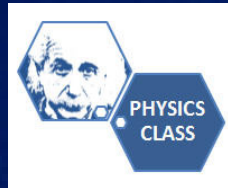




Dipartimento di Scienze
Fisiche, Informatiche e Matematiche



Physics Class 2015

Rossella Brunetti

LASER:

la clonazione della luce

UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

monocromatica

fortemente collimata

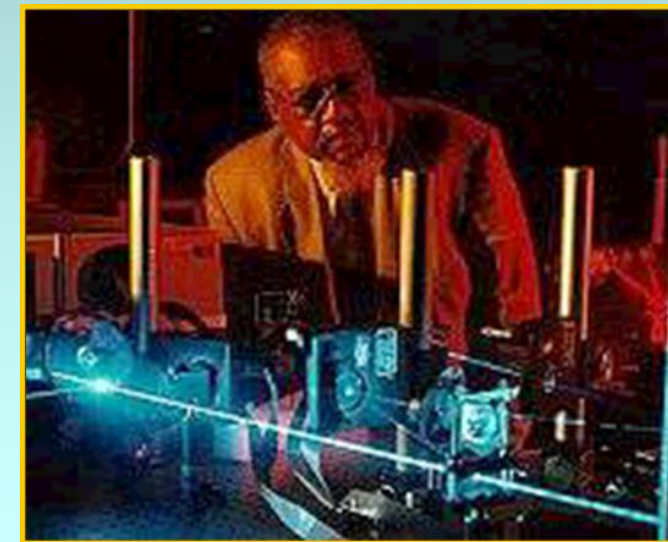
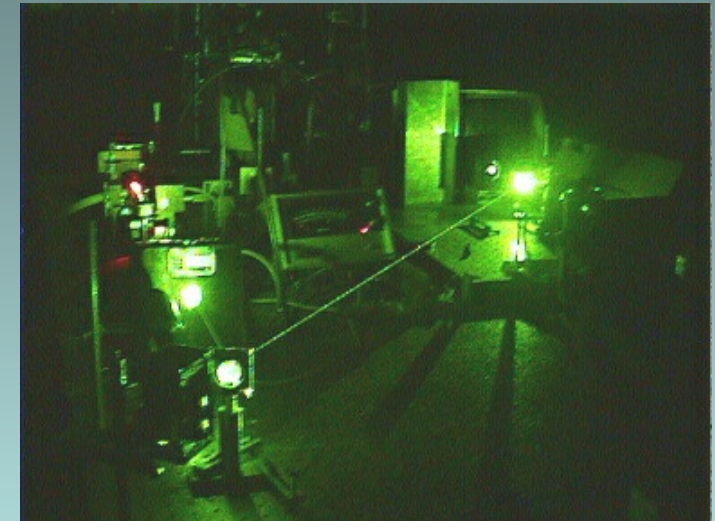
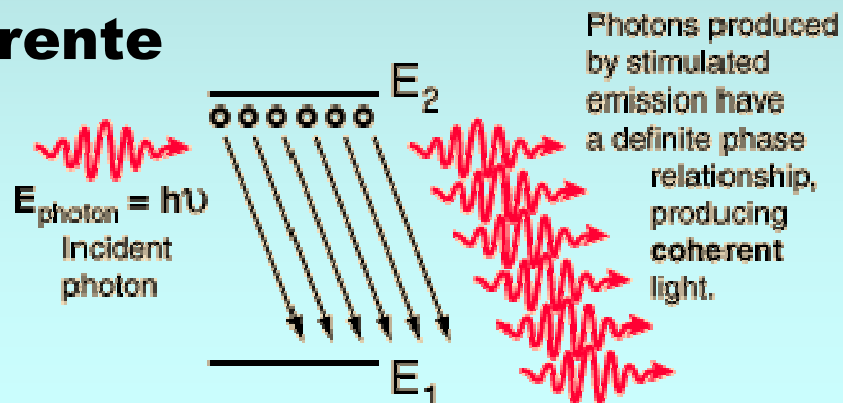
(nella stessa direzione)

con piccola divergenza

elevata intensità liberata

in tempi molto brevi

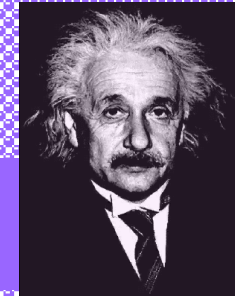
coerente



Dalla fisica pura alla luce pura



**Albert Einstein
Nobel 1922**



struttura e proprietà degli atomi, nuove teorie per l'interazione radiazione-materia 1920-1940



**Charles Townes
Nobel 1964**

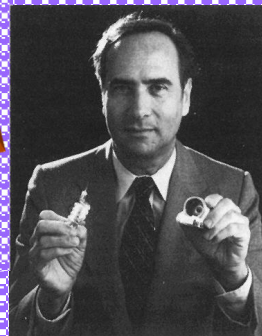
maser (prop. vibraz. dell'ammoniaca, NH₃) 1955



**Arthur Schawlow
Nobel 1981**

Modello teorico laser a gas 1958

Theodore Maiman



laser a cristallo di rubino, laser a gas 1960

laser a semiconduttore 1962

Miniaturizzazione dei laser a semiconduttore (un milione in un cm²)

laser nell'i.r. e nei raggi X, impulsi ultra brevi, elevate potenze

.....



