

# **Tecnologie fotoniche del 21esimo secolo**

**Federica Poli, Enrico Coscelli**

# Federica Poli

federica.poli@unipr.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

# Enrico Coscelli

enrico.coscelli@unipr.it



DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'INFORMAZIONE



COMUNE DI PARMA  
Assessorato alla Cultura



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI PARMA



luce

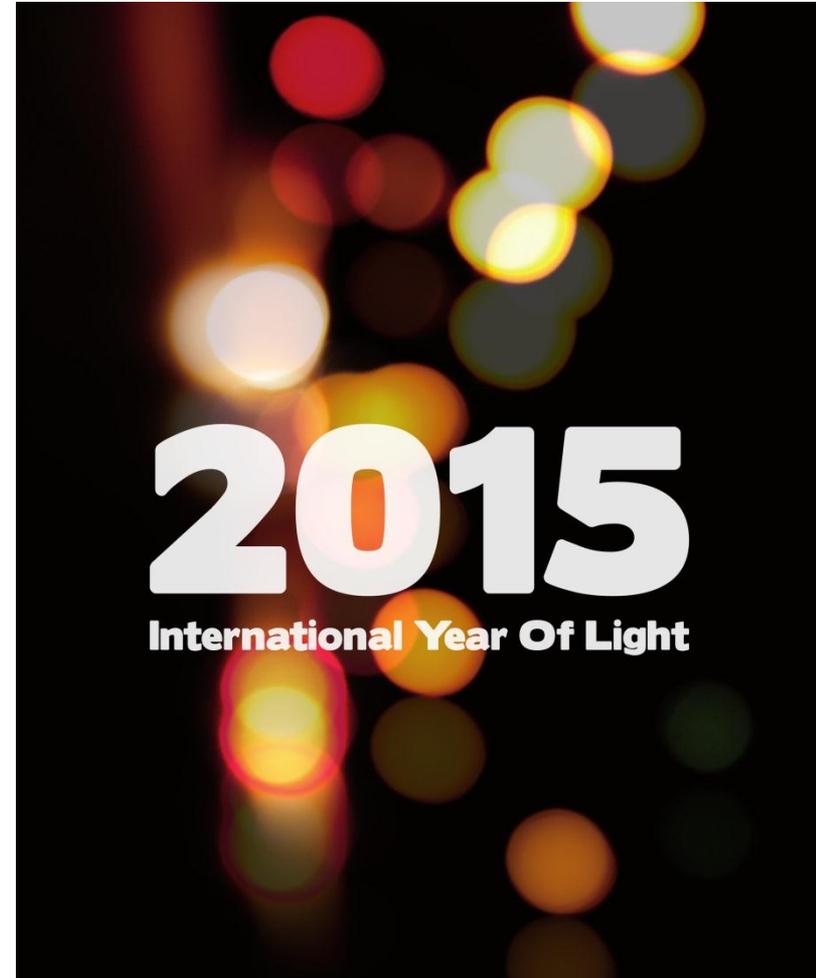
SCIENZA CINEMA ARTE

14 novembre 2015 - 17 gennaio 2016  
Palazzo del Governatore



# Indice

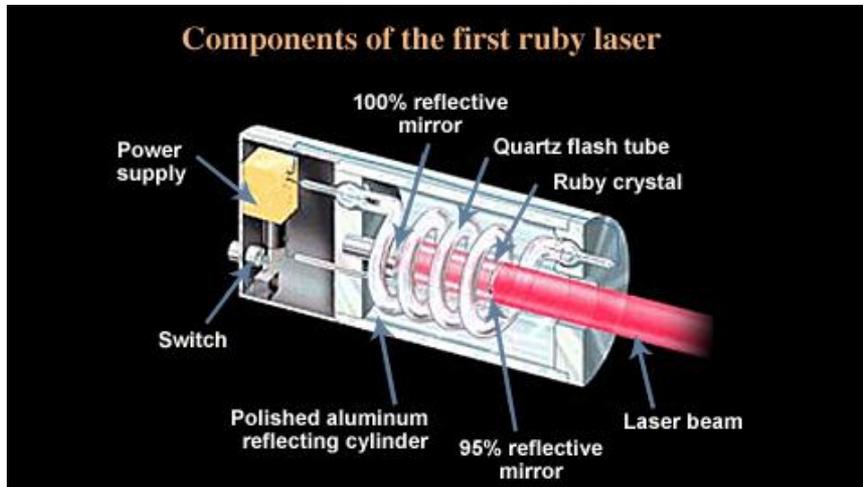
- Introduzione
- Anno Internazionale della Luce
- Tecnologie fotoniche
  - LED
  - fibra ottica
  - laser
- Applicazioni
  - illuminazione
  - telecomunicazioni
  - elettronica di consumo
  - laborazioni industriali
  - medicina
  - ...





# Fotonica

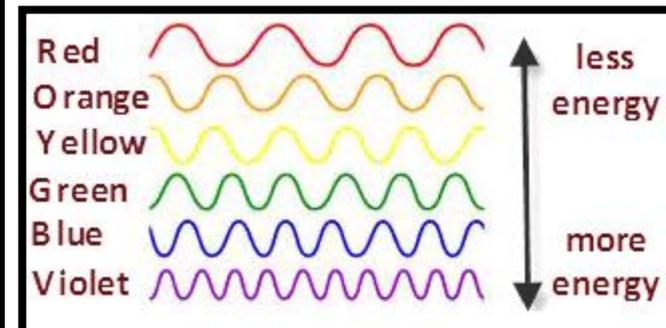
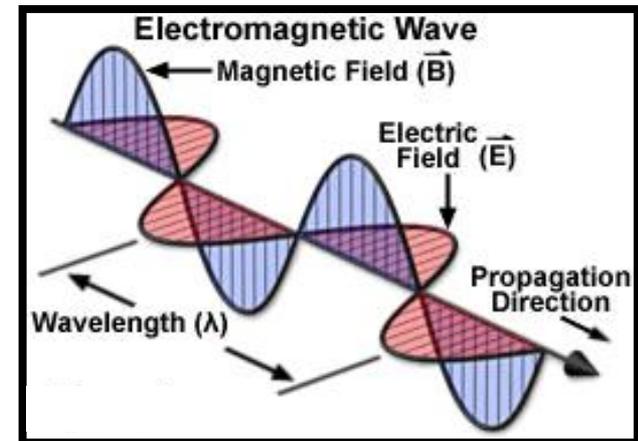
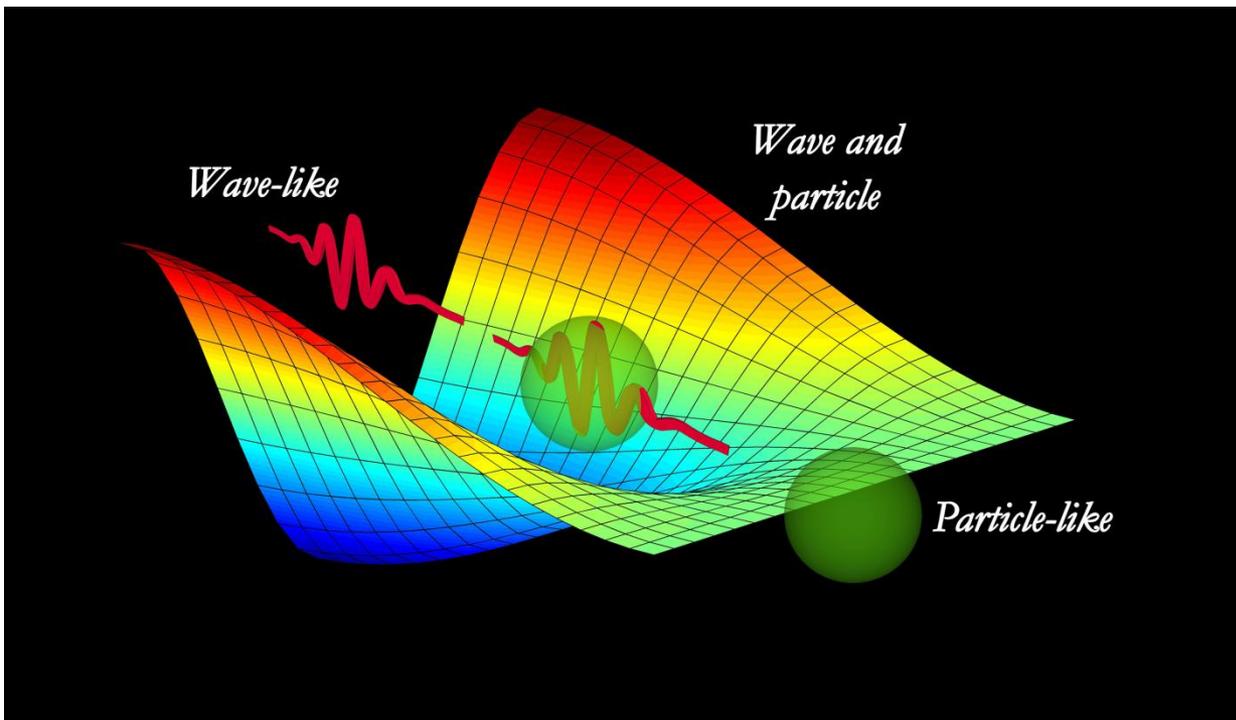
- **Fotonica** = **scienza della luce** = tecnologie per la generazione, il controllo e la misura delle onde luminose e dei **fotoni** (= **particelle di luce**)
- Termine "Fotonica" coniato intorno al **1960**, quando Theodore Maiman inventò il **laser**
- **Laser al rubino** dimostrato per la prima volta il 16 maggio 1960





# Luce

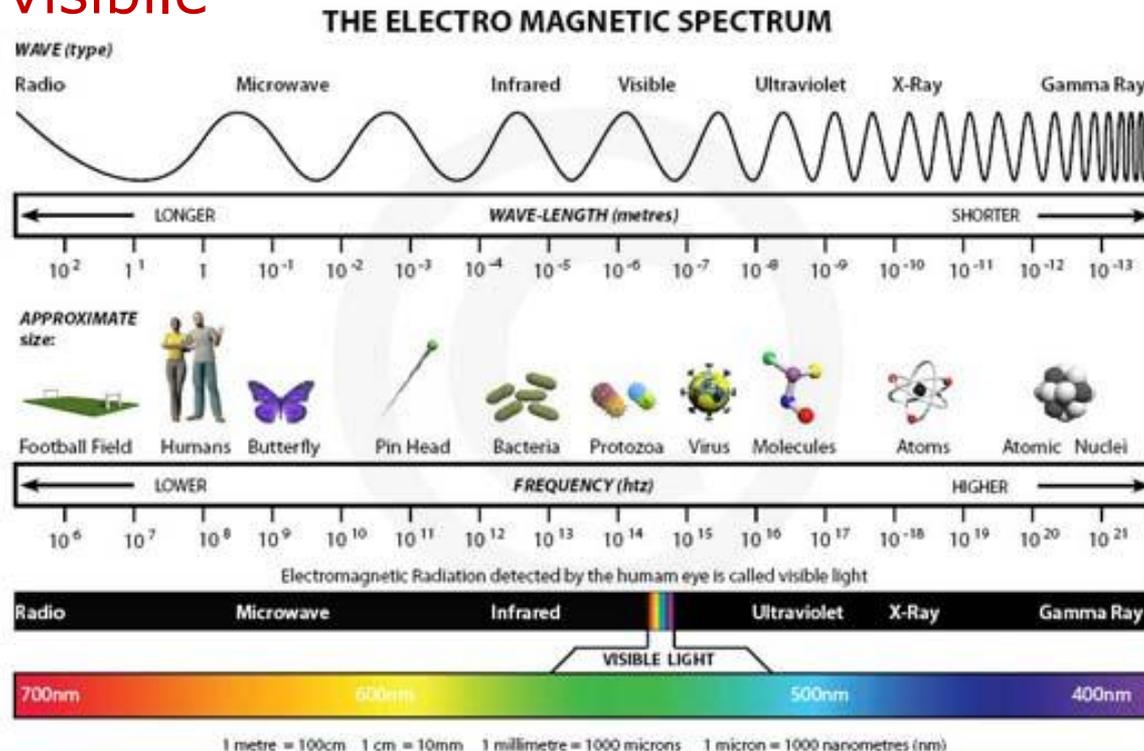
- **Luce = onda** elettro-magnetica che oscilla rapidamente (diversi "colori" oscillano a frequenza diversa)
- Descrizione **quanto-meccanica**: luce formata da **particelle** chiamate **fotoni** (dal greco, *phōt* = luce), ognuna con un'**energia** ben definita





# Spettro della luce

- Con “luce” si fa riferimento all'intero spettro elettromagnetico, che include:
  - luce non visibile (onde radio, microonde, infrarosso, ultravioletto, raggi X e raggi gamma)
  - luce visibile





# Anno Internazionale della Luce

- Il 20 dicembre 2013 la 68<sup>ma</sup> Sessione dell'Assemblea Generale delle **Nazioni Unite** (ONU) ha proclamato il **2015 Anno Internazionale della Luce e delle Tecnologie basate sulla Luce** (International Year of Light, IYL 2015)
- L'IYL è un **progetto educativo multi-disciplinare aperto a tutti**, con più di 100 partner provenienti da 85 nazioni, proposto da un ampio consorzio di enti scientifici insieme all'**UNESCO**

United Nations	A/RES/68/221
	<b>General Assembly</b>
	Distr.: General 12 February 2014
Sixty-eighth session Agenda item 21 (b)	
<b>Resolution adopted by the General Assembly on 20 December 2013</b>	
<i>[on the report of the Second Committee (A/68/440/Add.2)]</i>	
<b>68/221. International Year of Light and Light-based Technologies, 2015</b>	



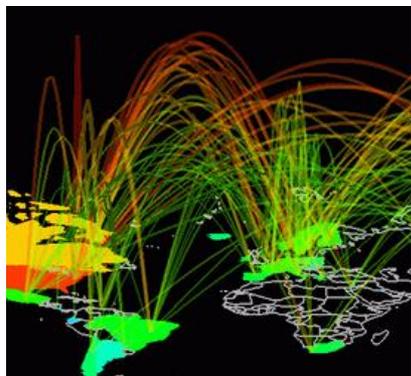
# Perchè la luce?

