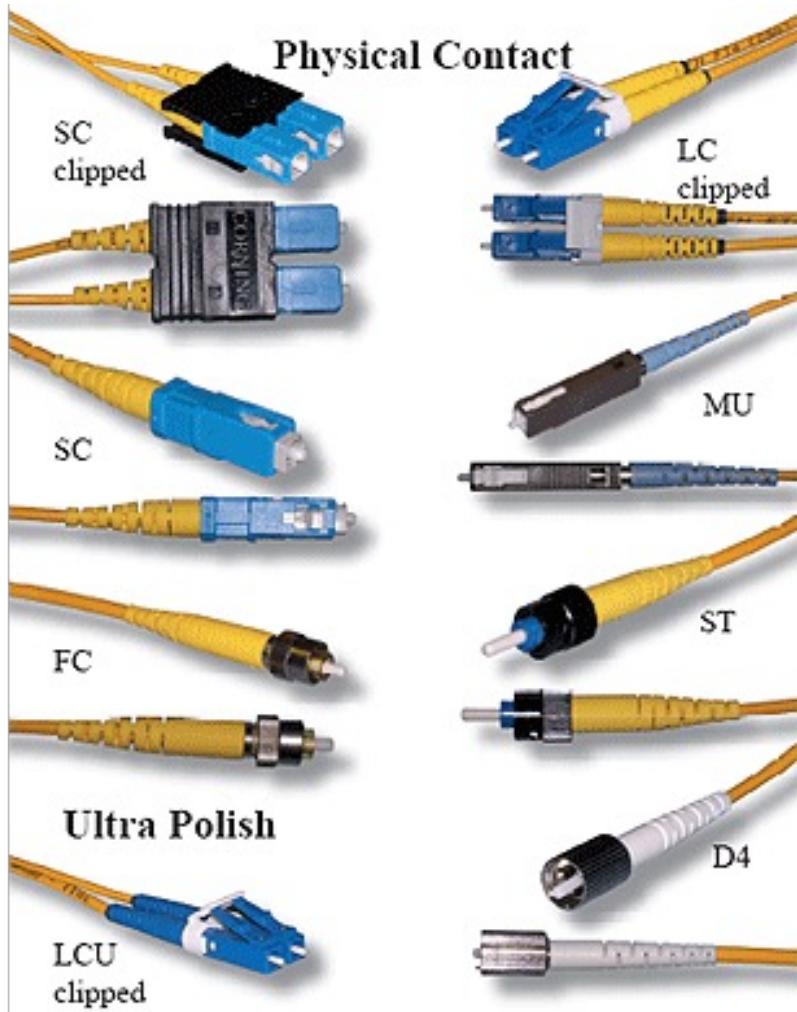
<http://www.thefoa.org/tech/ref/termination/fusion.html>