Scienza di base
fisica, chimica
scienza dei materiali



tecnologia
ricerca industriale

● **la fisica**

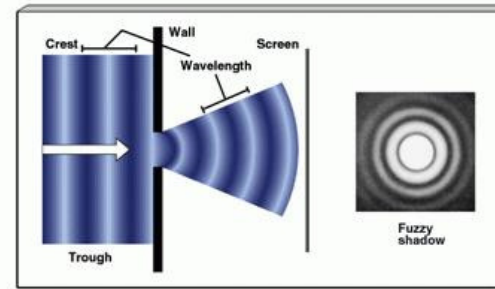
● **il funzionamento**

● **le applicazioni**

● **il futuro**



cos'è la luce?

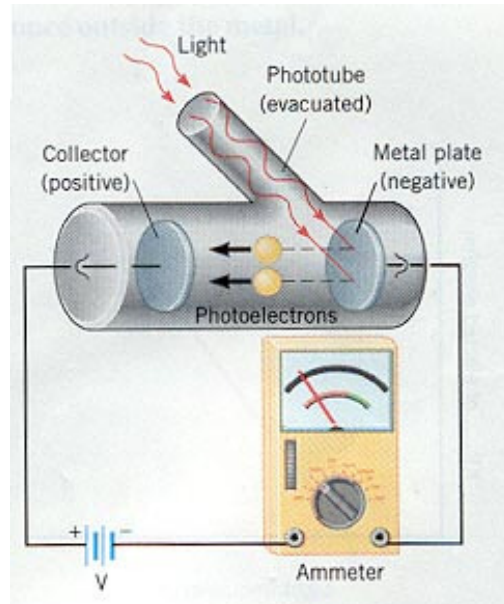


1850 Maxwell è un'onda!

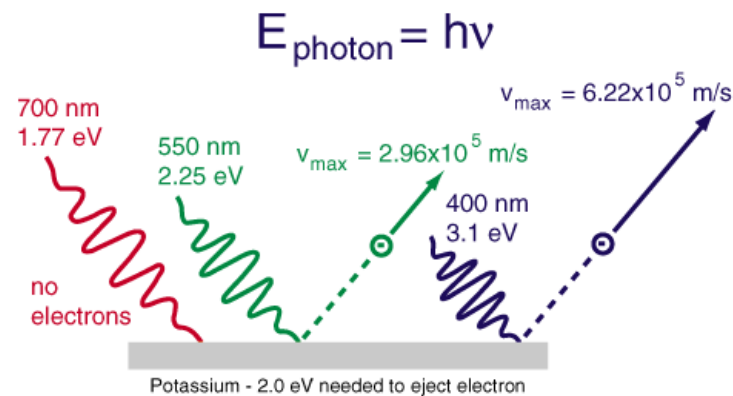
Obbedisce al principio di sovrapposizione

1905 Einstein è formata da corpuscoli

l'effetto fotoelettrico



l'ipotesi dei fotoni e il modello "discoteca"