- La scienza e le applicazioni della luce hanno dato vita a **tecnologie rivoluzionarie**, spesso poco **valorizzate**, capaci di migliorare direttamente la **qualità della vita** nel mondo (ad es., nella medicina e nelle comunicazioni internazionali)
- **Tecnologie fotoniche** = **importante motore economico** con la potenzialità di rivoluzionare il **21<sup>mo</sup> secolo** (come l'elettronica nel 20<sup>mo</sup> secolo)

Salute



Comunicazioni



Economia



Ambiente



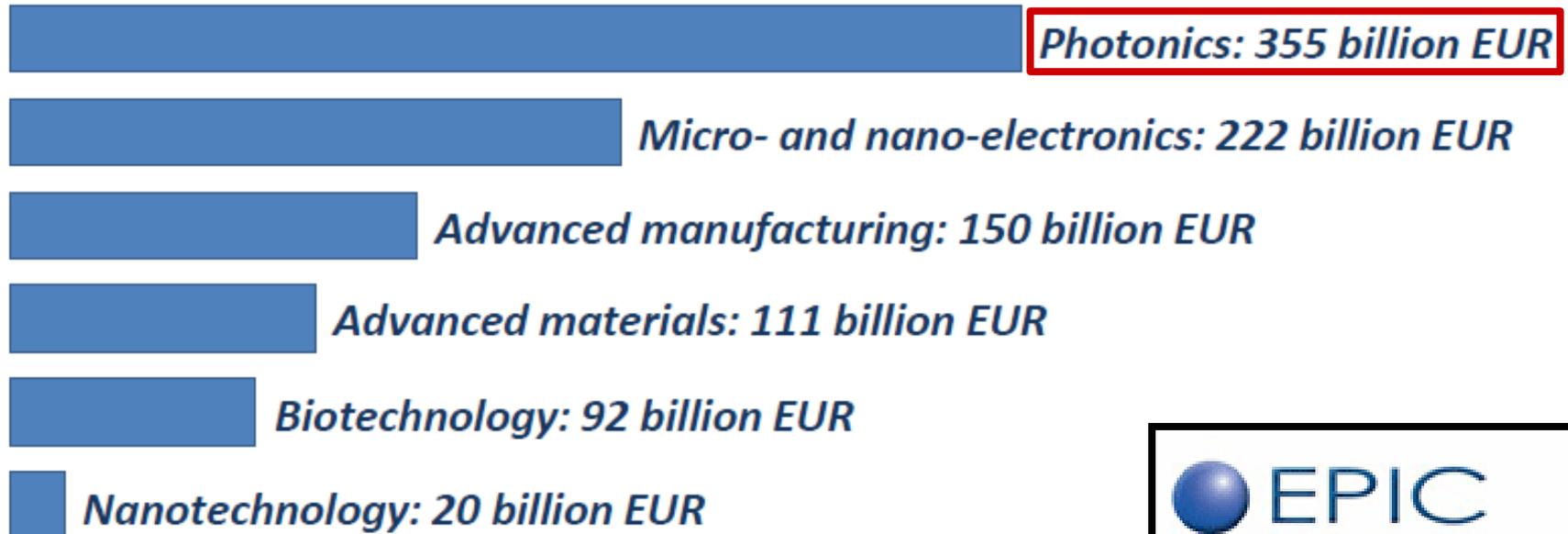
Sociale





# Fotonica come KET europea

Global market volume in KETs-based products (Key Enabling Technologies) by 2015



## Photonics in Europe

*5000 companies develop and rely on photonics technologies*

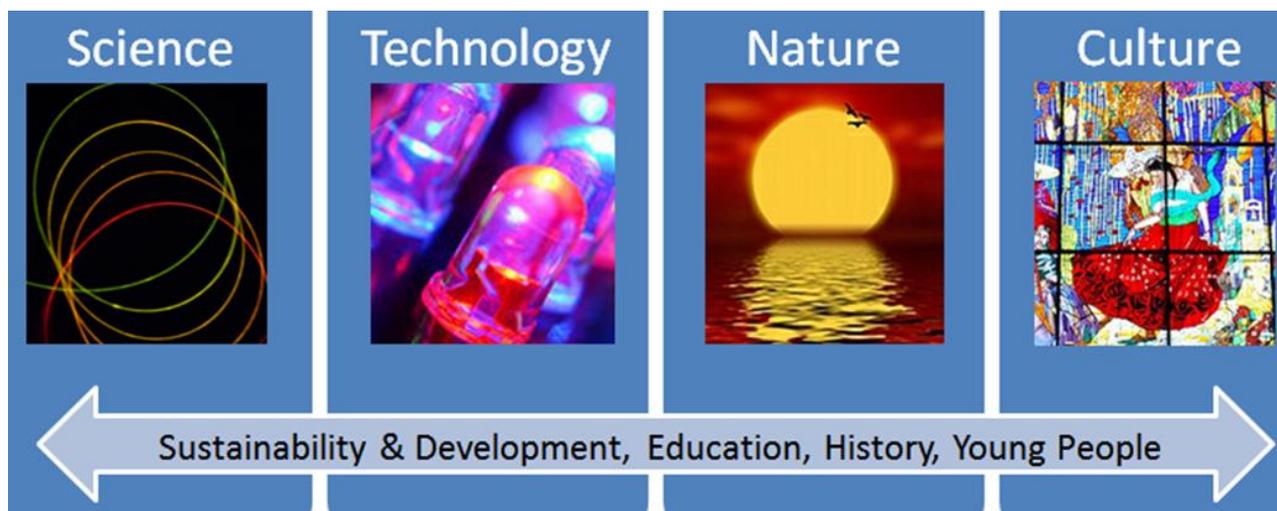
*377.000 direct jobs in engineering, software, design, and business management*

*40 clusters and associations support this dynamic ecosystem*



# Obiettivi di IYL 2015

- Nel proclamare un Anno Internazionale sulla **scienza della luce** e le sue **applicazioni**, l'ONU ha riconosciuto l'importanza dell'**aumentare la consapevolezza globale** su quanto le **tecnologie fotoniche**
  - favoriscano uno **sviluppo sostenibile**
  - forniscano **soluzioni a sfide/problemi globali** in campo energetico, educativo, agricolo, medico, ...
- Attività in 4 ampie **aree tematiche**





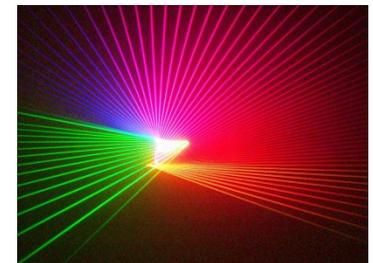
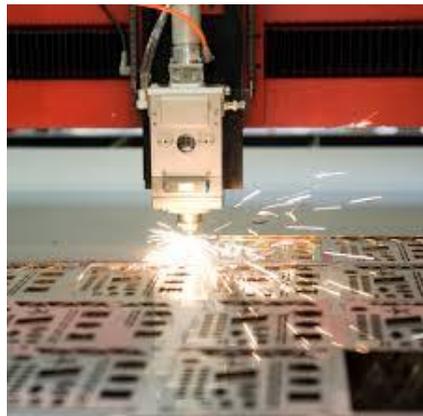
# www.light2015.org





# Fotonica ovunque

- Telecomunicazioni (internet)
- Elettronica di consumo (lettori di codice a barre, lettori CD e DVD, ...)
- Salute (chirurgia per gli occhi, strumenti, ...)
- Industria manifatturiera (taglio laser, marcatura, ...)
- Difesa e sicurezza (telecamere a IR, sensing remoto)
- Intrattenimento (laser show)
- Illuminazione
- ...





# (Alcune) Tecnologie fotoniche



Fibra ottica



Telescopio



Cella fotovoltaica



Laser



LED



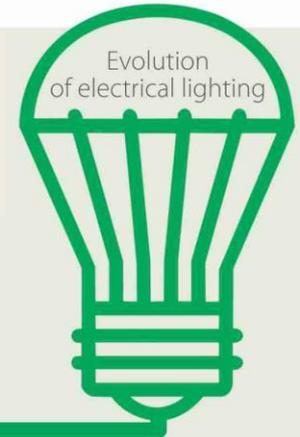
Componenti ottici



Fotoricevitore



# Storia dell'illuminazione



Primi studi su lampade ad incandescenza

1877

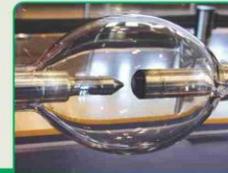
Prime scariche elettriche in un tubo

1850



Primi lampioni elettrici

1835

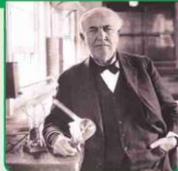


Prima lampada ad arco

1803

1878

Edison comincia a studiare nuove lampade



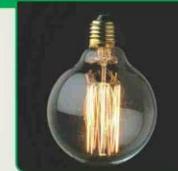
1901

Prime lampade a fluorescenza



1904

Lampade ad incandescenza (tungsteno)



1908

Il filetto di Edison diventa universale



Neon



1926

Neon Introdotti negli USA

1939



Successo commerciale dei neon

1940



Invenzione del LED

1962



Diffusione LED in Paesi poveri

2010



Lampade LED commerciali

2002



Invenzione LED blu (luce bianca)

1994



Lampade al neon compatte

1985



Primi LED nei prodotti commerciali

1978

Lampade a spirale

1976



49 milioni di lampade LED vendute

2012



Nobel per la Fisica per l'invenzione del LED blu

2014



Lo Sapevi?



I. Akasaki, H. Amano e S. Nakamura hanno vinto il Nobel per la Fisica nel 2014 per "l'invenzione dei LED nel blu che ha consentito di potenziare e rendere più brillanti le fonti di luce bianca consentendo un contestuale risparmio di energia"



# Sfide dell'illuminazione

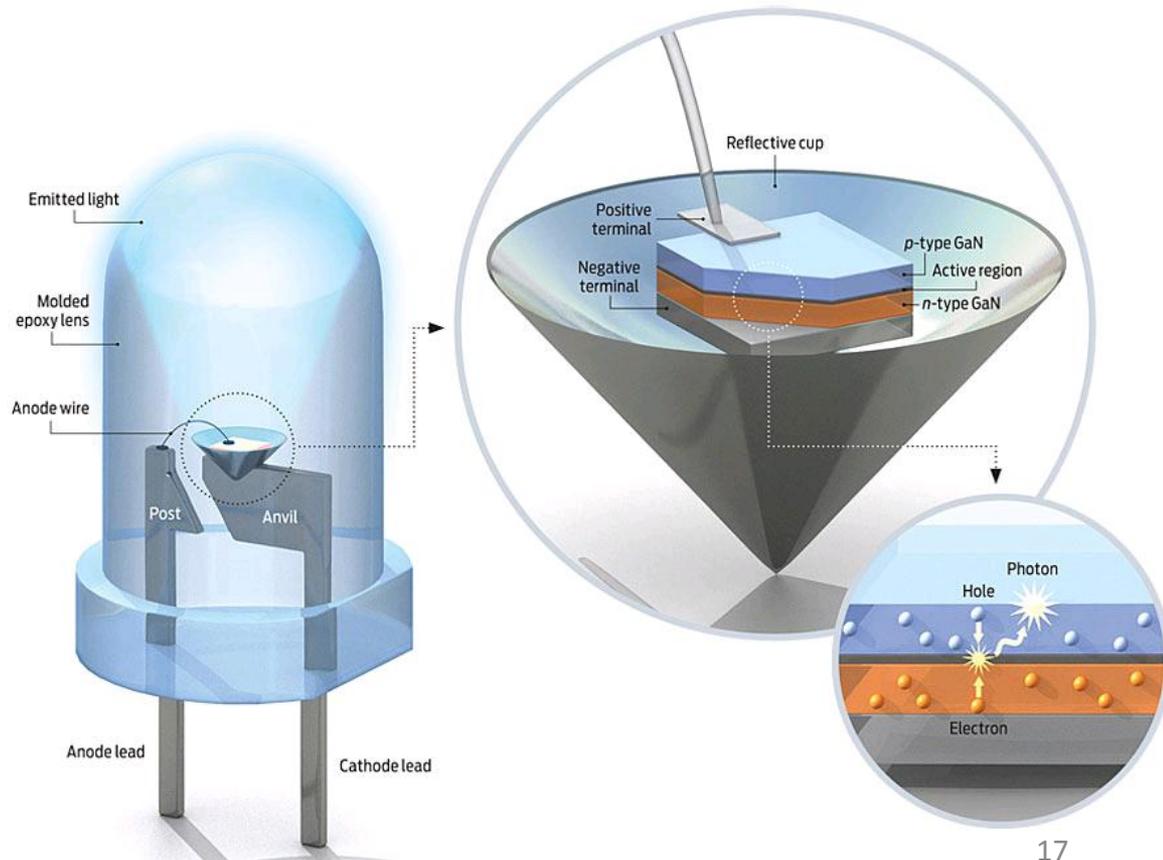
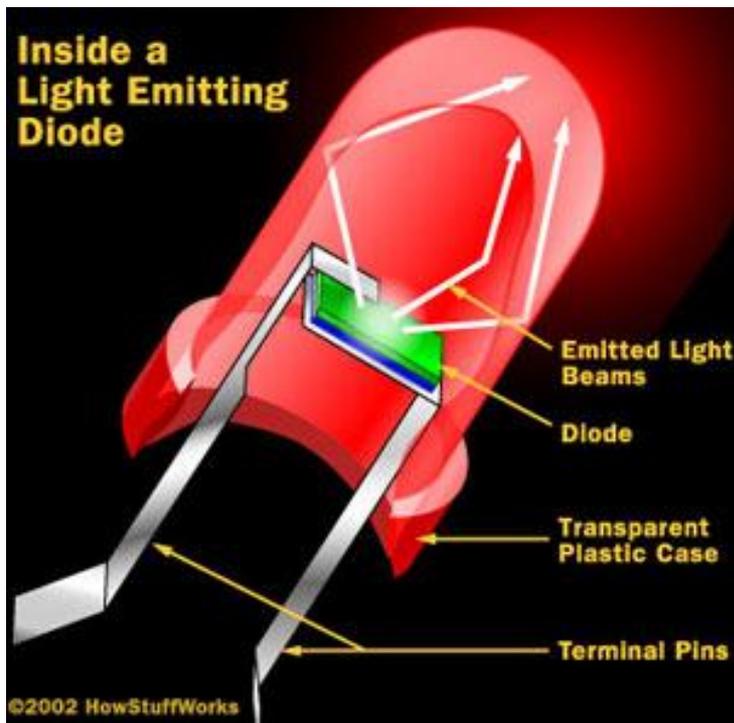
- 20% del consumo globale di energia per **illuminazione**:
  - garantisce sicurezza
  - aiuta l'accesso all'educazione
  - valorizza l'architettura
  - **migliora la qualità della vita**
- Sviluppo futuro della società: capacità di illuminare in modo **efficiente** città, case, scuole e aree ricreative
- Necessità di **tecnologie di illuminazione nuove e innovative**, in grado di
  - ridurre i consumi
  - essere adattate facilmente ai bisogni locali





# LED

- LED = Light Emitting Diode (diodo emettitore di luce)
- È formato da un **materiale semiconduttore a strati** che emette luce quando viene attivato dall'energia elettrica





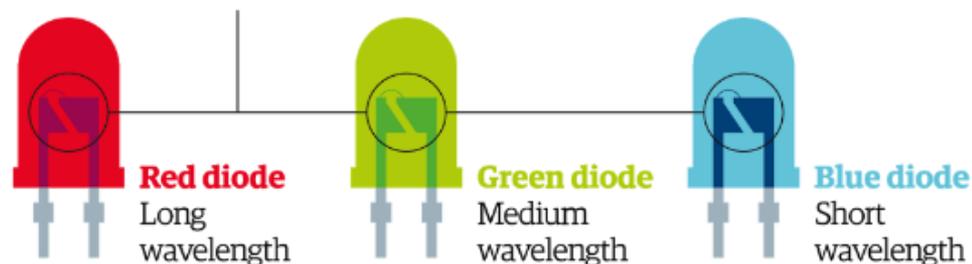
# RedGreenBlu LED

- Il colore della luce emessa dal LED dipende solo dal tipo di materiale utilizzato
- LED **rossi** e **verdi** esistono da 50 anni
- LED **blu** necessari per rivoluzionare i sistemi di illuminazione: combinando **ROSSO**, **verde** e **blu** si produce la **luce bianca**
- LED blu realizzato solo all'inizio degli Anni 90: Premio Nobel per la Fisica 2014 ai suoi inventori

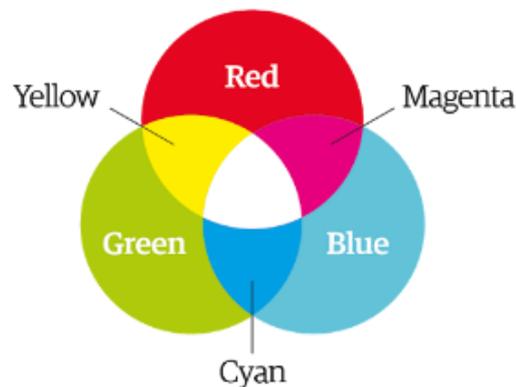
## Blue light-emitting diode

The difficulty in creating a blue diode lay in growing a material that would emit a short enough wavelength to produce blue light

Different materials emit different colours



Mixing the three colours gives white light





# Lampadine a LED

- Nuove **lampadine**, più efficienti e “intelligenti”, sono oggi realizzate con la tecnologia a LED
- Le lampadine a LED sono **sorgenti flessibili**, con diverse applicazioni interessanti nel campo dell’illuminazione
  - si possono ottenere milioni di colori diversi
  - colori e intensità sono facilmente modificabili