# Allineamento





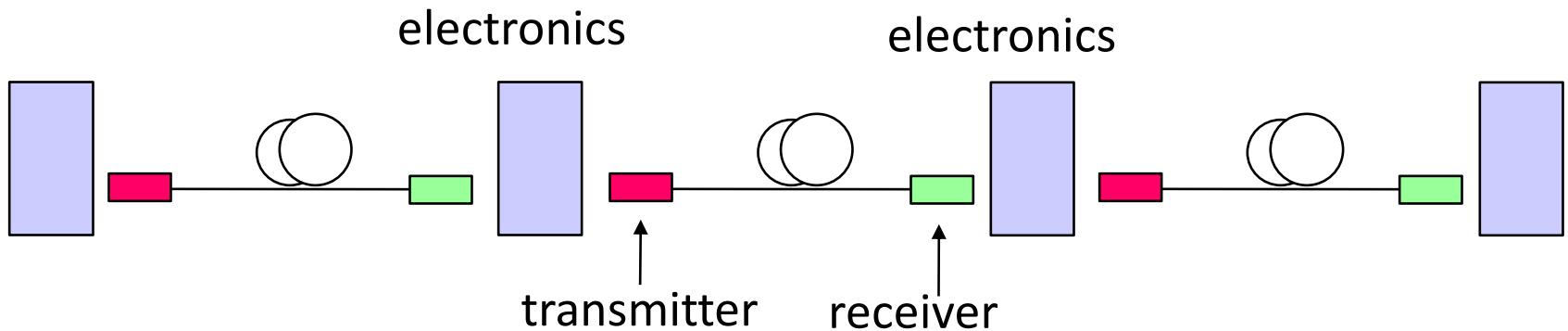
# Giunti temporanei



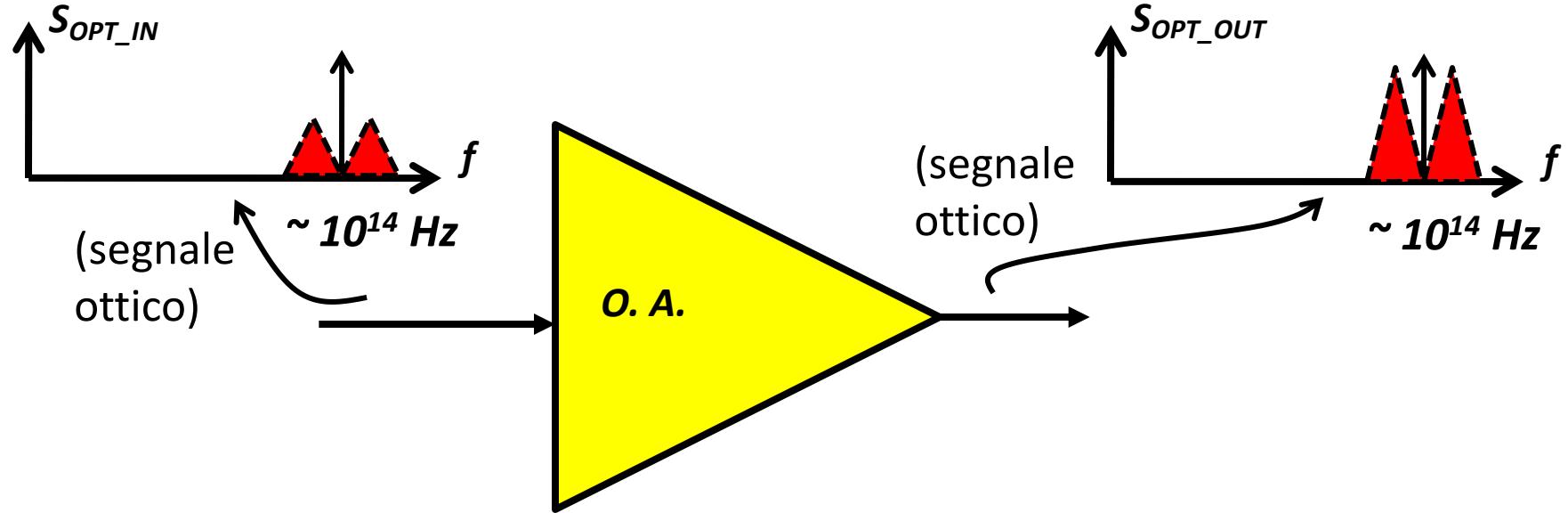
<https://americantechsupply.com>

# 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



# L'Amplificatore Ottico...



- Il segnale viene mantenuto a livello ottico: maggior banda trasmisibile

- In un segnale WDM tutti i canali vengono amplificati



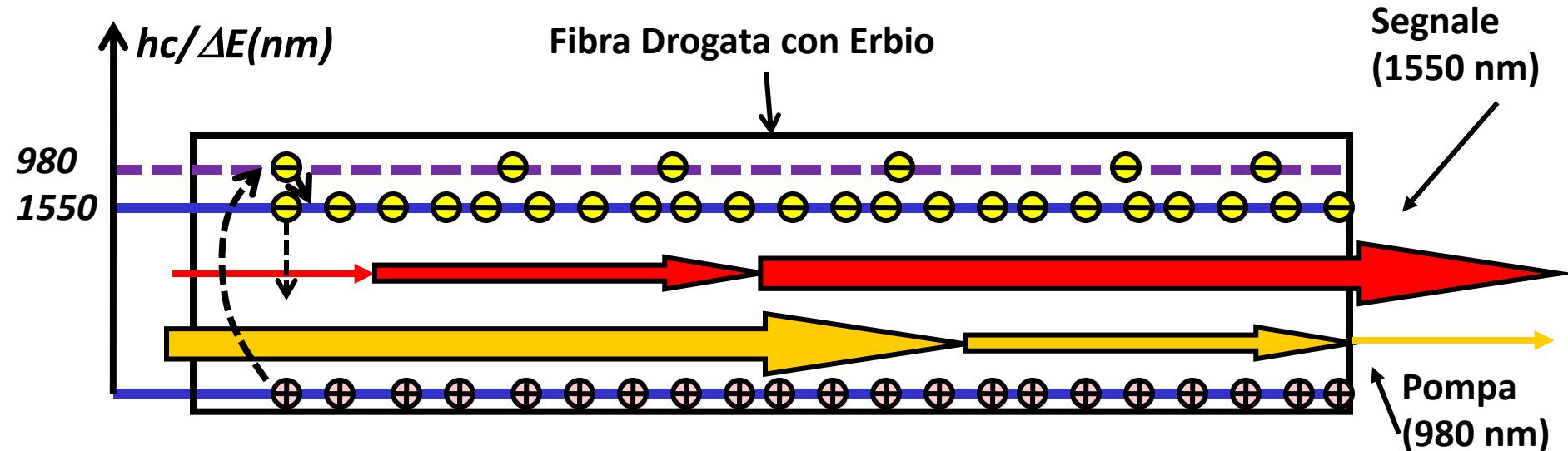
- L'amplificatore effettua solo il “Re-amplifying”

- 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,...)

# L'EDFA

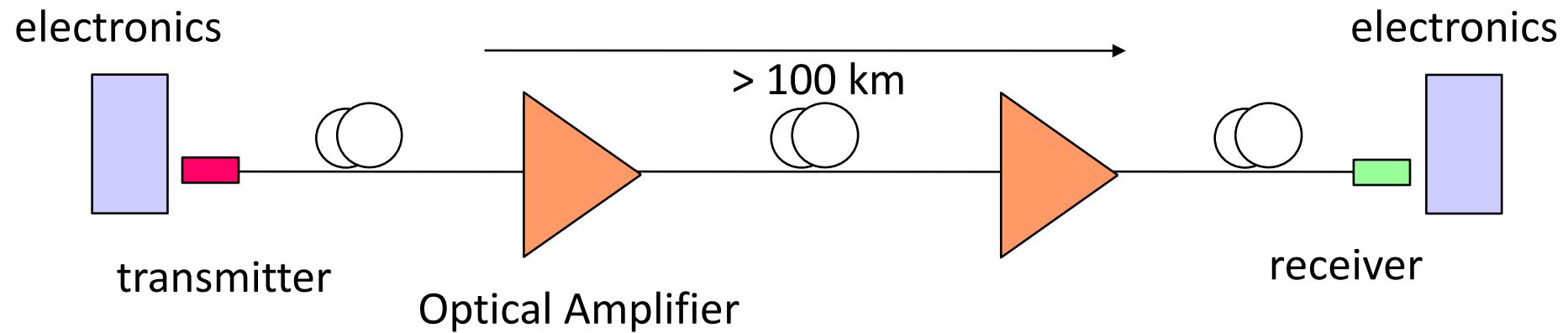


- Drogaggio di erbio:
  - ✓ Alcuni livelli instabili ( $800, 980, 1480 \text{ nm}$ ) e un livello meta-stabile ( $1550 \text{ nm}$ )
  - ✓ Laser di pompa (es. a  $980 \text{ nm}$ ) → elettroni al livello instabile,
  - ✓ Livello instabile → livello metastabile (inversione di popolazione)
  - ✓ Il segnale attraversa la fibra → amplificazione per emissione stimolata
- Amplificazione a  $\lambda$  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  $F < 10 \text{ dB}$



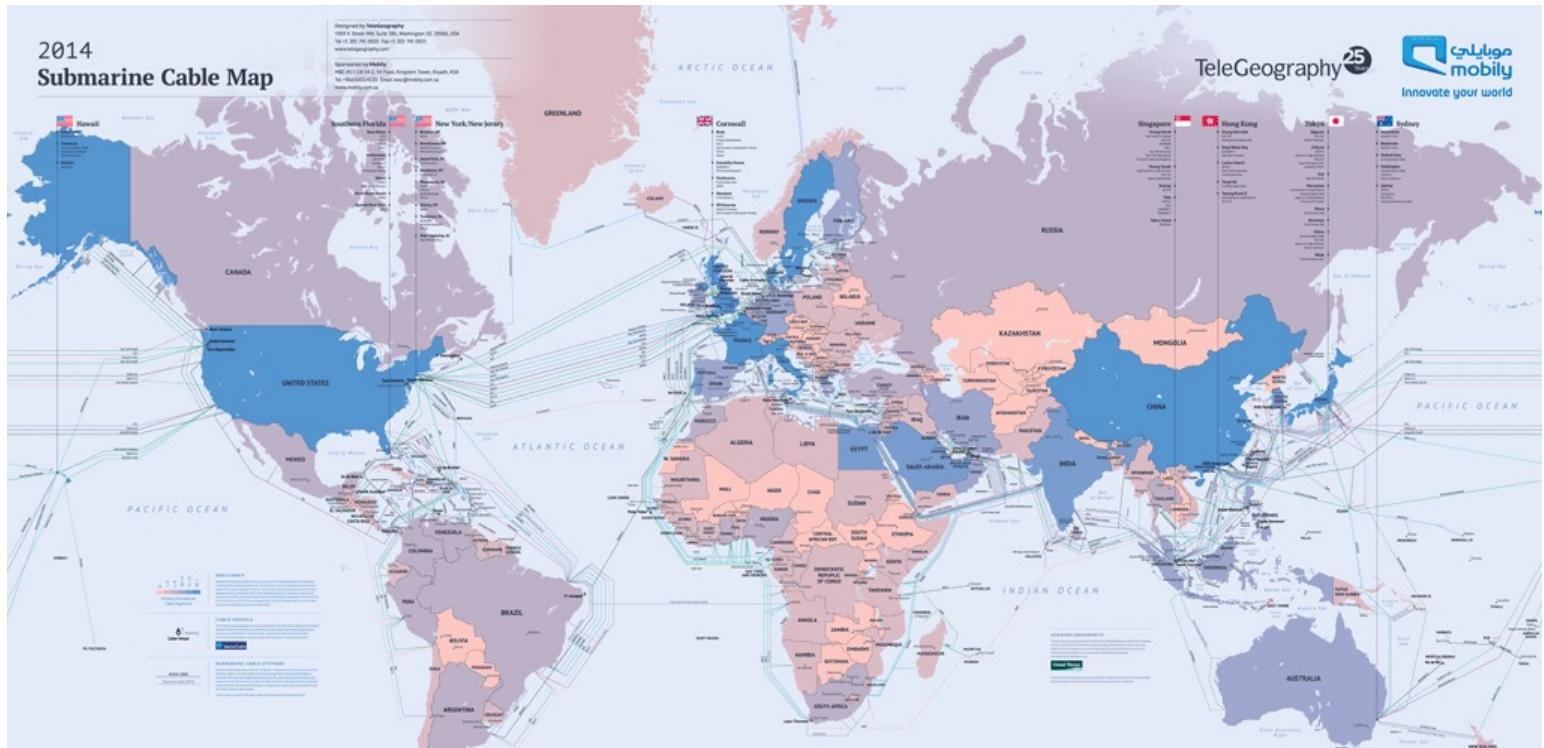
# Evoluzione: sistemi amplificati

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.