# Vantaggi dei LED (1)

- **LED:** energia elettrica **convertita direttamente** in luce
- **Altre sorgenti luminose:** energia elettrica convertita per la maggior parte in **calore**, solo una piccola quantità in luce (**lampadine ad incandescenza** e **alogene**: corrente elettrica usata per riscaldare un filamento, che emette luce; **lampadine fluorescenti**: si produce una scarica in un gas, ottenendo luce e calore)

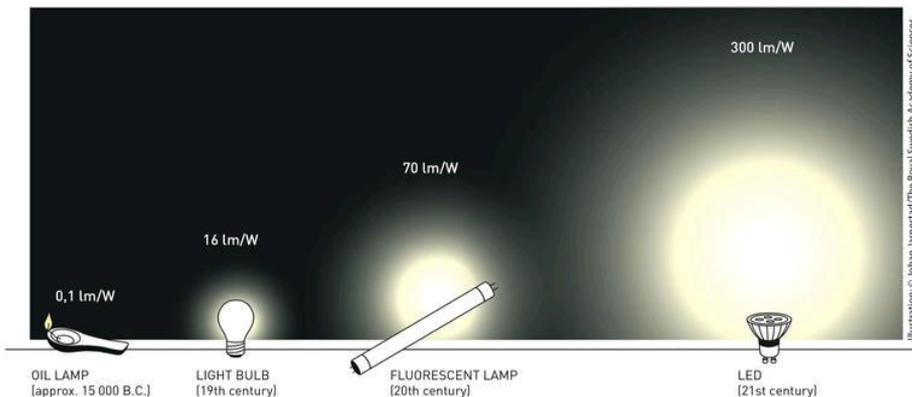




# Vantaggi dei LED (2)

- I LED:

- richiedono **meno energia** per emettere luce, rispetto alle sorgenti tradizionali
- **migliorano continuamente**, diventando più efficienti, con un più alto **flusso luminoso** (misurato in **lumen**) per unità di **potenza elettrica** (misurata in **watt**)
- durano di più rispetto alle altre lampadine (**lampadine incandescenti**: circa 1000 ore, filamento danneggiato dal calore; **lampadine fluorescenti**: circa 10000 ore; **lampadine a LED**: circa 20000 ore)





# Qualità della vita

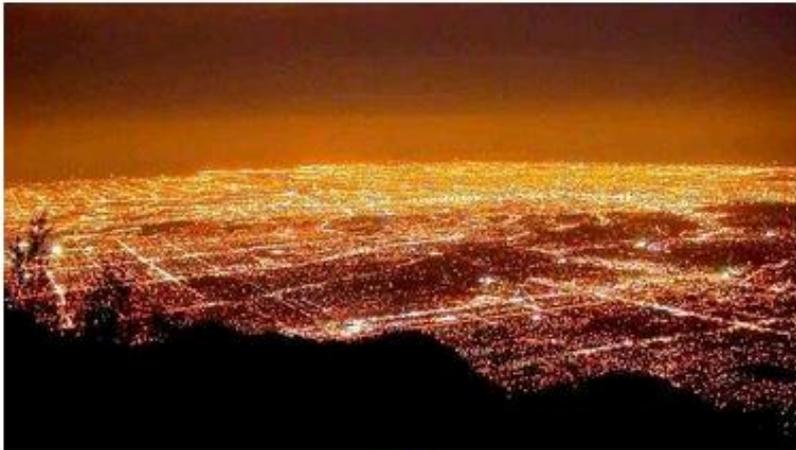
- 1.5 milioni di persone tra le più povere al mondo, che vivono **senza elettricità**, possono oggi utilizzare piccole **lampade a LED** alimentate ad **energia solare**
- Rispetto all'uso di una **lampada a cherosene**:
  - in media, una famiglia risparmia \$70 all'anno sui costi di illuminazione
  - in media, i bambini hanno un'ora di più per fare i compiti ogni sera
  - 6 famiglie su 10 hanno notato un miglioramento dello stato di salute (fumi di kerosene particolarmente dannosi)





# illuminazione urbana

- **Los Angeles:** in 4 anni più di 140.000 impianti di illuminazione stradale esistenti sono stati sostituiti con unità a LED



2002



2012





# Fari a LED

- I **fari a LED** per **automobili** sono in grado di
  - orientare il fascio luminoso per non abbagliare gli altri veicoli
  - aumentare la visibilità della carreggiata





# illuminazione in architettura

- Installazioni di sistemi di illuminazione su vasta scala sottolineano in modo significativo la bellezza dell'**architettura** (*"L'architettura è gioco sapiente dei volumi sotto la luce"*, Le Corbusier)





# Cappella Sistina

- Da novembre 2014 per la Cappella Sistina di Roma una nuova soluzione di illuminazione a LED



Senza illuminazione a LED



Con l'illuminazione a LED





# Basiliche di Roma

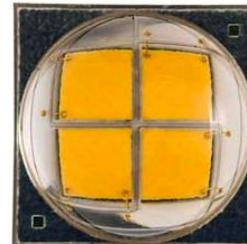
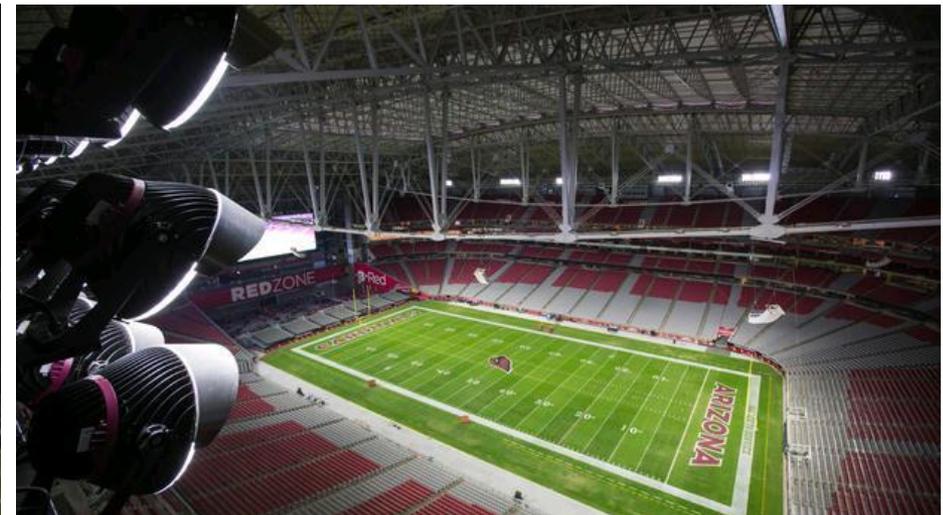
- Da dicembre 2014 **340 lampade a LED** illuminano la **Basilica di San Pietro** (esterno, interno)
- Da gennaio 2015 nuova luce a LED per **Santa Maria Maggiore**





# Stadio del Super-Bowl

- 2013: **black-out** di più di 30 minuti in metà stadio
- 2015: nuovo impianto di **illuminazione a LED** nello stadio dell'Università di Phoenix
- 780 lampade alogene sostituite con 45000 lampade a LED, con potenza assorbita diminuita del 75%





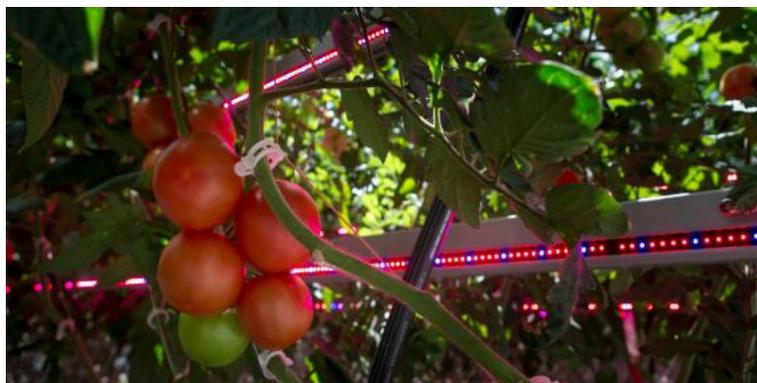
# illuminazione in orticoltura

- L'uso della **luce artificiale** è molto comune per aumentare produzione e qualità in orticoltura
- **Ricette efficaci di luce** (quantità/intensità, durata del giorno, colore, uniformità) sono importanti per ottenere ottimi risultati nella coltivazione delle piante, usando le sorgenti luminose più efficaci
- L'**illuminazione a LED** può stimolare la crescita delle piante fino al 40%, riducendo drasticamente il consumo di energia tramite l'uso di opportune sorgenti nel **rosso** e nel **blu**



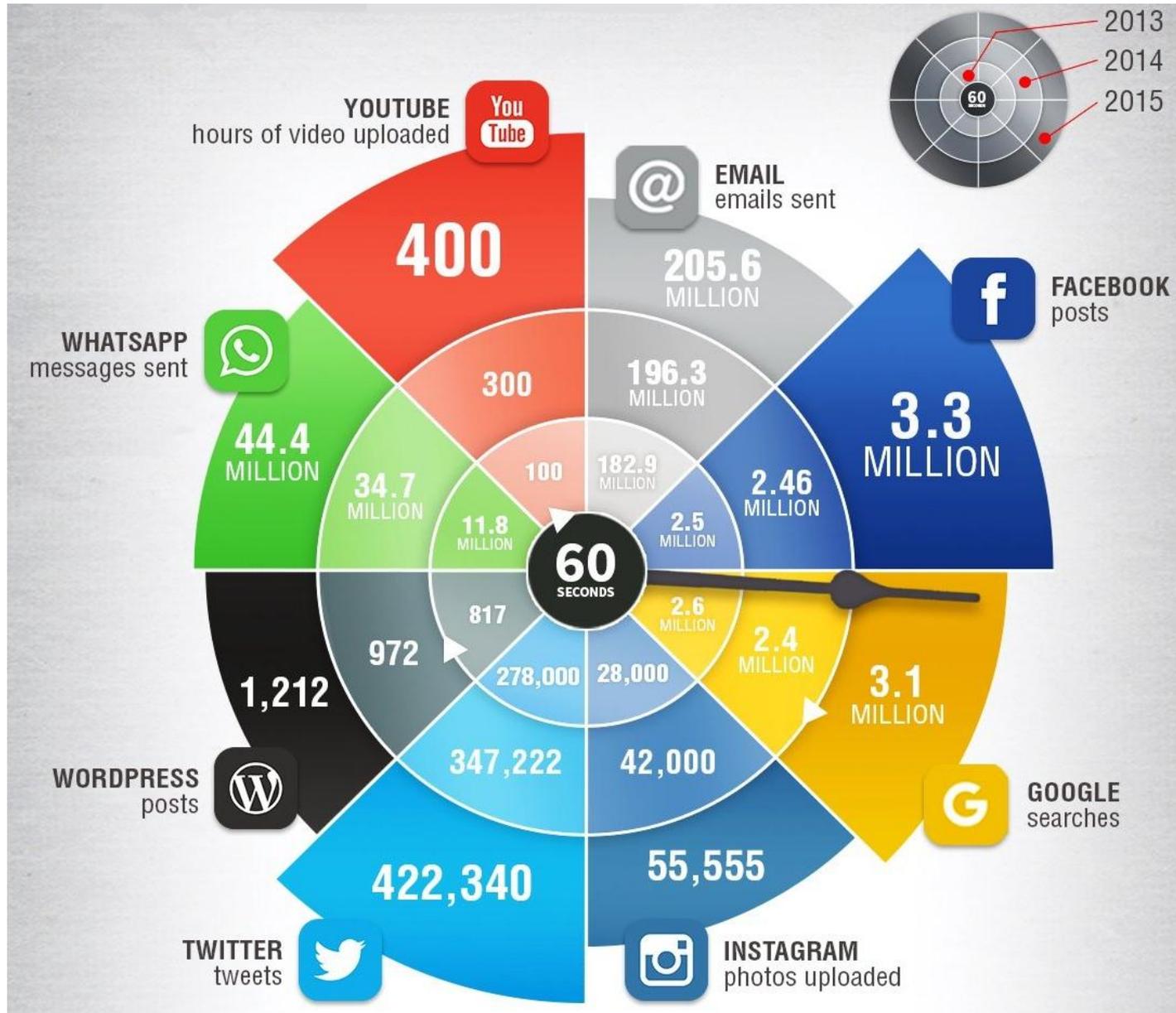


# LED per orticoltura





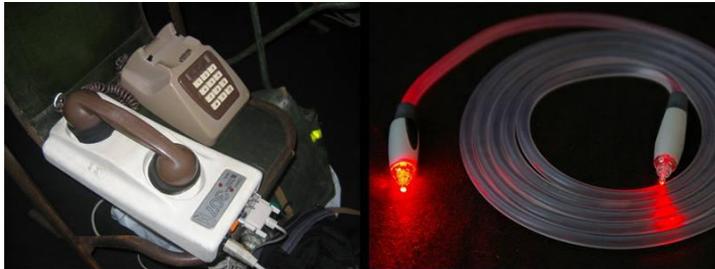
# Moderne comunicazioni





# Internet in fibra ottica

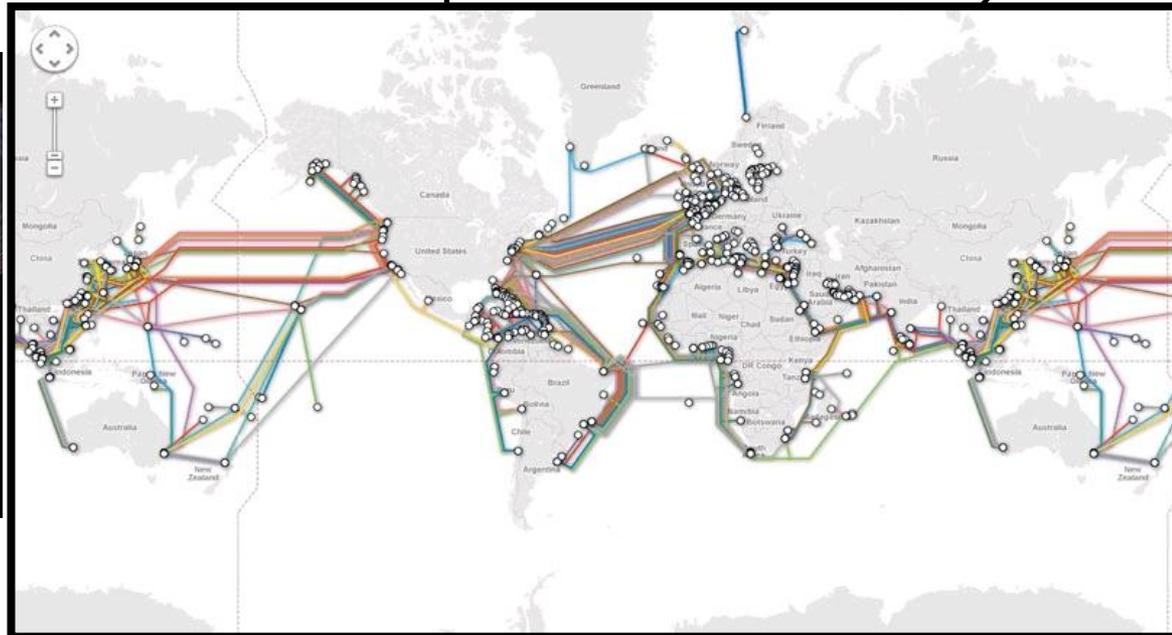
- Mezzo di comunicazione veloce e affidabile, adatto alle trasmissioni su grande distanza ad alta velocità ⇒ **fibra**
- Prima **fibra ottica** adatta alla trasmissione introdotta in commercio nel **1970** da **CORNING**
- Primo **cavo transatlantico** (6000 km) installato nel **1988**
- Oggi **1,5 miliardi di km** di fibra installati nel mondo (sufficienti per circondare la Terra più di 25000 volte)



Internet modems in 1984

Fiber optic connections in 2014

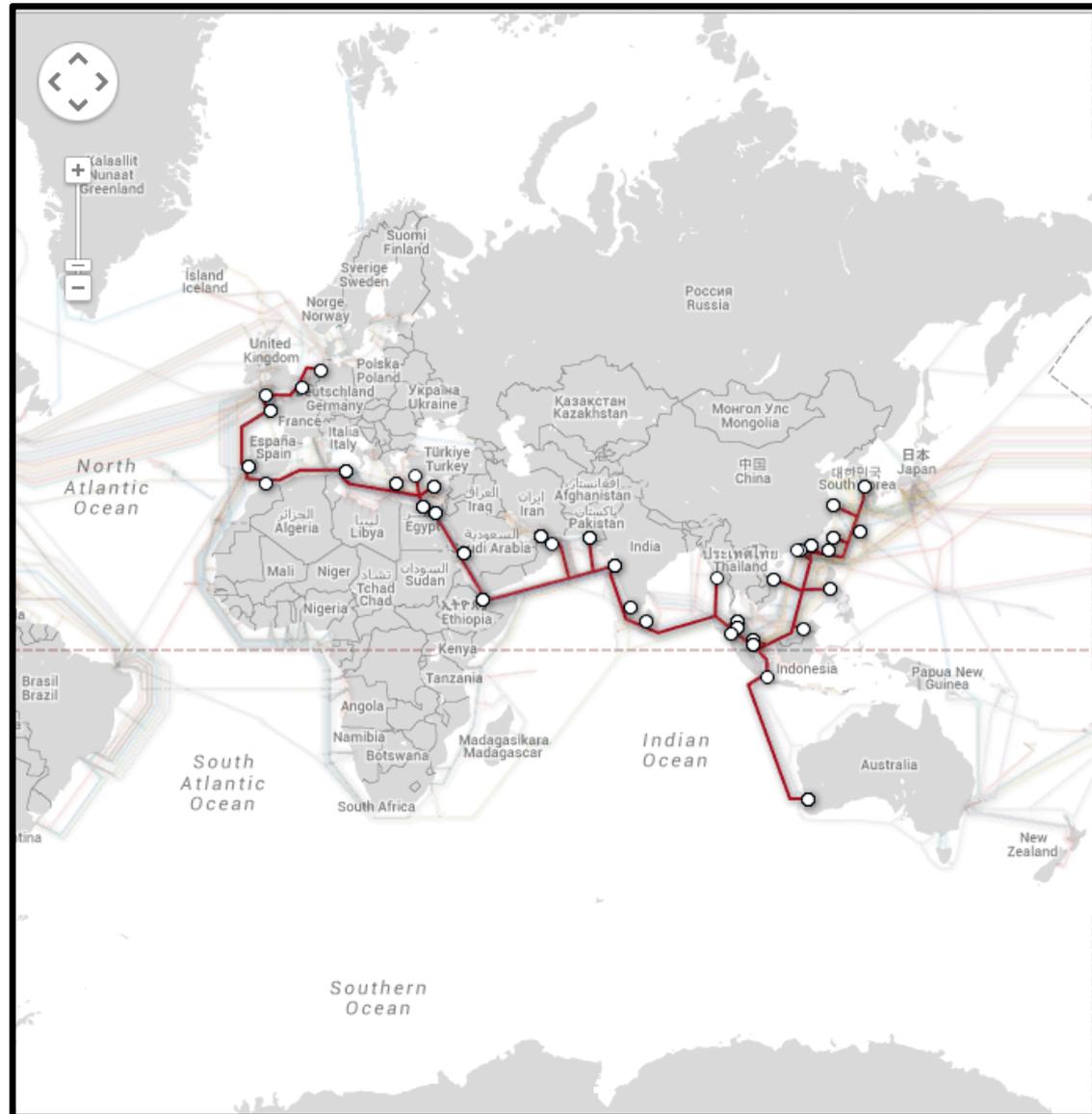
**Internet speeds have increased  
3.3 million times in 30 years.**





# SEA-ME-WE 3

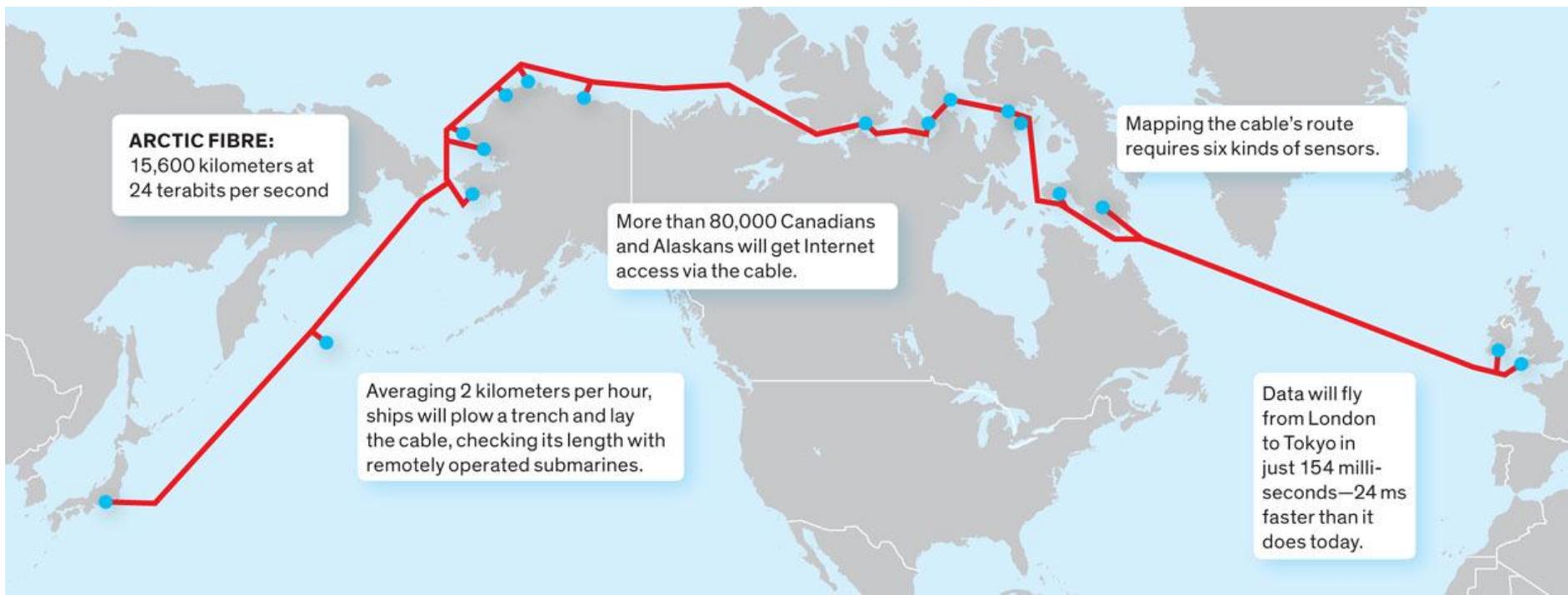
- Il cavo sottomarino più lungo è il **South East Asia–Middle East–Western Europe (SEA-ME-WE 3)**
- Si estende per 39000 km da Norden, **Germania**, a Keoje, **Corea del Sud**, collegando 33 Paesi diversi.





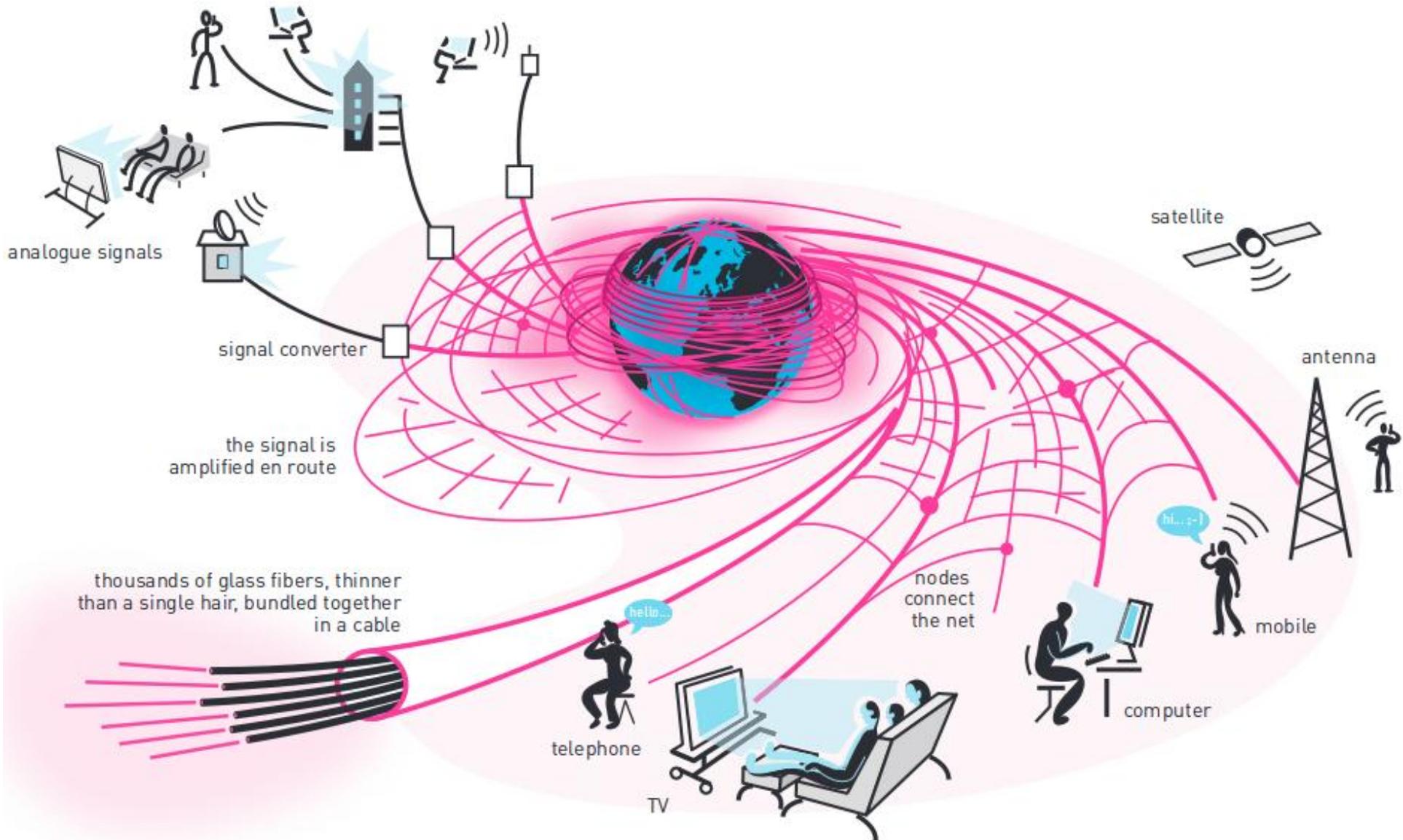
# Progetto Arctic Fiber

- Nuovo cavo in fibra ottica tra Tokyo e Londra, attraverso 3 oceani, sulla rotta del **passaggio a Nord-Ovest** (attraverso l'arcipelago artico del Canada)
- **850 milioni di dollari** per **15600 km** di fibra
- Accesso a internet in **Canada** e **Alaska**
- **154 ms** per la trasmissione dati Tokyo-Londra (-24 ms)





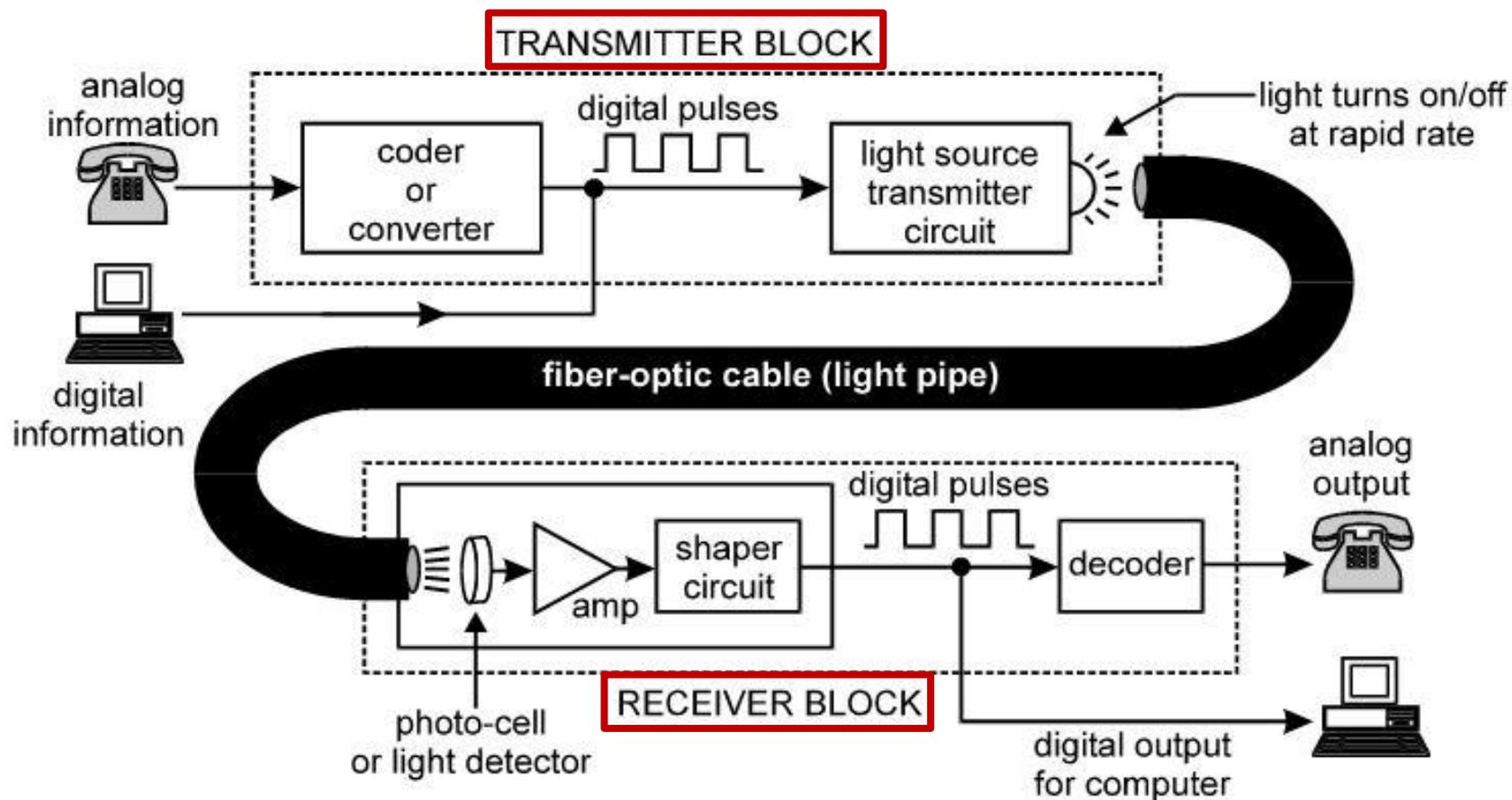
# Società dell'informazione





# Comunicazioni in fibra ottica

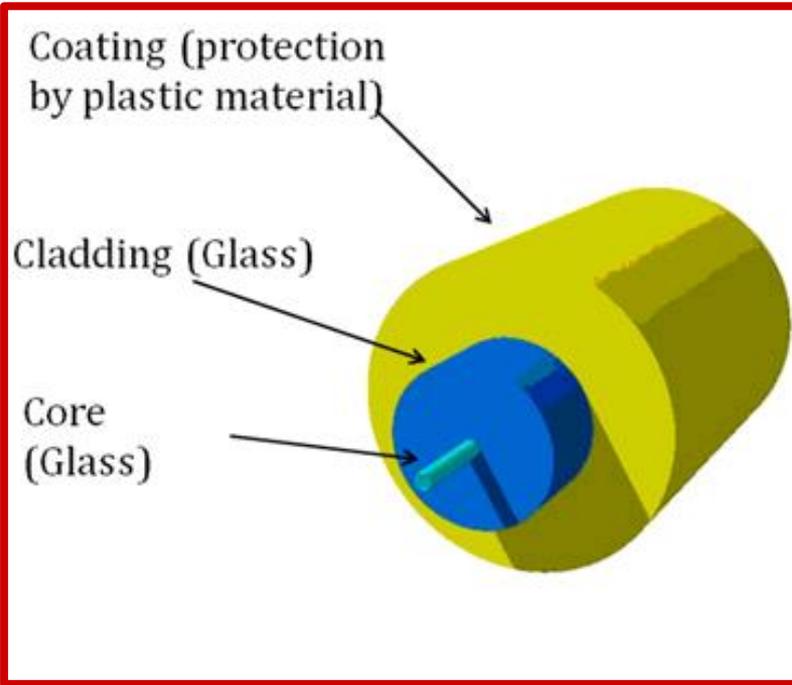
- L'informazione
  - viaggia lungo la fibra, **codificata** nei segnali luminosi
  - è **decodificata** a centinaia di km di distanza