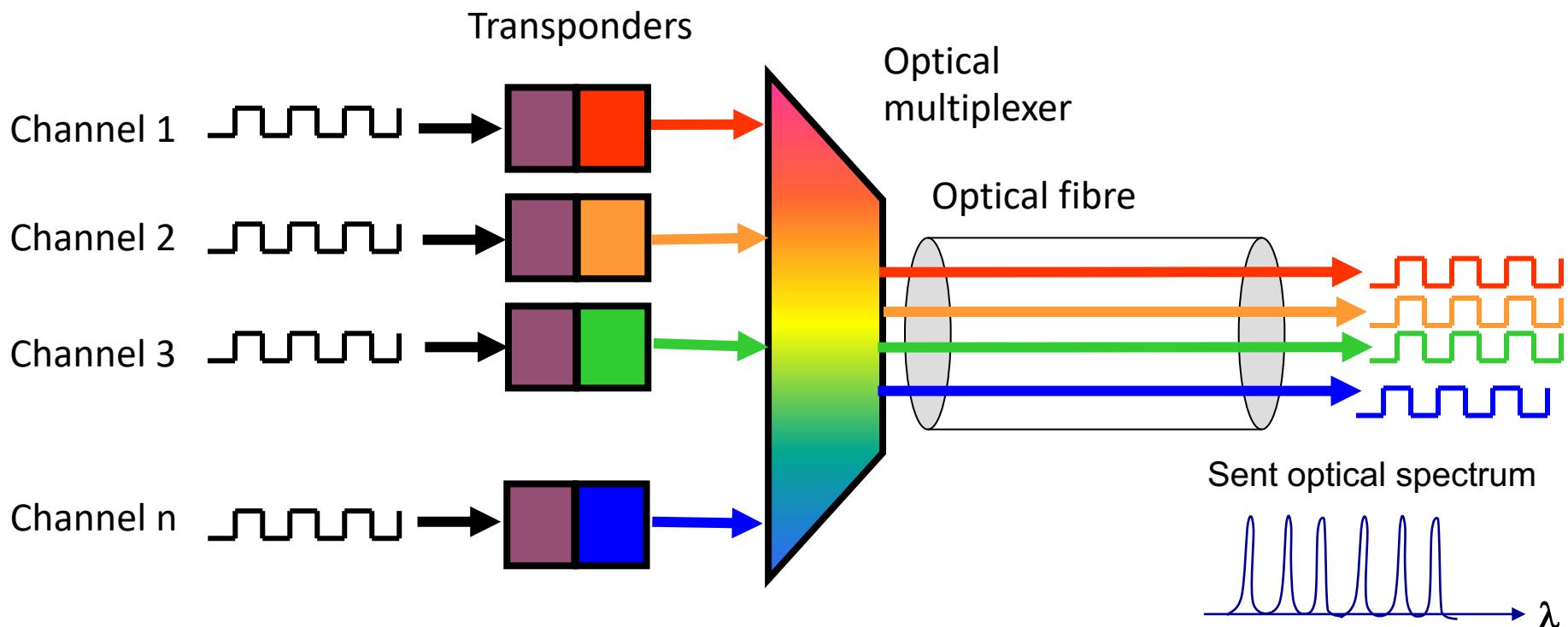


# Il boom del WDM

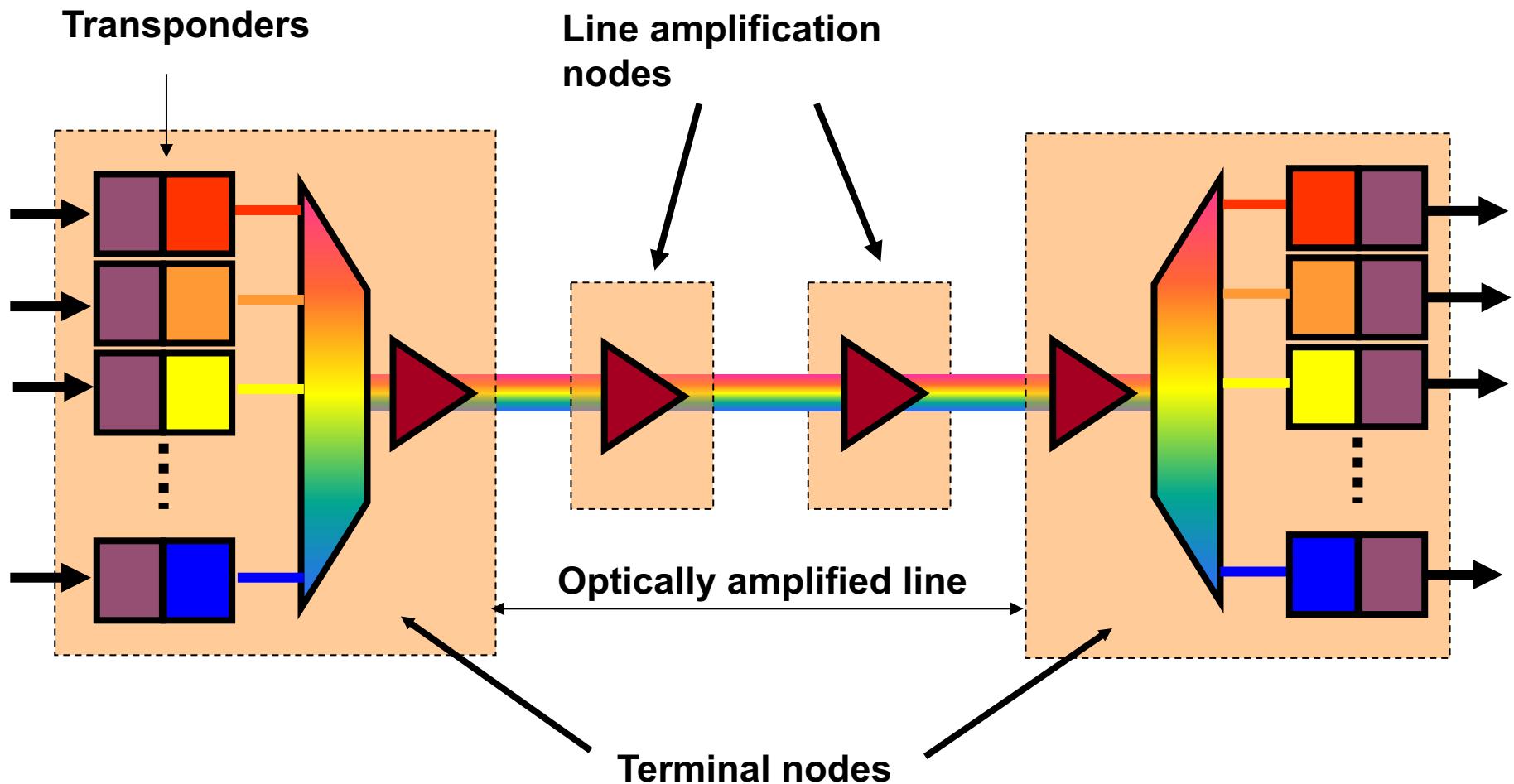
- Wavelength Division Multiplexing
  - È un modo alternative per FDM
  - Multiplazione di diversi flussi su diversi ambiti di frequenze (o di lunghezze d'onda)
- WDM = flussi dati diversi vengono trasmessi su colori (lunghezze d'onda) diversi nella stessa fibra
- Richiede
  - Trasmettitori e ricevitori selettivi
- Inizia negli USA all'inizio degli anni 90
  - Deregulation
  - Abbassamento dei costi dell'elettronica
  - Aumento del traffico (esplosione di Internet)
- Permette di aumentare molto la capacità della rete senza installare nuove fibre