# Fibra ottica

- **Fibra ottica** = filamento flessibile in **vetro trasparente** dello spessore di un capello formato da tre parti:
  - **core**: permette il trasporto dell'informazione sottoforma di segnali luminosi
  - **cladding**: circonda il core, intrappolando la luce
  - **rivestimento esterno**, resistente e protettivo



Coating (protection by plastic material)

Cladding (Glass)

Core (Glass)

**Diameters**

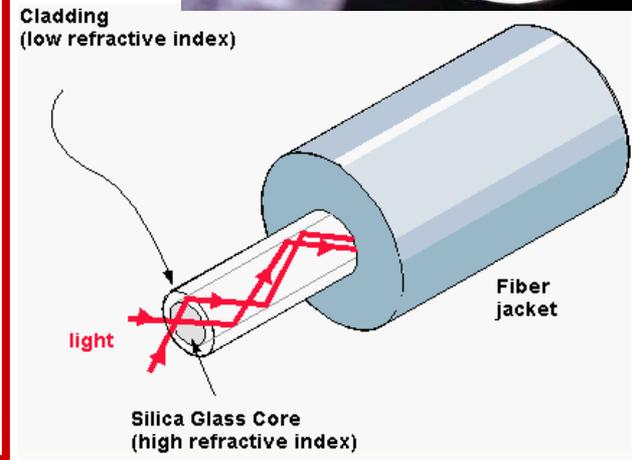
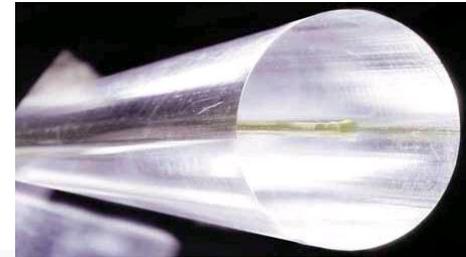
Core: 5-9  $\mu\text{m}$

Cladding: 125  $\mu\text{m}$

Coating: 170-250  $\mu\text{m}$

**Comparison**

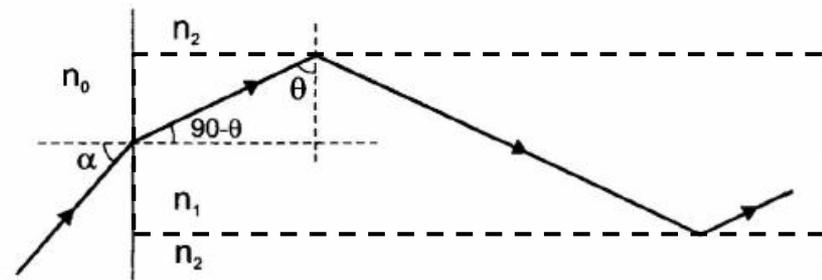
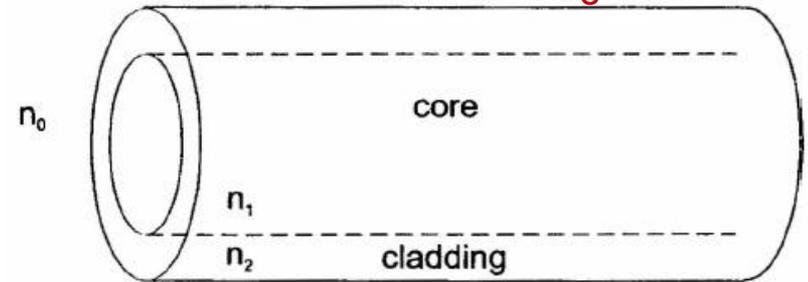
Human's hair: approximately 90  $\mu\text{m}$ .





# Guidaggio della luce in fibra

- Fibra ottica = guida d'onda dielettrica cilindrica con core centrale con indice di rifrazione  $n_1$ , circondato da cladding concentrico con indice di rifrazione minore  $n_2$
- Il mezzo esterno alla fibra ha indice di rifrazione  $n_0$
- Un raggio di luce che entra in fibra formando un angolo  $\alpha$  con l'asse
  - rifratto in ingresso
  - colpisce l'interfaccia core-cladding con angolo di incidenza  $\theta$
- Riflessione Interna Totale all'interfaccia core-cladding ( $n_2 < n_1$ ) quando  $\theta > \theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$  (**angolo critico**)



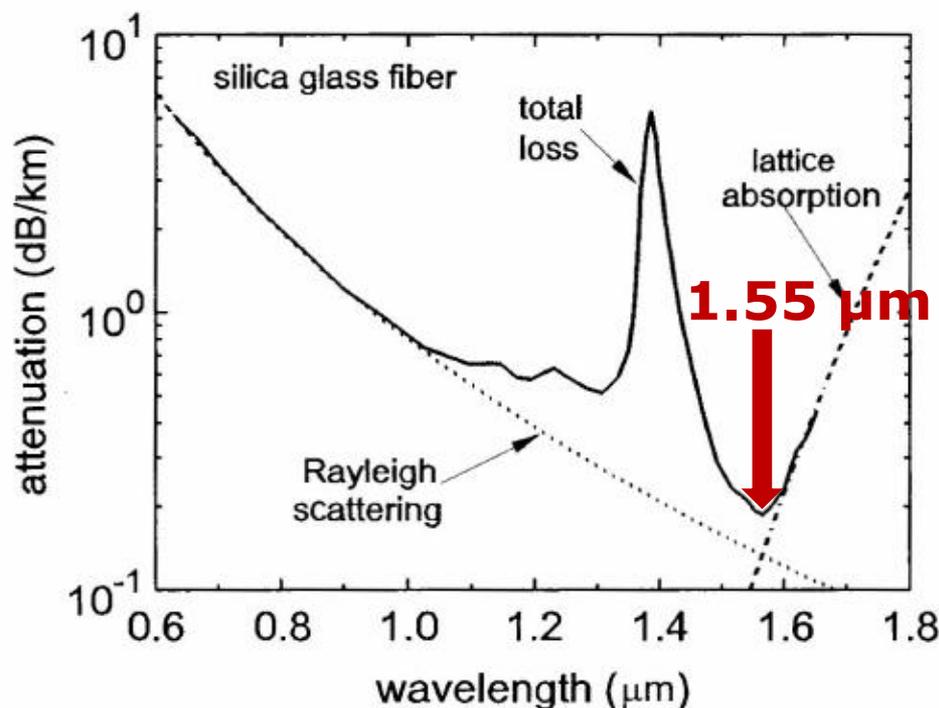
A ray of light that is directed into a glass fiber bounces against the glass wall and moves forward because the refractive index of the glass core is slightly higher than the cladding.





# Spettro di attenuazione in fibra

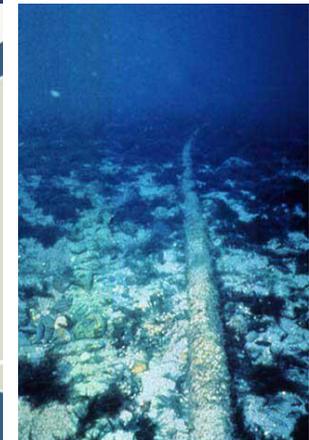
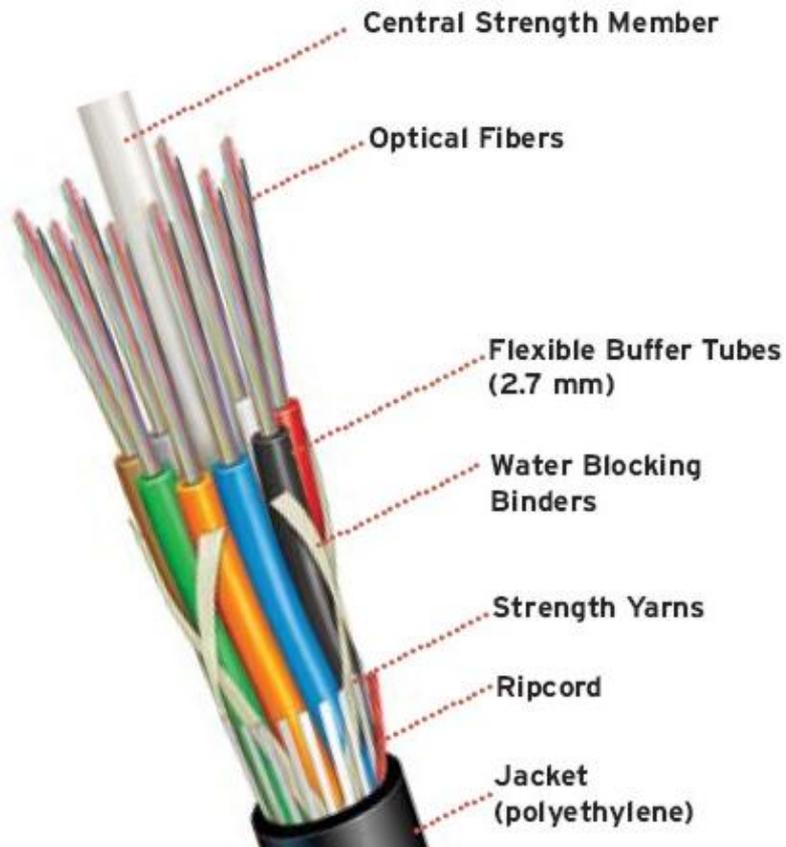
- L'elevata **purezza** del vetro è un requisito fondamentale per poter utilizzare con successo la fibra ottica, soprattutto per le comunicazioni a grande distanza
- Le moderne fibre ottiche sono in grado di trasmettere, alla lunghezza d'onda di **1.55  $\mu\text{m}$**  più del 95% del segnale luminoso sulla distanza di 1 km





# Cavi in fibra ottica

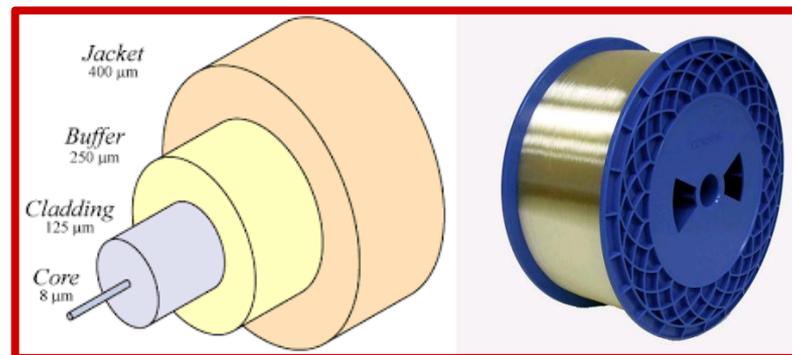
- Nei sistemi di comunicazione diverse fibre ottiche sono unite in **cavi** con opportuni rivestimenti





# Fibra ottica vs cavi in rame

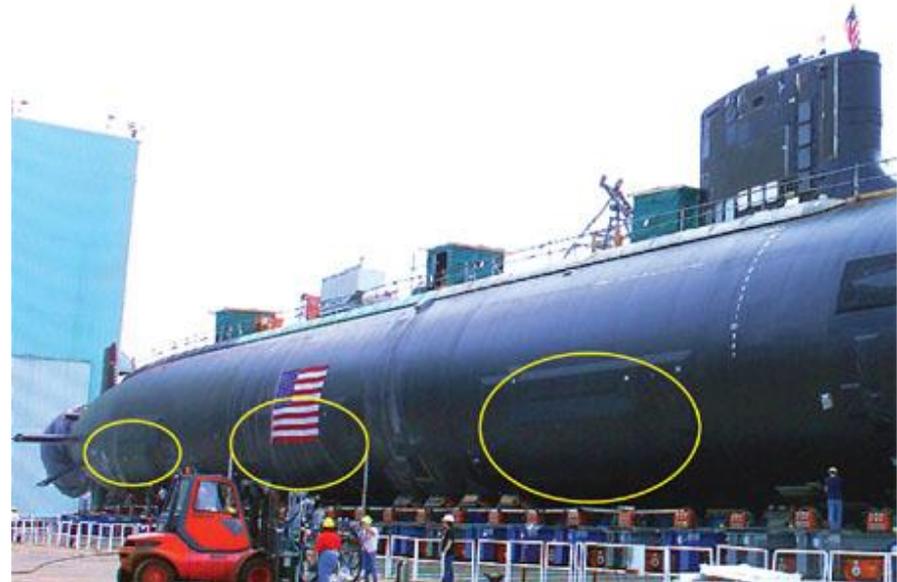
- **Qualità della trasmissione:** la fibra è immune alle interferenze elettromagnetiche (i cavi in rame NO!)
- **Convenienza economica:** rispetto alla rete di cavi in rame, il segnale luminoso si propaga in fibra per distanze maggiori ( $\sim$  centinaia di km) senza bisogno di essere amplificato o rigenerato
- **Resistenza nel tempo:** nonostante sia di vetro, la fibra dura di più del rame (cavi in fibra prodotti e installati 40 anni fa ancora in uso)
- **Scalabilità:** a differenza dei cavi in rame, la fibra ottica è in grado di gestire il traffico dati in continua crescita





# Fibra ottica per sensoristica

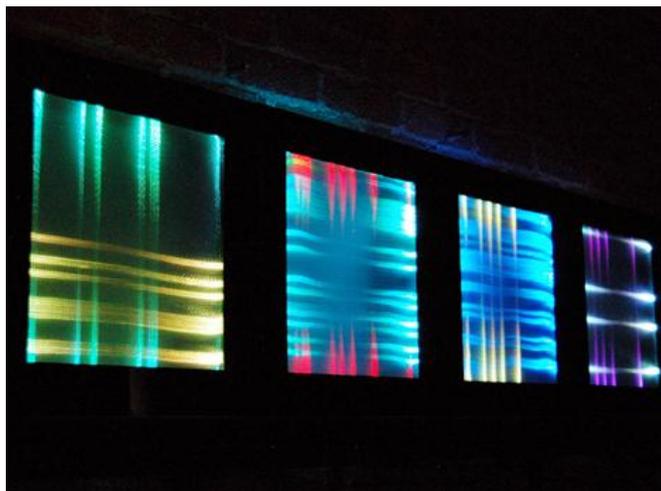
- Le fibre ottiche possono essere usate come **sensori** per misurare sforzo, temperatura, pressione, ecc.
- **Principio di misura:** le caratteristiche della luce che si propaga in fibra (ad es., intensità o lunghezza d'onda) sono modificate dalla grandezza da misurare