# I principi del WDM

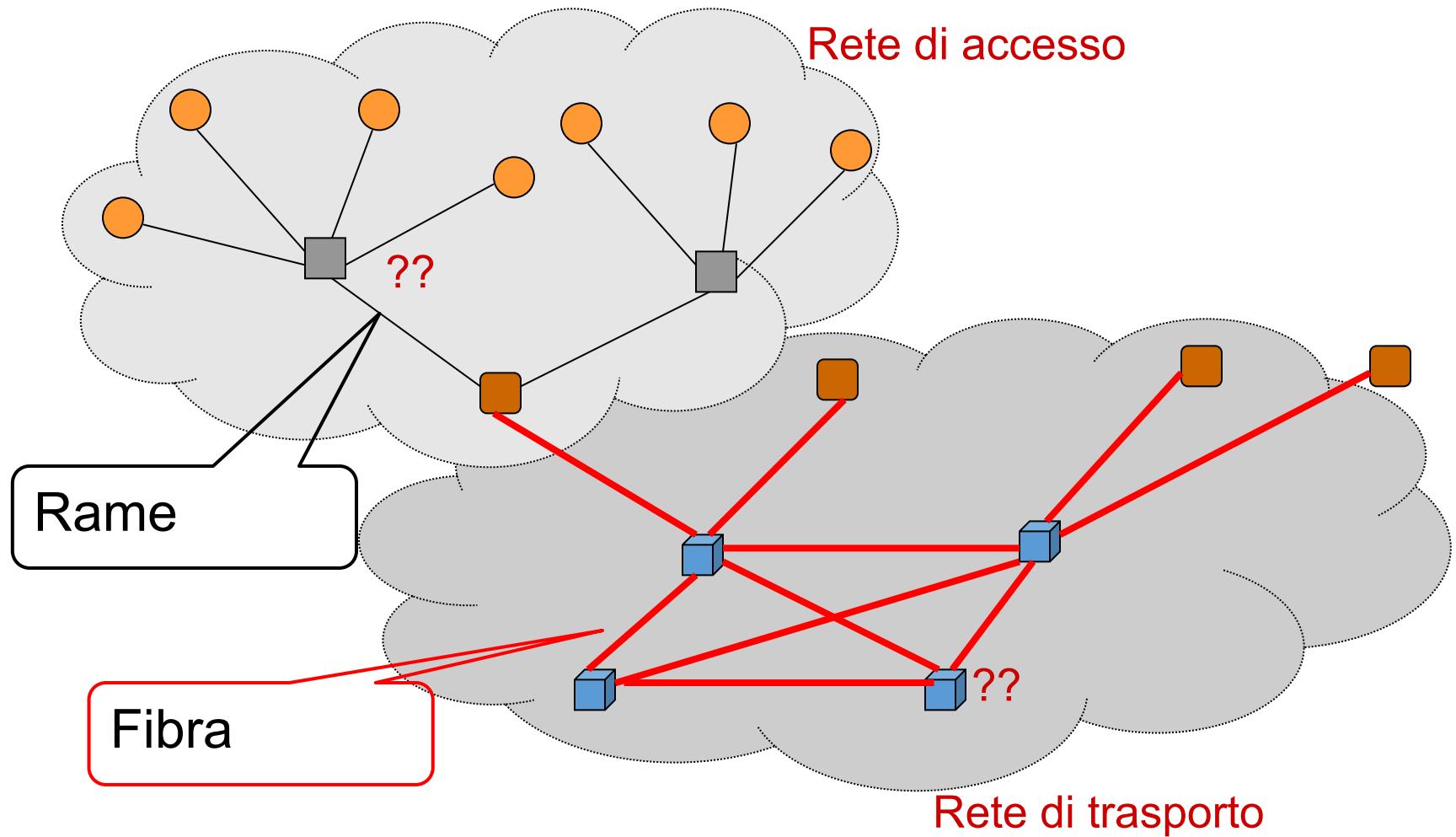
- Si trasmettono più flussi di informazione utilizzando diversi colori della luce
- I vari flussi convivono senza danneggiarsi sulla stessa fibra
- Se uso n flussi moltiplico per n la quantità di informazione trasportata