# Fibra ottica per intrattenimento

- Scopi decorativi in insegne, oggetti artistici, giochi e alberi di Natale





# LASER



# Dose laser giornaliera

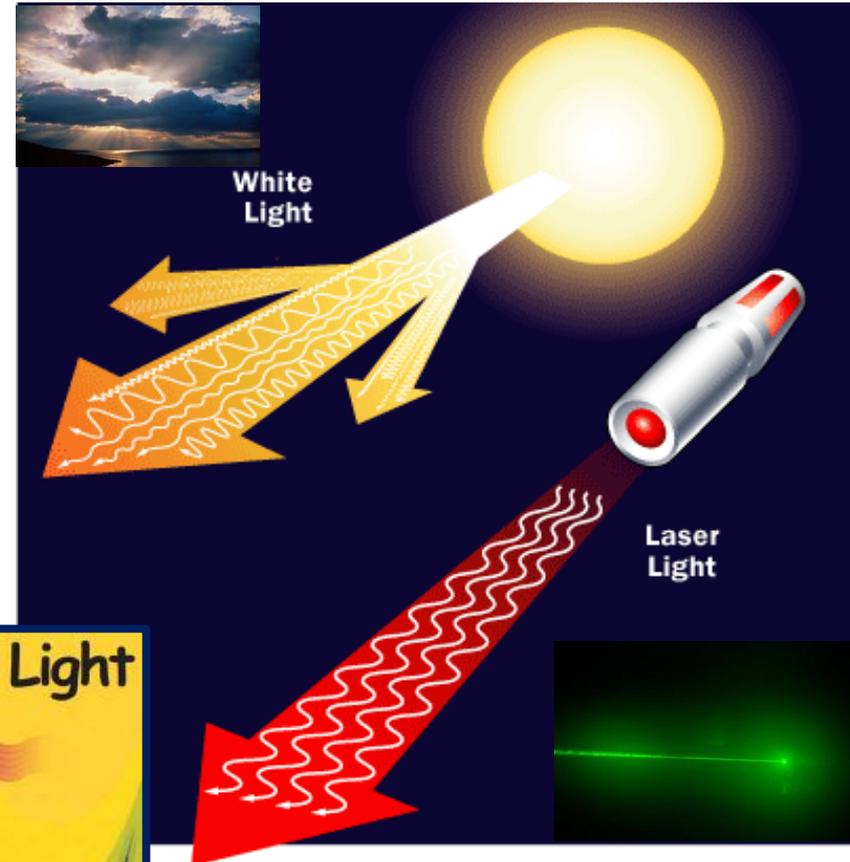
- I laser sono strumenti con grandi potenzialità per un elevatissimo numero di applicazioni, grazie alle caratteristiche uniche del fascio luminoso emesso
- Sono circa **7 miliardi** i laser operativi ogni giorno
- Un laser lavora per noi in media per **6 volte** al giorno





# Cos'è un laser?

- **Amplificatore ottico**
- Luce emessa ben **definita** e **riproducibile**
- **Sorgenti ordinarie** (naturali e non): emettono onde che **fluttuano spazialmente** e **temporalmente**
- **Laser**: sorgente **brillante** con **caratteristiche ben definite** spazialmente e temporalmente

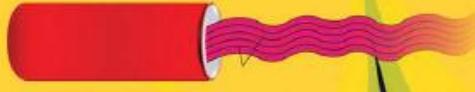


## Incoherent Light



Produces disorganized light waves of many wavelengths.

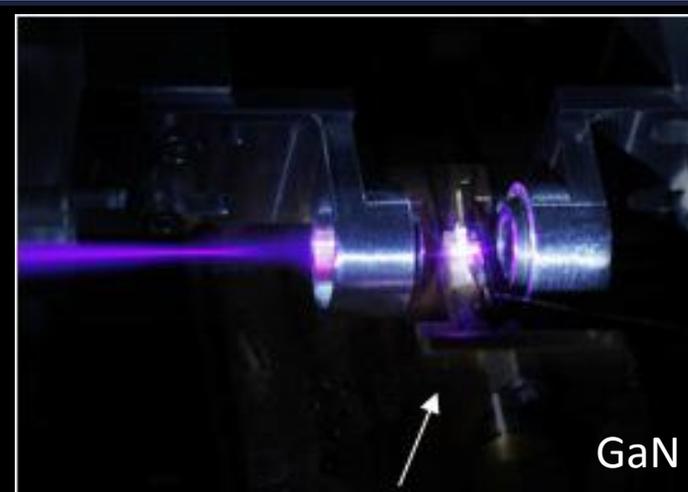
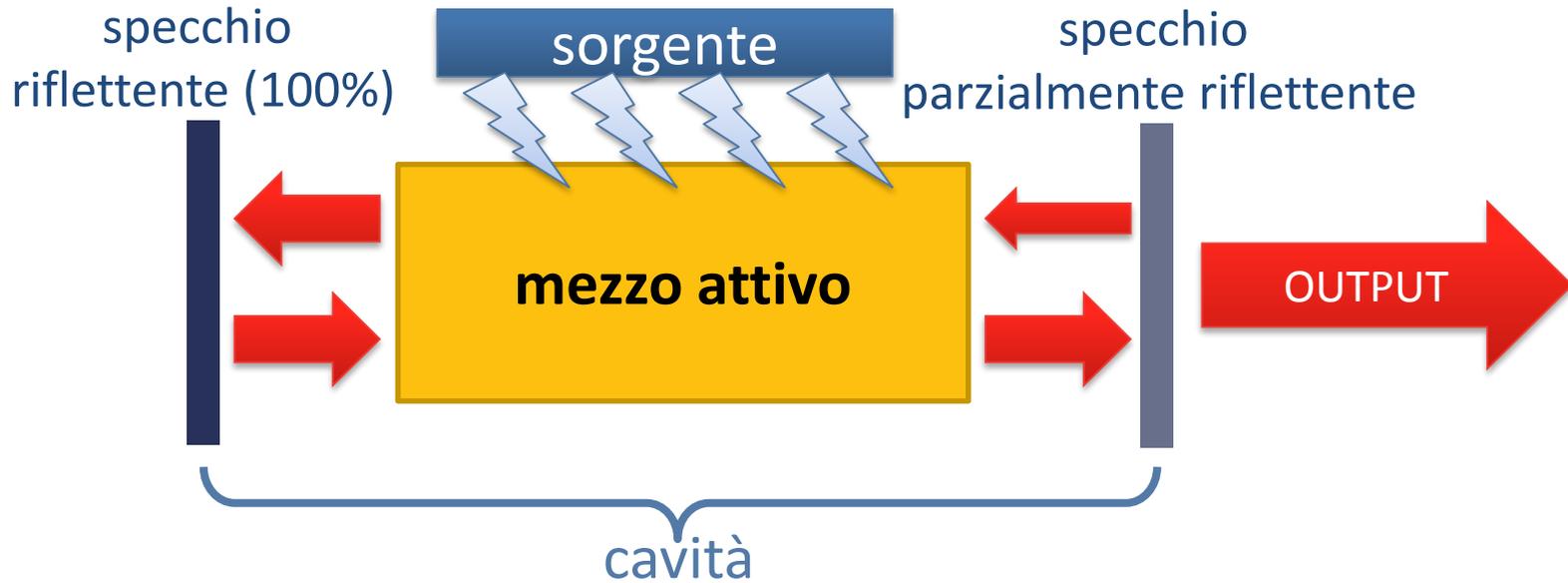
## Coherent (Laser) Light



Produces organized light waves of specific wavelengths.



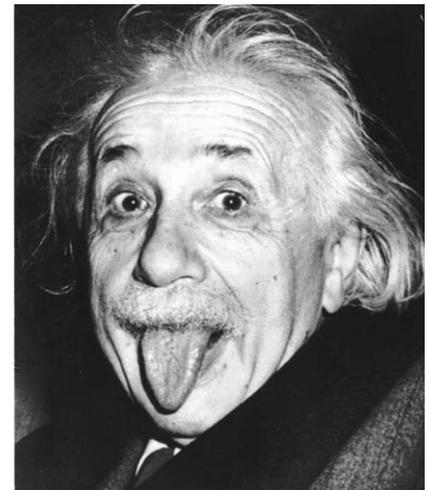
# Schema





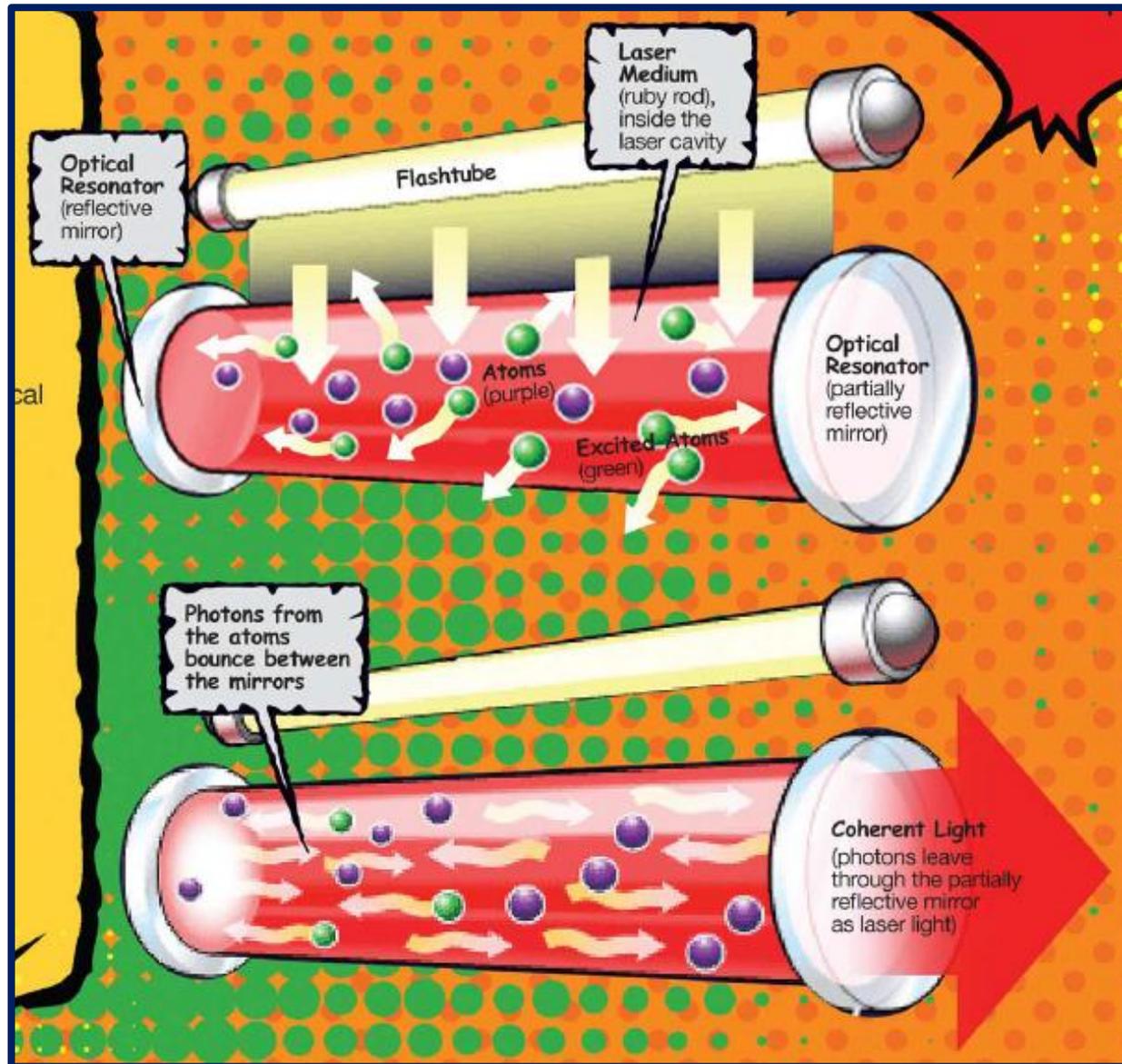
# Principio di funzionamento

- **Light:** è una forma di energia elettromagnetica che include lunghezze d'onda visibili o no, formata da particelle chiamate fotoni, con energia diversa
- **Amplification:** la luce laser è amplificata, così da creare un fascio brillante e molto intenso
- **Stimulated:** l'amplificazione della luce si ottiene stimolando gli atomi a rilasciare fotoni (gli atomi possono essere in uno stato eccitato e decadere emettendo un fotone, che stimola lo stesso processo negli atomi eccitati vicini)
- **Emission:** si riferisce all'emissione di un fotone da parte degli atomi che decadono dallo stato eccitato (Albert Einstein, 1917)
- **Radiation:** fa riferimento alla luce laser emessa (luce "organizzata")





# Esempio: il primo laser





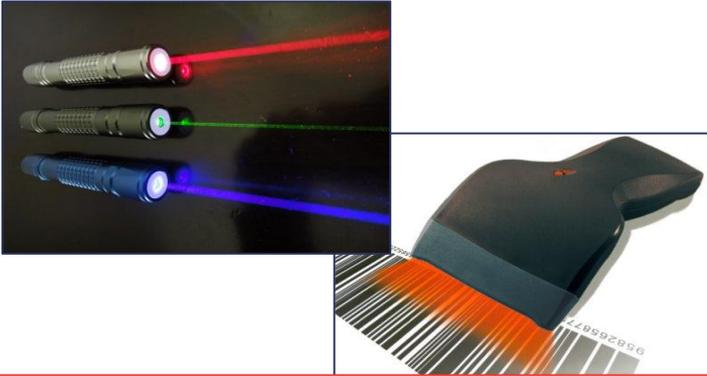
# 50 anni di innovazioni

- **Anni '60:** dimostrate la maggior parte delle tipologie di laser
- Nei 50 anni seguenti: **eccezionale evoluzione** di
  - **comprensione teorica** dei meccanismi del laser
  - **varietà** e **prestazioni** dei moderni laser
- Differenziazione per
  - **dimensioni** (variabili tra un capello umano e uno stadio di calcio!)
  - **tunabilità** (= selezione del "colore" della luce emessa)
  - **lunghezza d'onda** (infrarosso, visibile, UV o anche raggi-X)
  - **regime di funzionamento**
  - **potenza emessa**





# 50 anni di applicazioni



Puntatori laser, lettori di codici a barre



Diodi laser  
(centinaia di milioni prodotti ogni anno!)