# Un sistema WDM



# Le reti di oggi



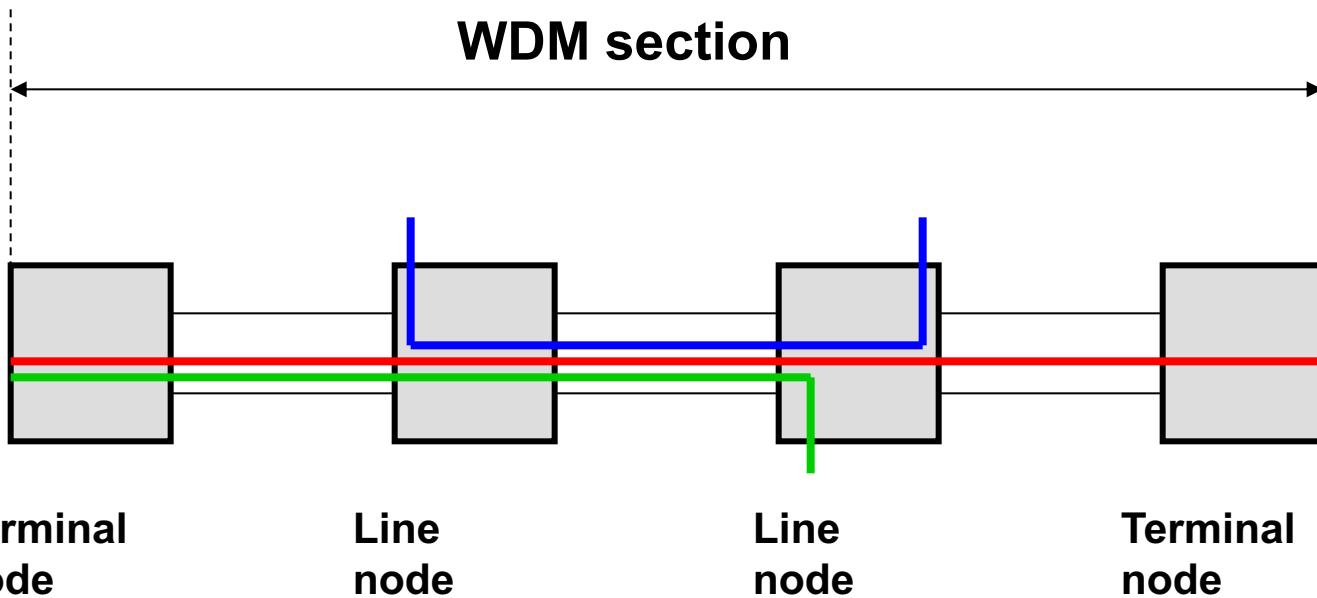


# Cosa rimane?

- 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

# 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)



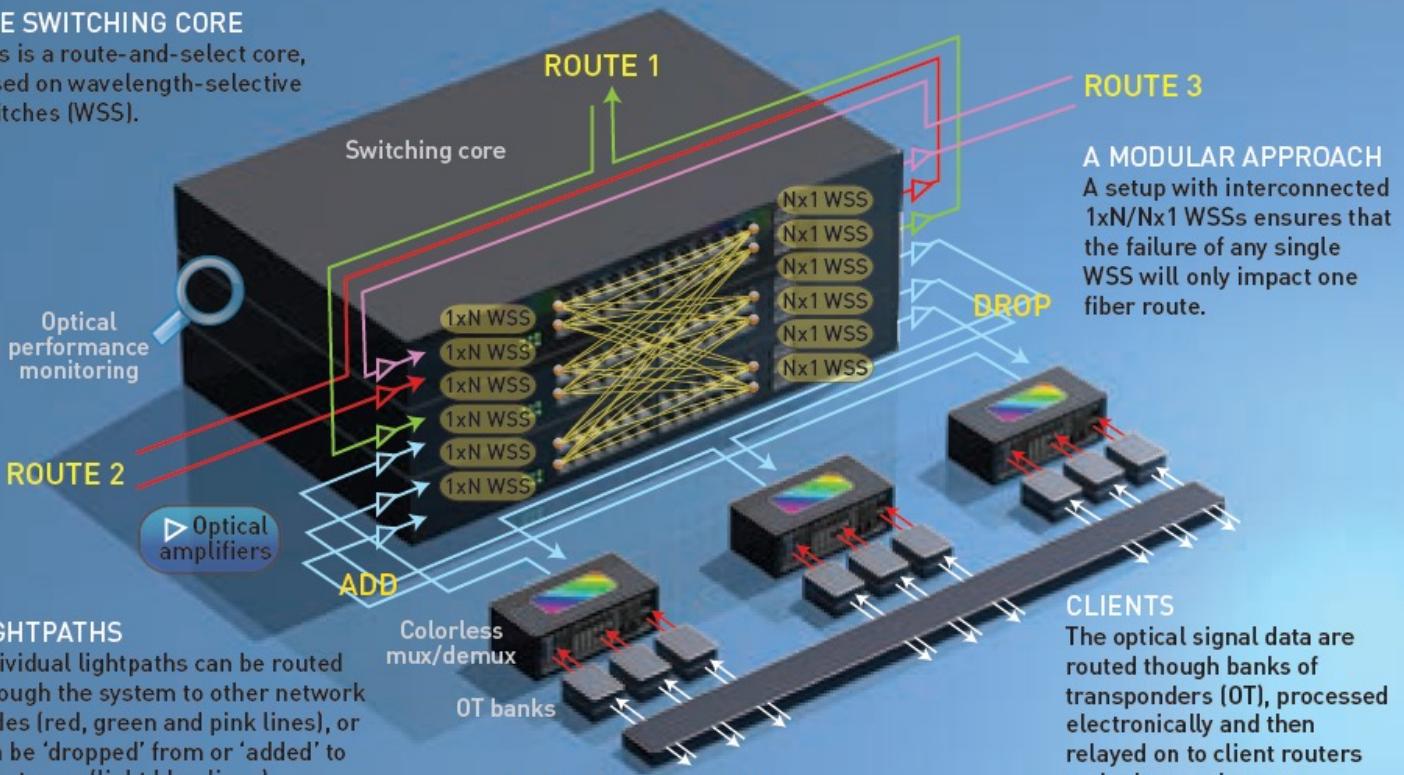


# ROADM

## ROADM - Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer

### THE SWITCHING CORE

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

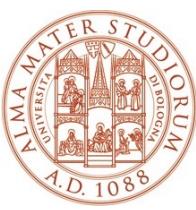


### LIGHTPATHS

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).

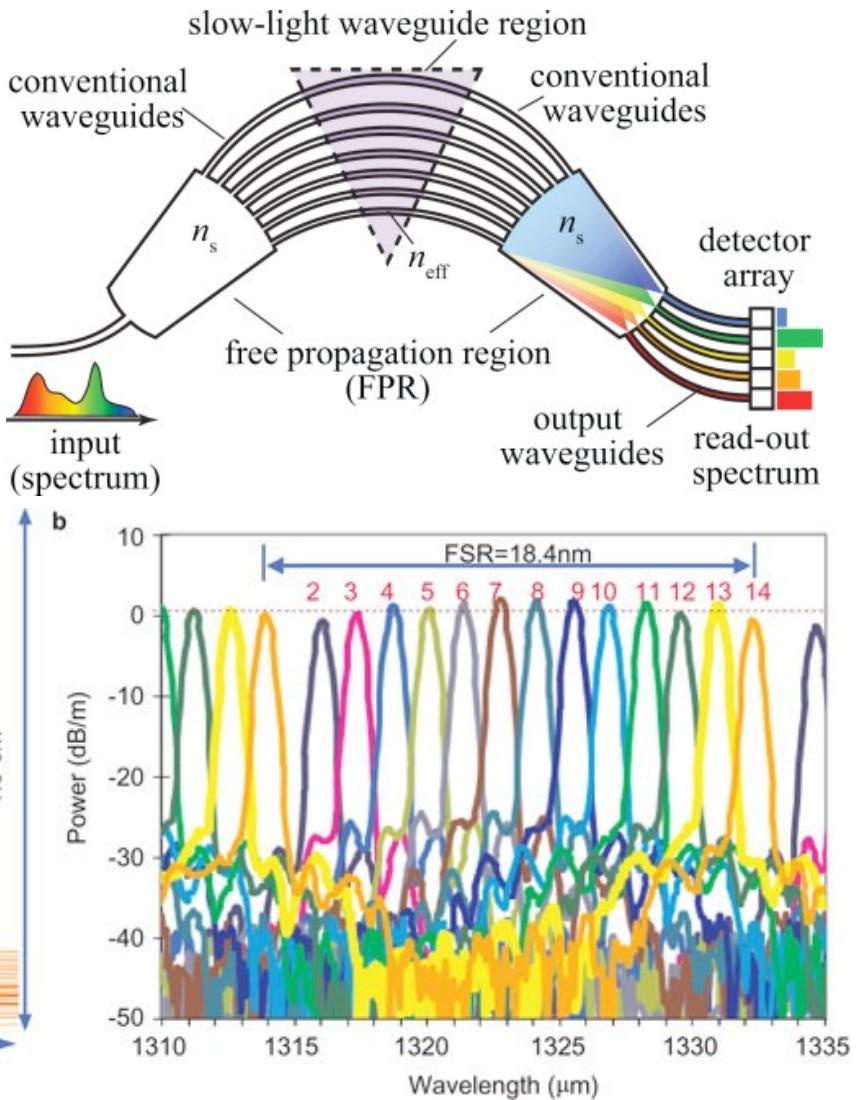
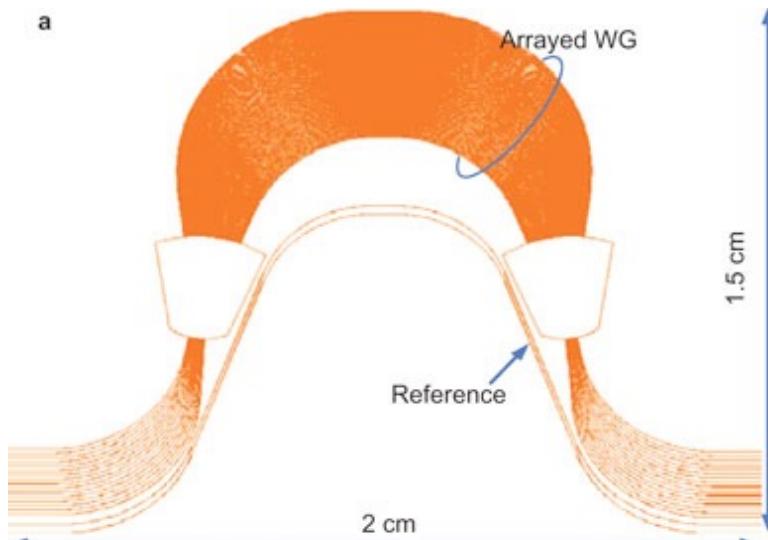
### A MODULAR APPROACH

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.



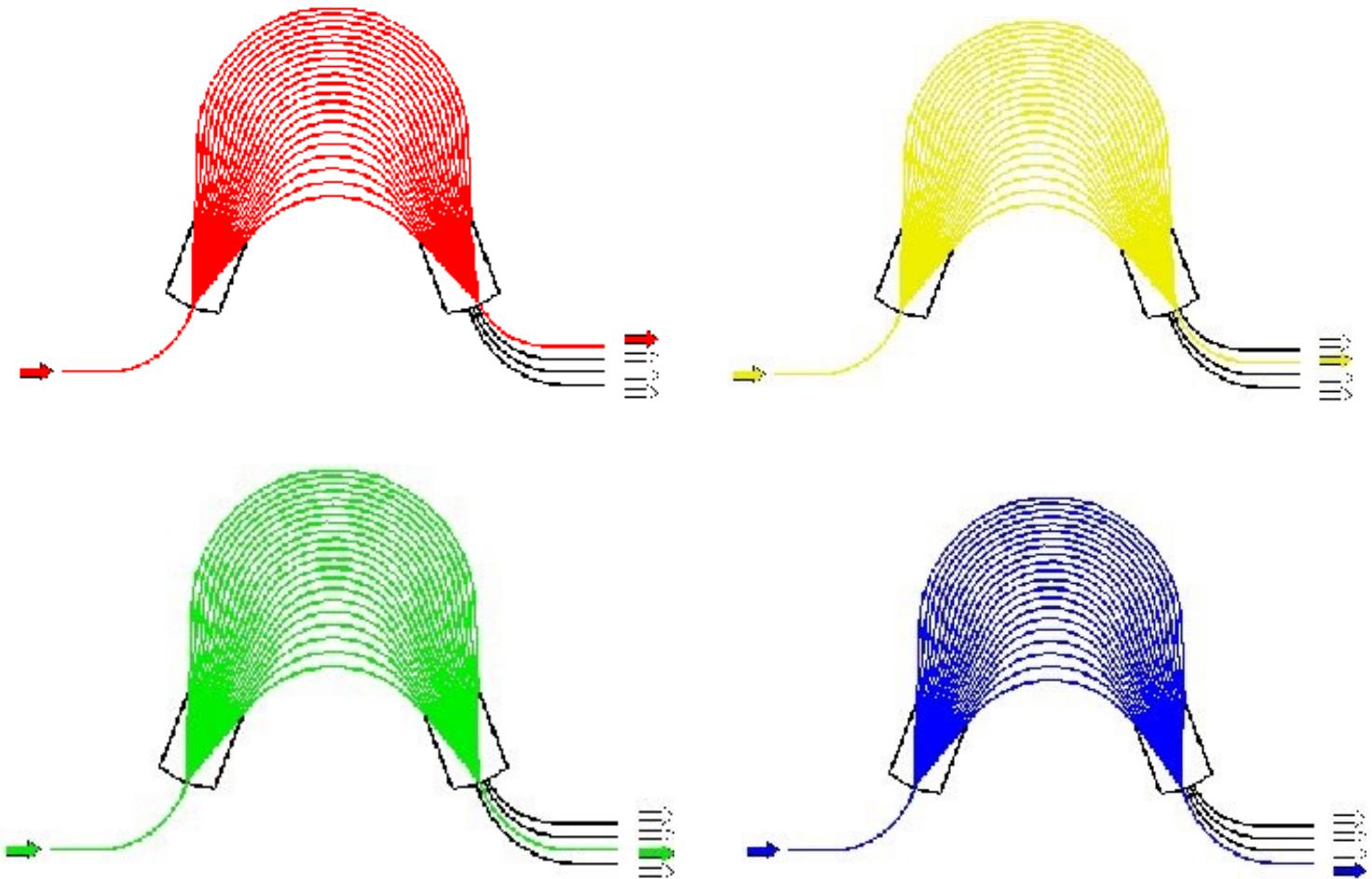
# AWG

AWG =  
Arrayed Waveguide Gratings





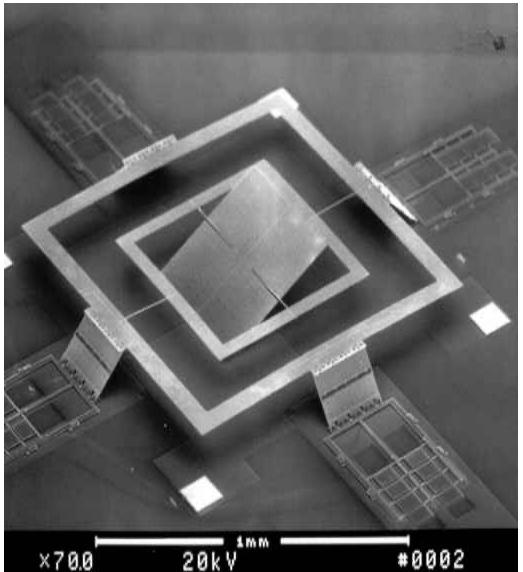
# Funzionamento di AWG





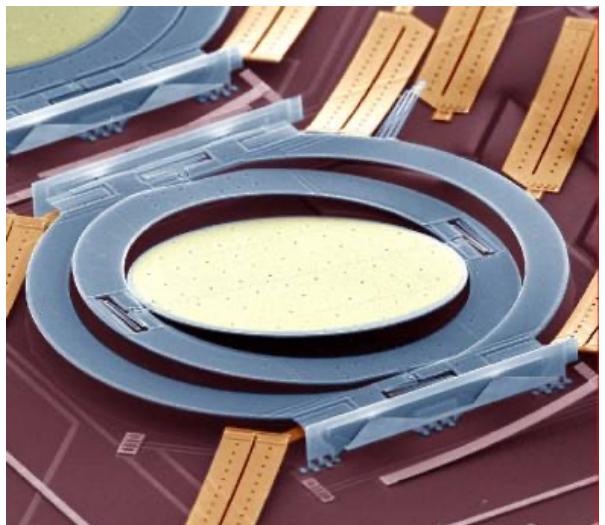
# MEM

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

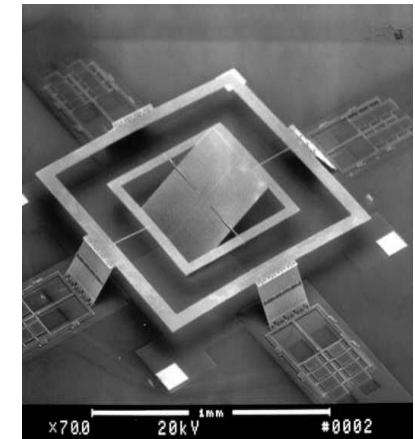
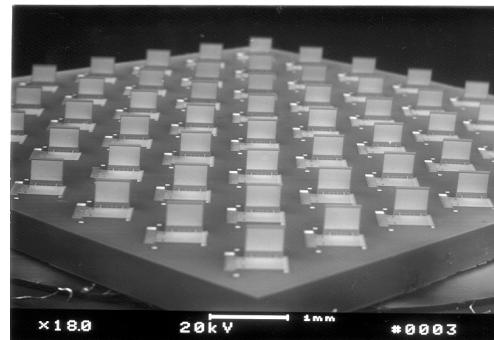
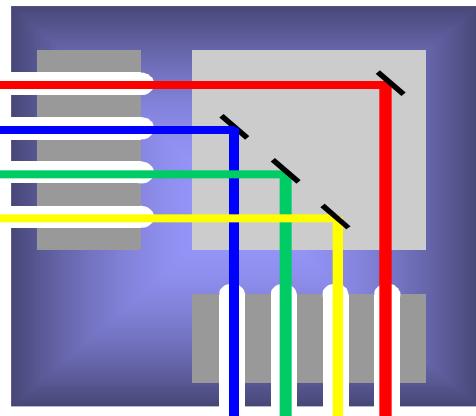