Laser a eccimeri per chirurgia

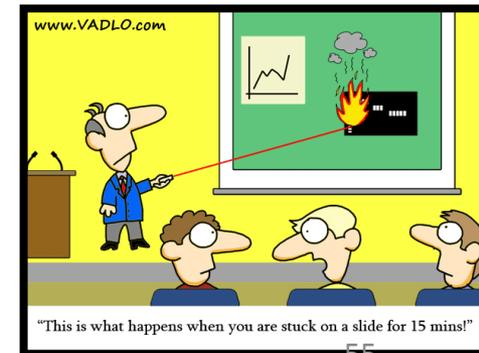
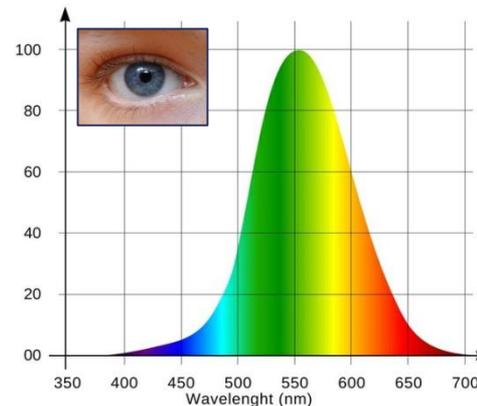


Laser per difesa



# Puntatore laser

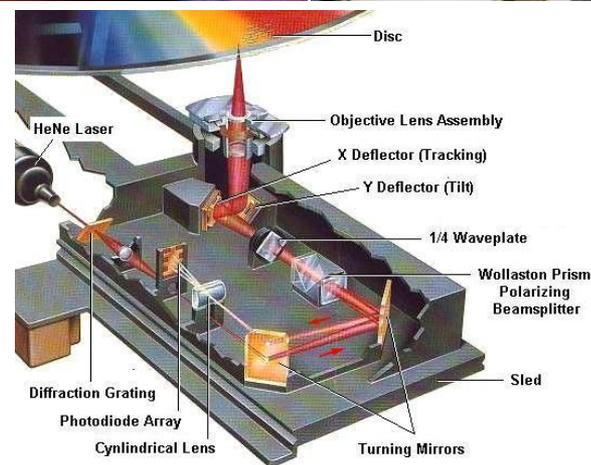
- **Semplice laser tascabile**, introdotto per la prima volta negli **Anni '80**
- Puntatore **rosso**: diodo laser alimentato a batteria che produce luce quando l'energia elettrica lo attraversa
- Puntatore **verde**: speciale cristallo incluso per raddoppiare la frequenza di un laser infrarosso, portandola nella parte visibile dello spettro
- Il puntatore laser **verde** appare più brillante: l'occhio umano è più sensibile alla luce verde





# Lettori CD/DVD

- **Letto di Laserdisc:** primo prodotto elettronico di massa a includere un laser (1978)
- **Compact Disc (CD):** formato audio standard (1982)
- **Letto CD** = primo dispositivo contenente un laser largamente diffuso nelle case
- Grazie al laser è possibile una precisa lettura del disco:
  - fascio di luce **riflesso** dall'**informazione immagazzinata** sul disco in una serie di "pits"
  - luce riflessa colpisce un **fotoricevitore**, che converte l'informazione in digitale con "1" e "0"



Optical Path of Early HeNe Laser-Based LaserDisc Player Prototype



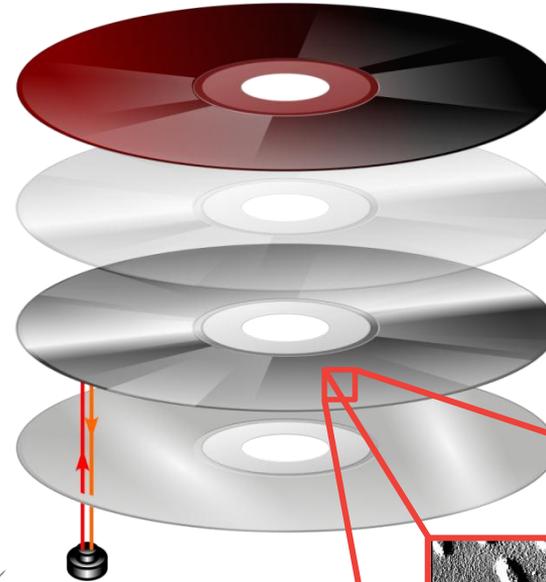
# CD-ROM

Etichetta/stampa

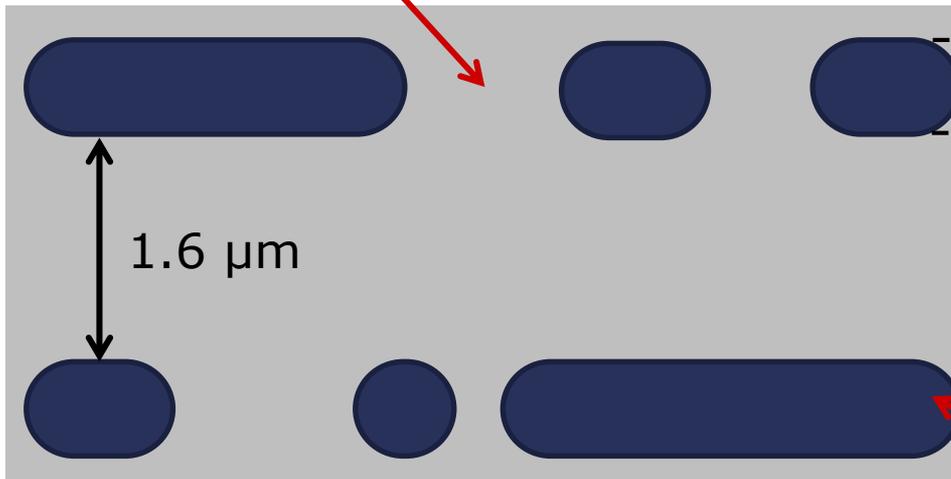
Acrilico/policarbonato

Strato riflettente (lega Nickel)

Policarbonato

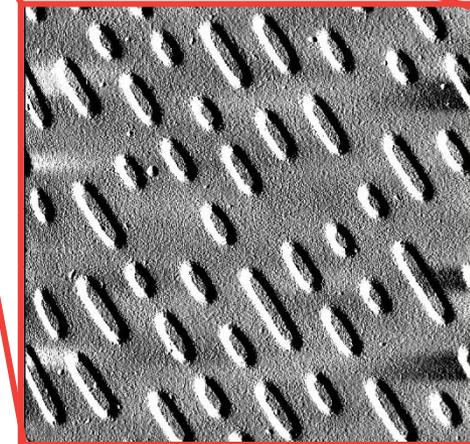


«flat»



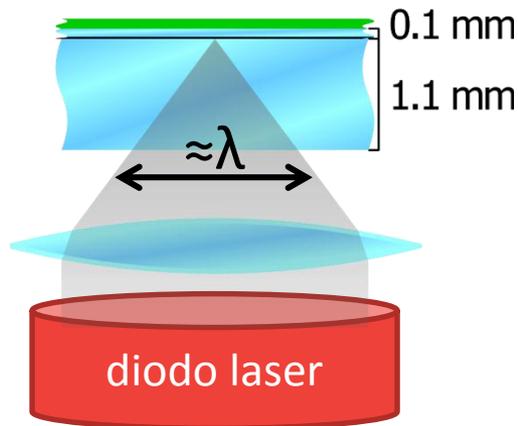
0.6  $\mu\text{m}$

«pits»  
«bumps»



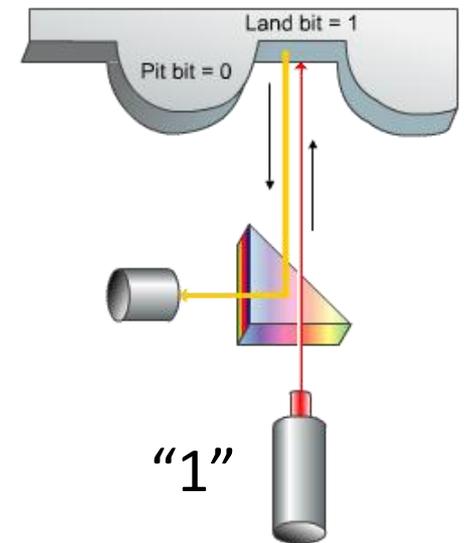
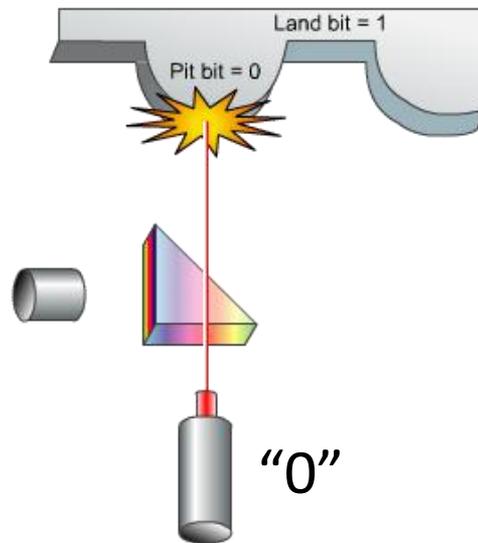


# Letture CD-ROM



- La lente focalizza la luce laser sulla superficie del disco
- Il diametro dello spot del laser sul disco è proporzionale alla lunghezza d'onda  $\lambda$

- **Pit:** la luce è diffusa e non raggiunge il ricevitore  $\Rightarrow$  bit «0»
- **Flat:** la luce è riflessa e raggiunge il ricevitore  $\Rightarrow$  bit «1»

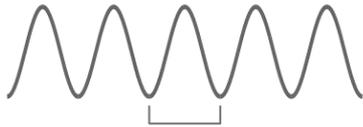
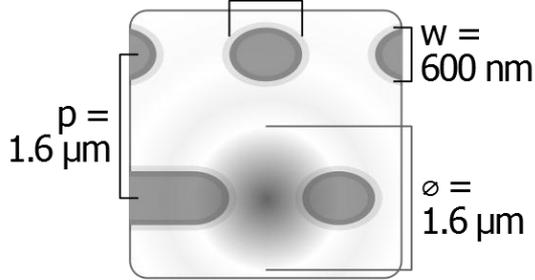




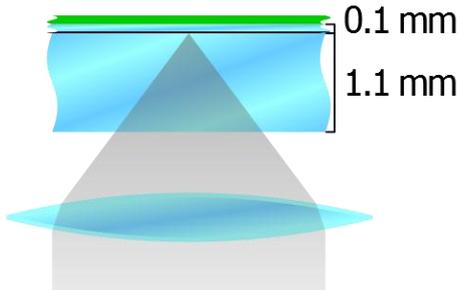
# Dal CD-ROM al BLU-RAY

## CD

$l = 800 \text{ nm}$



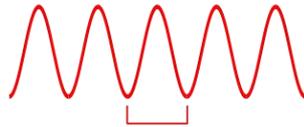
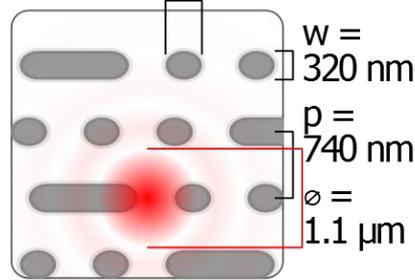
$\lambda = 780 \text{ nm}$



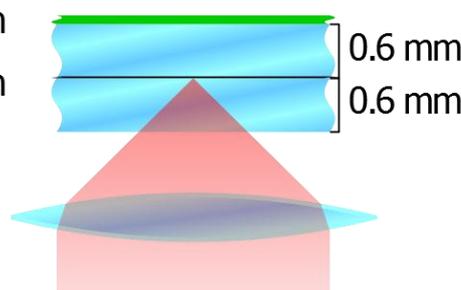
720 MB per  
faccia

## DVD

$l = 400 \text{ nm}$



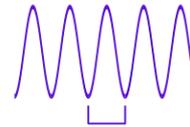
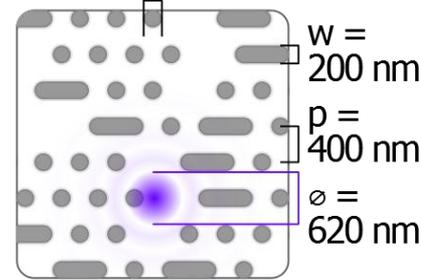
$\lambda = 650 \text{ nm}$



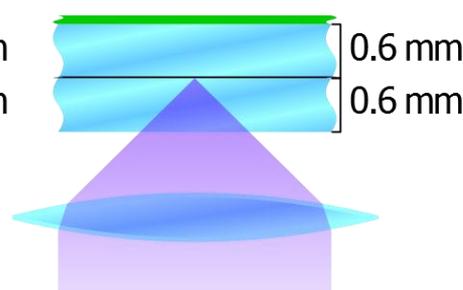
4.8 GB per  
faccia

## HD DVD

$l = 200 \text{ nm}$



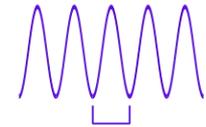
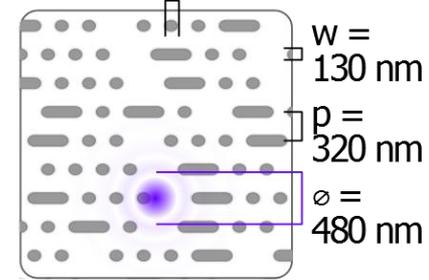
$\lambda = 405 \text{ nm}$



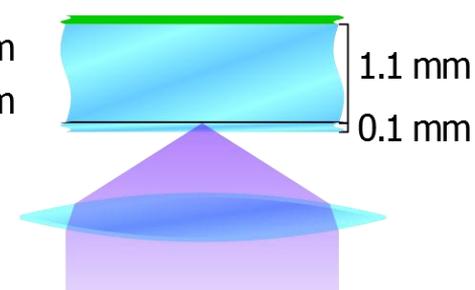
15 GB per  
faccia

## Blu-ray

$l = 150 \text{ nm}$



$\lambda = 405 \text{ nm}$



25 GB per  
faccia



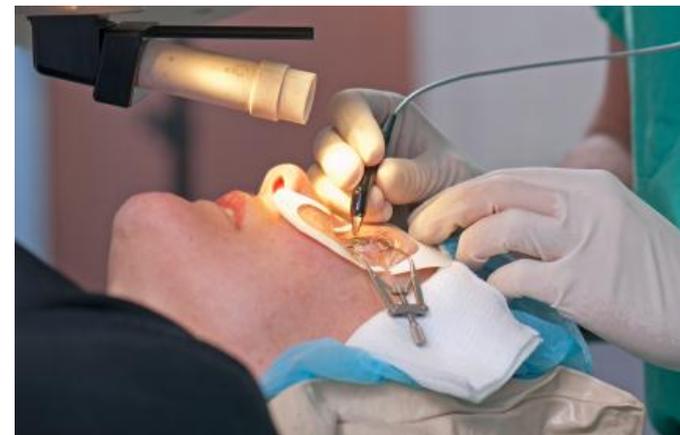
# Laser per la salute

- Crescita significativa del ruolo della luce nelle procedure mediche a seguito dell'invenzione del laser
- I **laser** hanno un ruolo cruciale in:
  - **dermatologia** (pelle)
  - **oftalmologia** (occhi)
  - **odontoatria** (denti)



per la loro precisione ed alta densità di potenza

- I laser sono ampiamente usati per procedure comuni come la rimozione di nei, tatuaggi e voglie
- La chirurgia per gli occhi e altre procedure chirurgiche utilizzano oggi la potenza del laser piuttosto che i metodi invasivi del passato





# Laser per la difesa

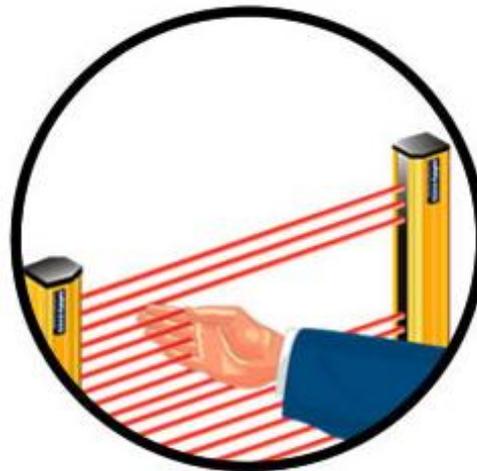
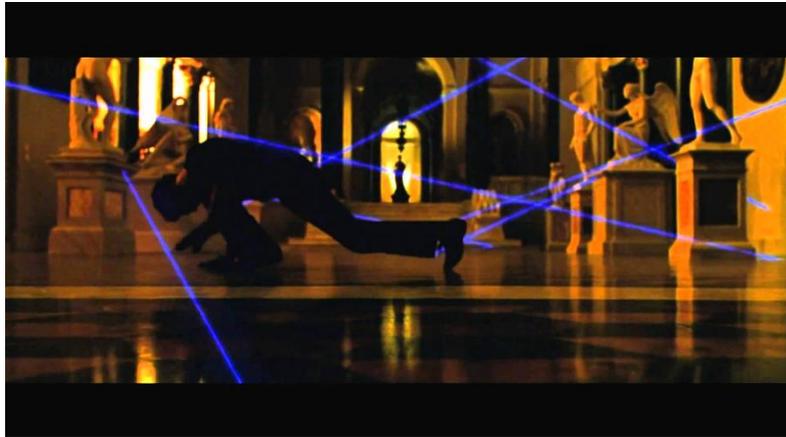
- **Designazione laser:** pratica di illuminare con un fascio laser un obiettivo con il fine di marcarlo per la distruzione (cfr. armi di precisione in ambito militare, come le bombe "intelligenti")
- Designatori laser attuali: uso di **laser infrarossi** (spot non visibile dall'obiettivo) e di **messaggi codificati** negli impulsi luminosi a scopo di verifica