↔

1 mm

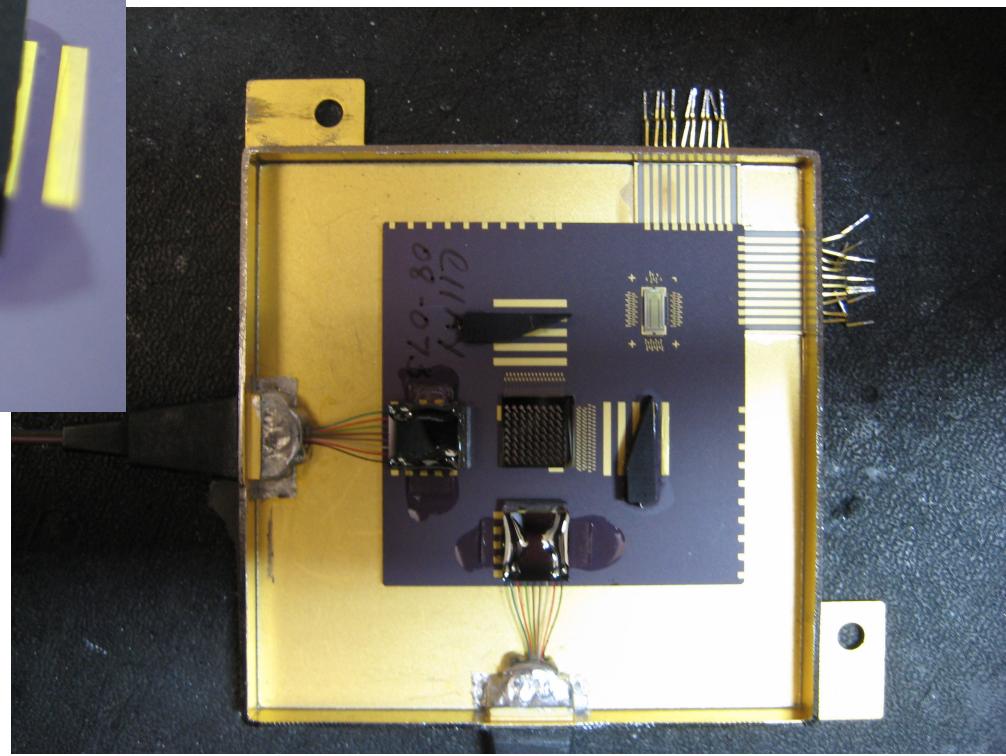
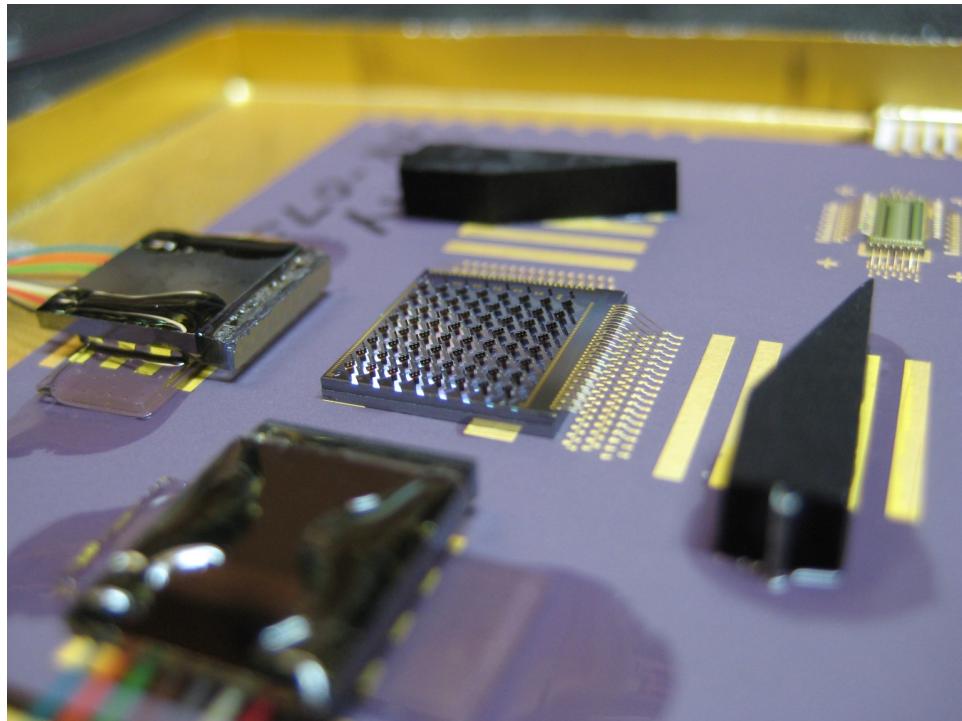


# MEMs Switch Matrix



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.»



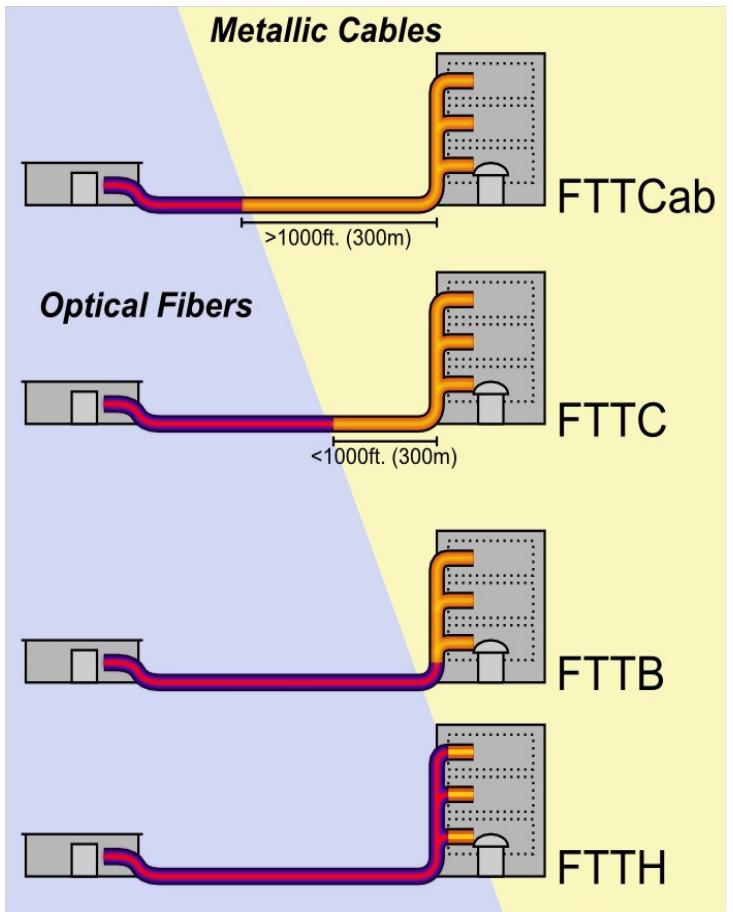
# Come

- 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

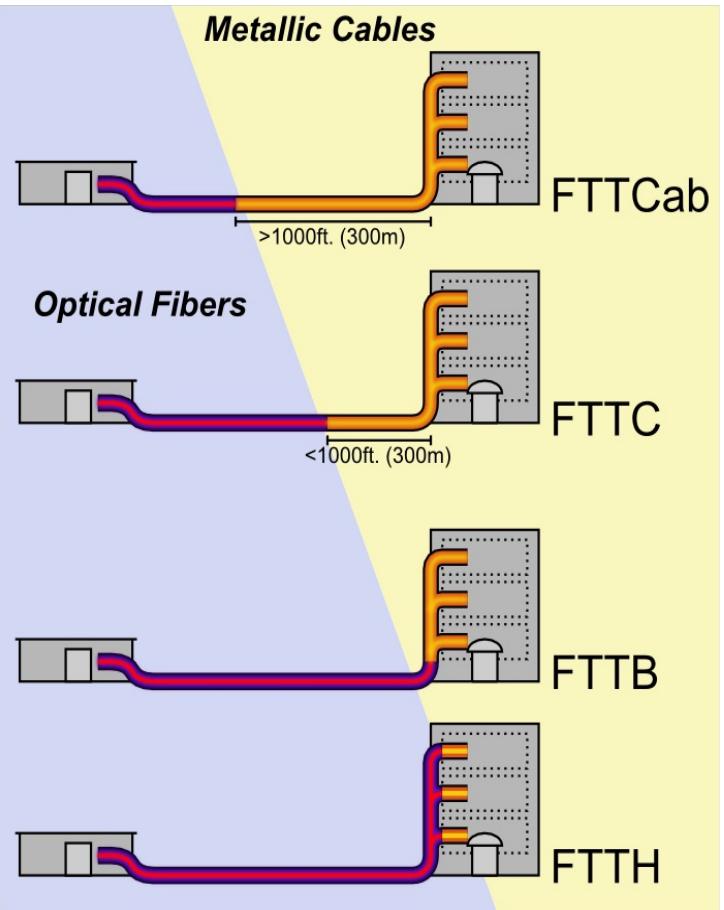
- Come sostituire le reti in rame?