# Laser per la sicurezza

- Presenza e movimento di **intrusi** possono essere rivelati usando un **sistema ad interruzione del fascio laser**
- In alcuni sistemi è possibile rilevare anche il numero di intrusi che attraversano un dato fascio
- Diversamente da quanto mostrato nei film, i fasci laser in aria sono invisibili





# Show di laser

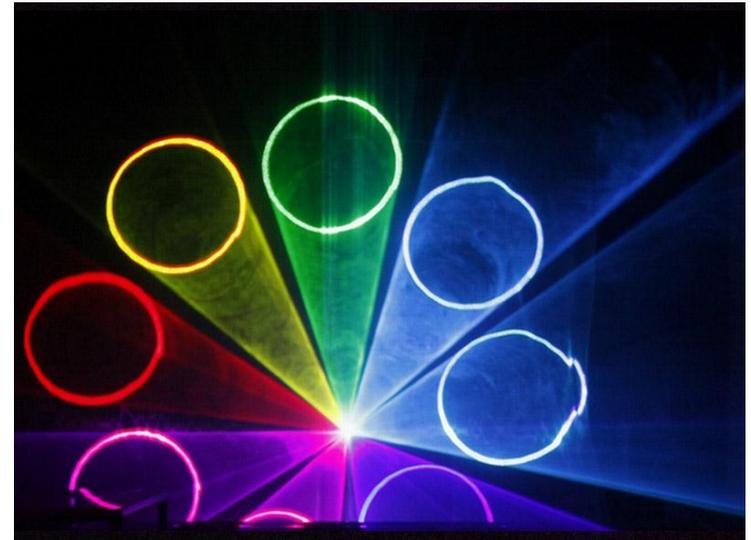
- Grazie ai loro colori brillanti, i laser sono molto diffusi nell'industria dell'intrattenimento:

- show di laser
- arte olografica



- Gli show di laser producono display "visivi" usando **effetti di fascio**:

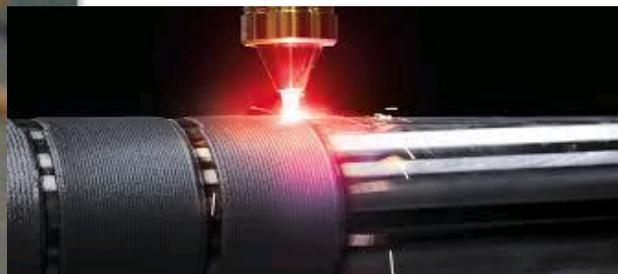
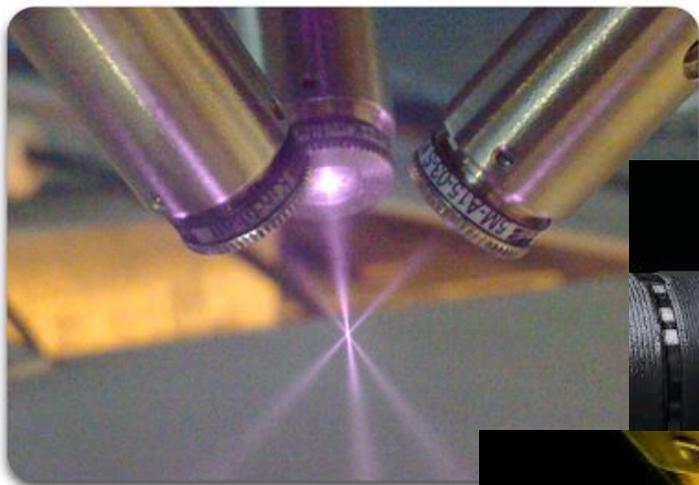
- **accendendo** e **spegnendo** un fascio stazionario
- **creando effetti dinamici coi fasci**, tra cui ventagli di fasci colorati, sequenze di fasci, "fogli" di luce, coni, tunnel di fasci, oltre ad effetti ottenuti con reticoli di diffrazione in movimento





# Laser nell'industria manifatturiera

- I laser dall'UV all'IR possono essere usati per la maggior parte delle **microlavorazioni**
- Fare la **scelta giusta** della sorgente laser è essenziale per riuscire ad ottenere i risultati desiderati ⇒ uso efficace delle diverse proprietà del laser





# Processi sottrattivi

- **Lavorazione sottrattiva** = **rimozione** di materiale da un solido
- Esempi: **taglio, foratura, marcatura**
- Materiali tipici: metalli, polimeri o ceramiche
- Vantaggi del laser:
  - processo non a contatto, senza l'uso di speciali sostanze chimiche
  - zona con effetti termici molto ridotta
  - buona qualità dei bordi
  - alta affidabilità
  - alta ripetibilità
  - elevata velocità e automazione completa





# Taglio e foratura laser

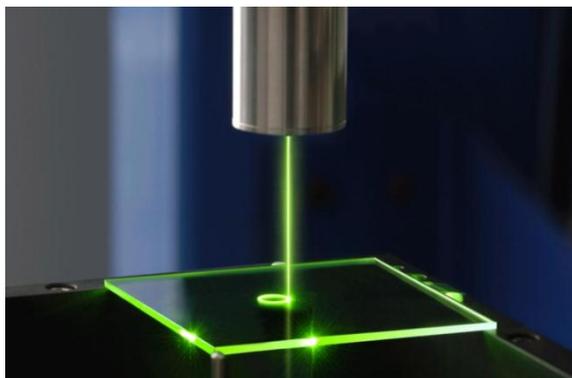
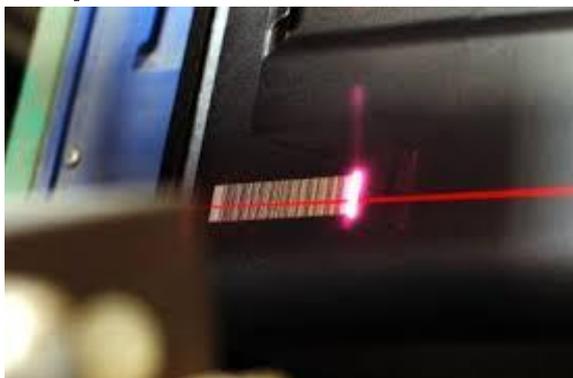
- **Taglio laser** = processo ben consolidato che si applica ad un ampio insieme di materiali, sia metallici sia non metallici (carta, pannelli di legno, tessuti, plastica, fogli metallici, etc.)
- Possibilità di **produrre fori** in metalli, ceramiche, diamanti, materiali semiconduttori, polimeri, vetro e zaffiro
- Possibile ottenere fori con diametro preciso e costante (fino a circa  $1\ \mu\text{m}$ ) o fori con diametro variabile, con bordi netti e puliti





# Marcatura laser

- Oggi la **marcatura** è diffusa ovunque ed è richiesta in tutti i settori industriali (inserimento di numeri, testi e codici identificativi, tracciabilità)
- La marcatura è uno dei processi basati sul laser più versatili e soddisfa pienamente tutti i requisiti richiesti
- I laser permettono la **marcatura permanente** con un processo **non a contatto**
- La marcatura laser può essere ottenuta tramite processi di tipo diverso: scelta del tipo di laser e del processo in base al materiale e ai risultati desiderati





# Processo di giunzione: saldatura

- **Giunzione** con fascio laser = tecnica usata per unire più pezzi di metallo o polimero tramite l'uso del laser
- Applicando **calore** in modo **altamente localizzato** con un fascio laser non a contatto, è possibile ottenere una saldatura stagna di diversi materiali
- Usando un laser ad alta potenza nel medio IR ( $1.9 \mu\text{m}$ ) è possibile saldare polimeri trasparenti con impatto termico minimo, resistenza meccanica molto buona e giunzione praticamente invisibile





# Processo additivo: stampa 3D

- La **lavorazione additiva** costruisce parti aggiungendo materiale invece di rimuoverlo

## “Nuova rivoluzione industriale”

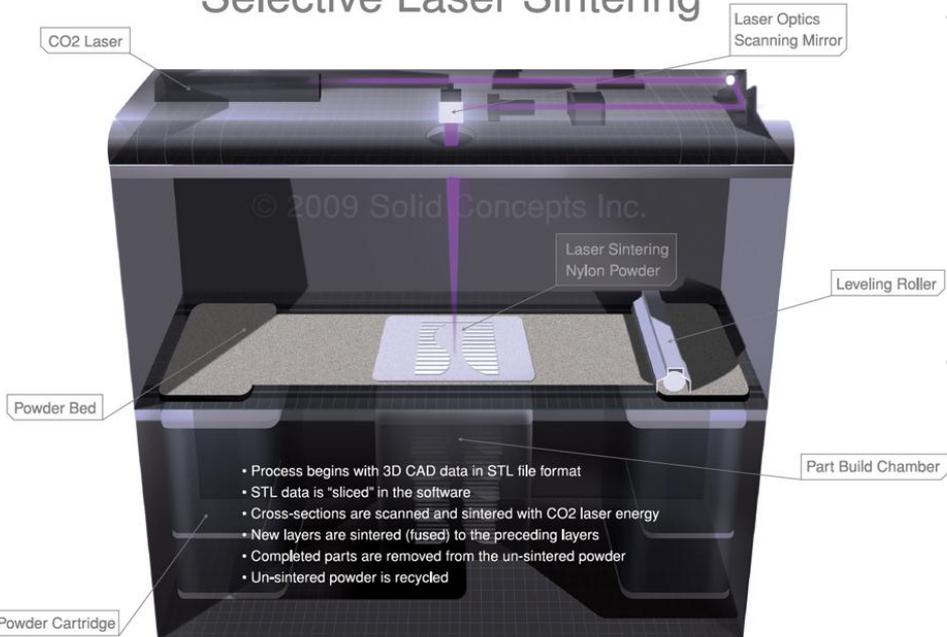
- La stampa 3D può
  - produrre praticamente ogni forma o particolarità
  - supportare sistemi di progettazione innovativi
  - accelerare i tempi di prototipazione e ridurre i costi
  - limitare gli scarti di produzione



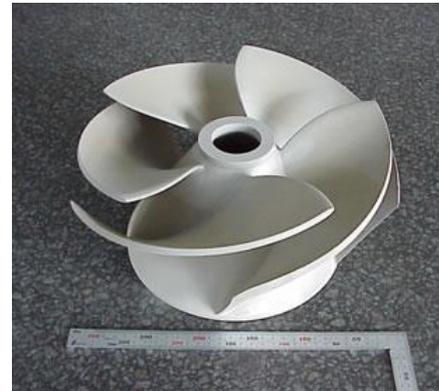
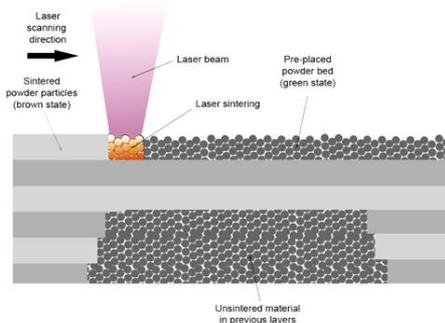
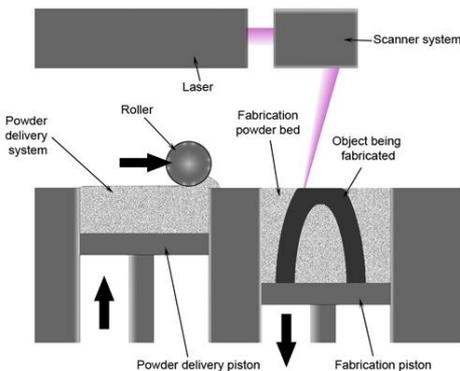


# Selective Laser Sintering

## Selective Laser Sintering

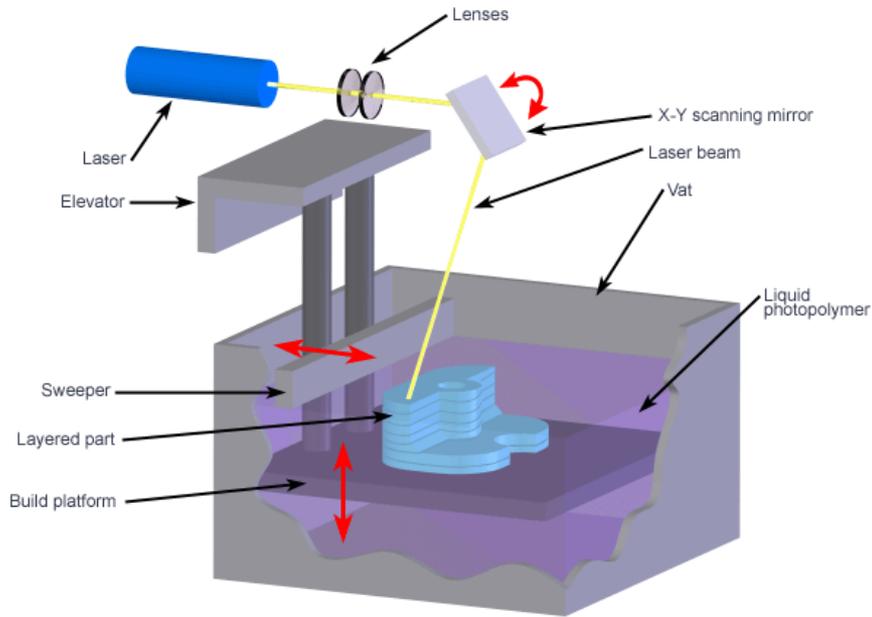


- Materia prima: **polveri**
  - Plastiche
  - Metalli
  - Ceramiche...
- Laser ad alta potenza ( $\text{CO}_2$ ) scansiona i contorni dell'oggetto e fonde selettivamente le polveri



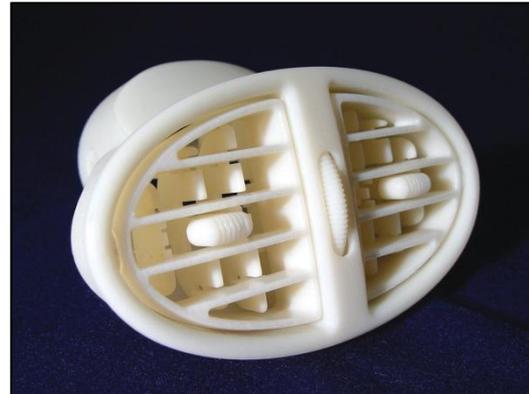
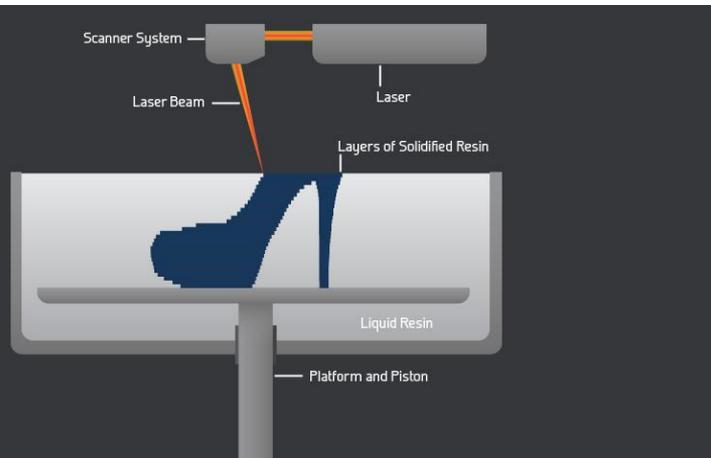


# Stereolitografia



Copyright © 2008 CustomPartNet

- Materia prima: **liquido**
  - Resine
- Laser UV scans i contorni dell'oggetto, solidificando localmente la resina





# Grazie



[enrico.coscelli@unipr.it](mailto:enrico.coscelli@unipr.it)



[federica.poli@unipr.it](mailto:federica.poli@unipr.it)