# Alternative

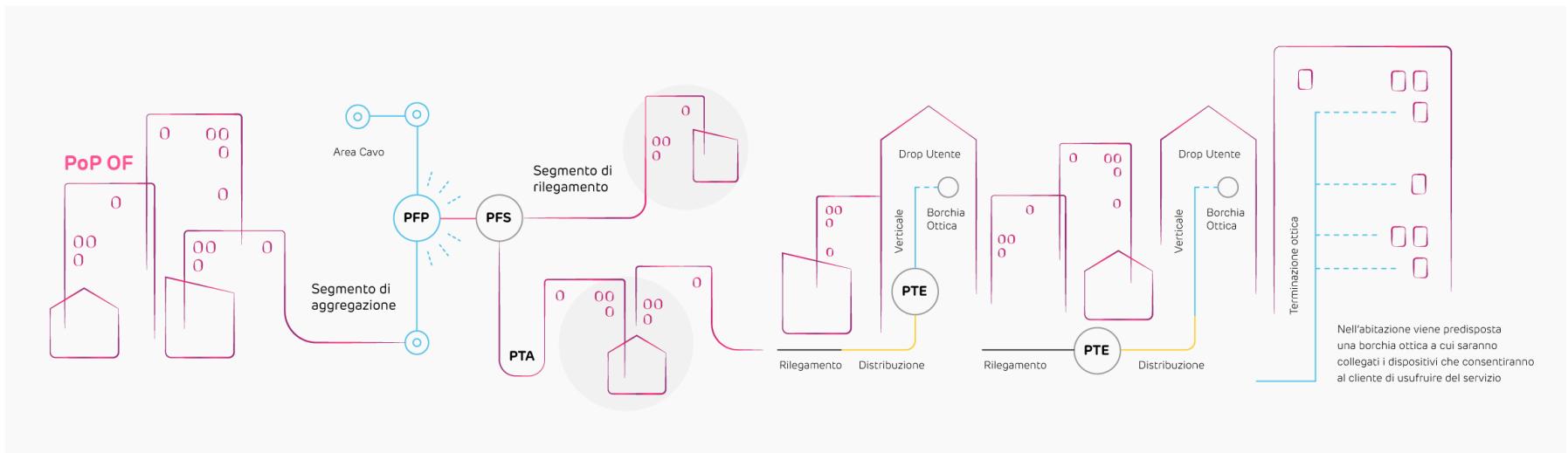
- Classificate in base alla localizzazione dell'interfaccia elettro/ottica (EOI)
  - Fiber To The Exchange (FTTE): EOI in centrale
  - Fiber To The Cab (FTTCab): EOI in the equivalent of the PSTN cabinet
  - Fiber To The Curb (FTTC): EOI in the equivalent of the PSTN distribution point
  - Fiber To The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





# La tecnologia

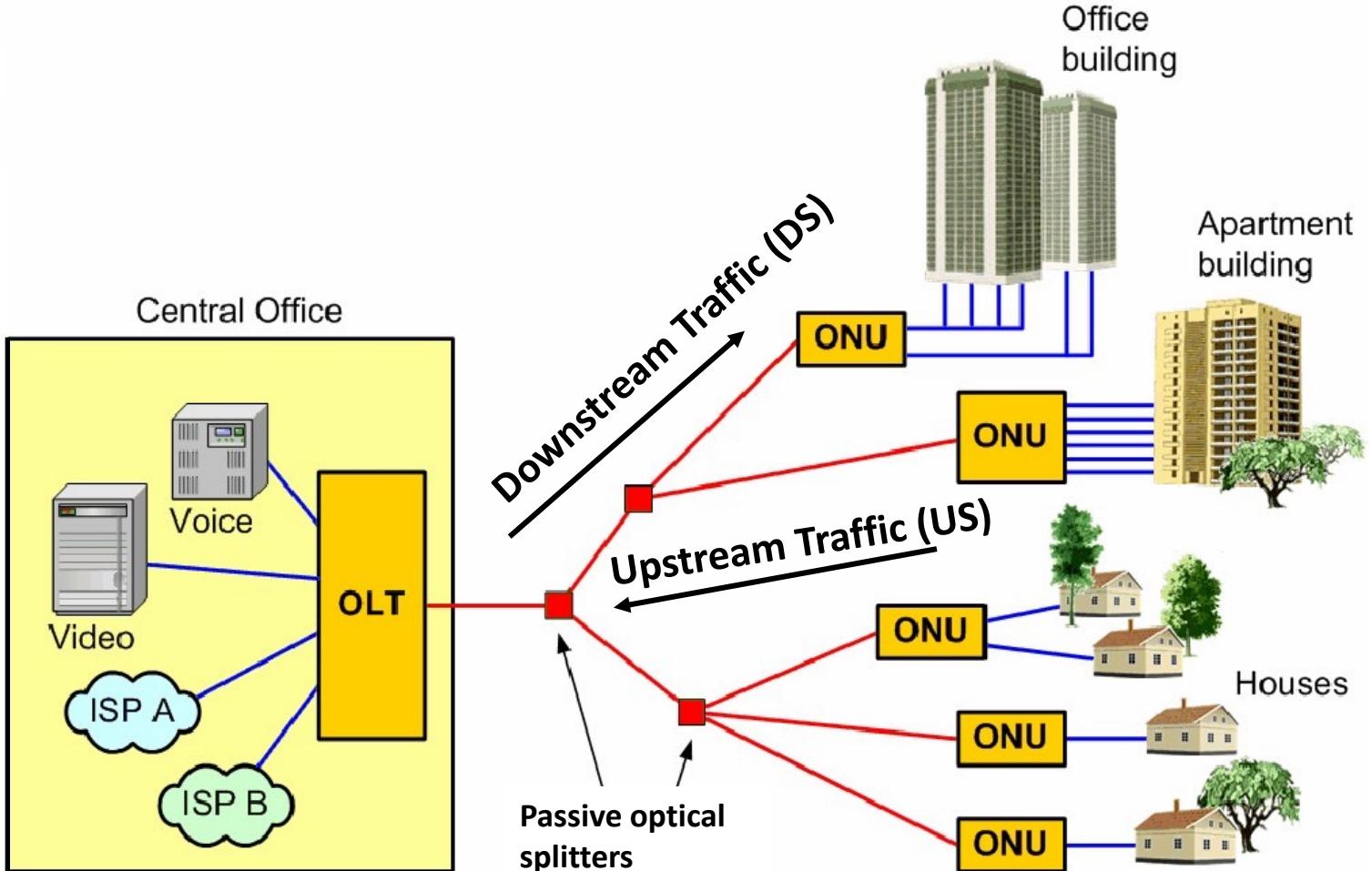
- Fiber to the home – FTTH
- Tecnologia G-PON
  - Gigabit Passive Optical Network

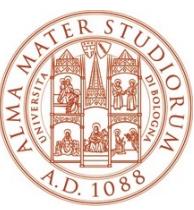


Dal sito web di OpenFiber



# 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