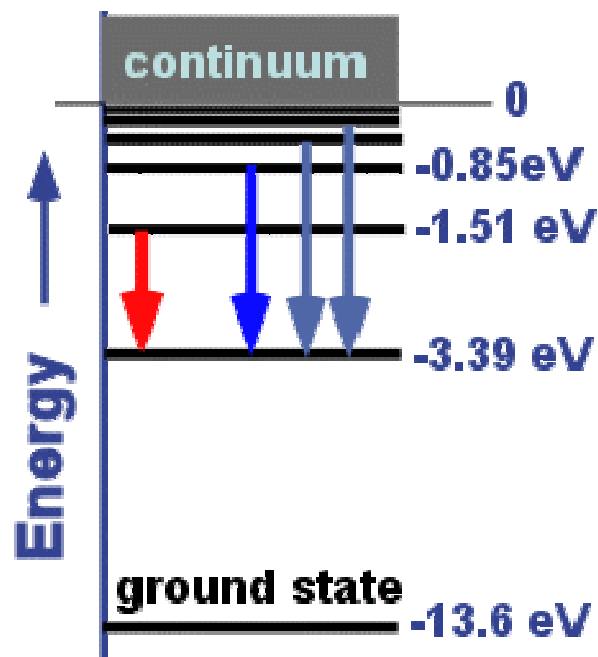
$$E = h\nu$$

Photoelectric effect

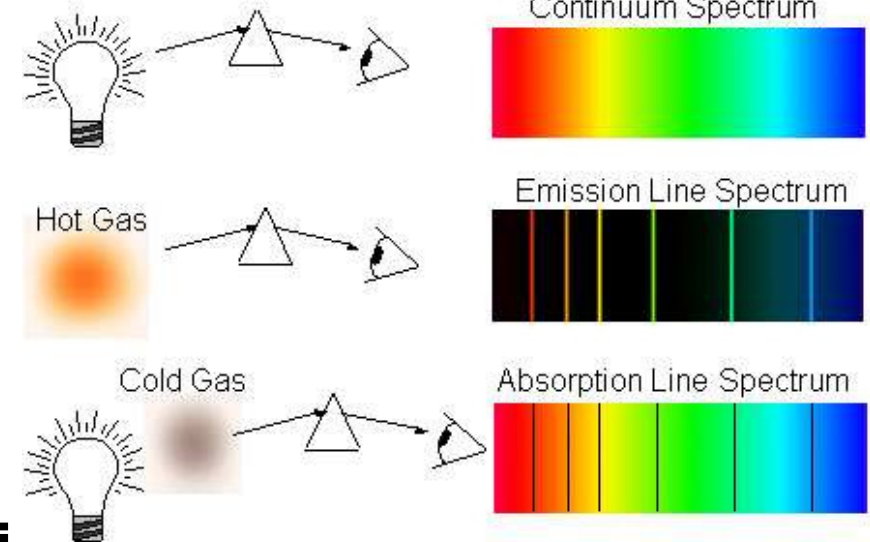


il moderno modello atomico

Gli elettroni negli atomi dei gas hanno solo certi valori di energia che variano da atomo ad atomo (livelli energetici)



spettro discreto



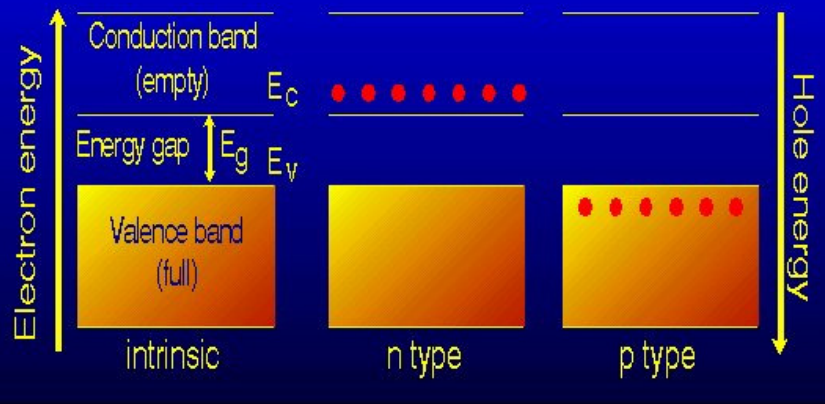
**sono possibili transizioni tra livelli
con assorbimento/emissione di fotoni**



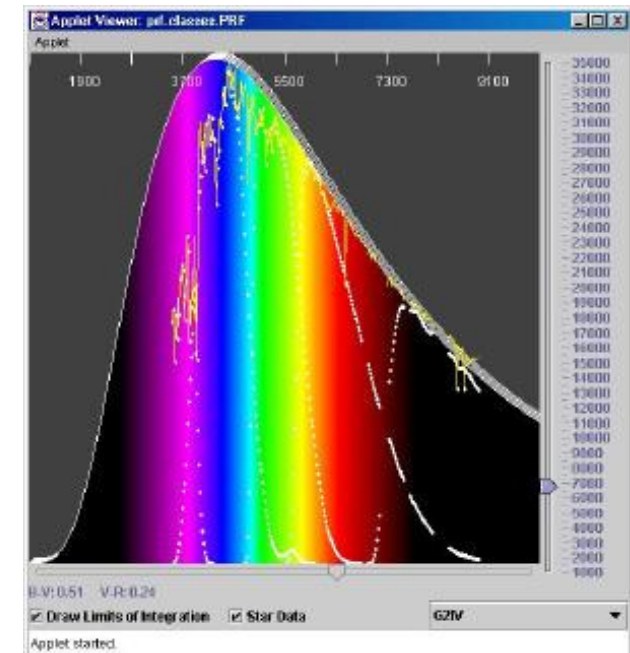
il moderno modello di un solido

Gli elettroni in atomi di un solido esistono interi intervalli di energia possibili che variano da solido a solido (bande di energia) separati da intervalli di energie “proibite” (gap)

Band diagram and the electron-hole distribution in semiconductors



spettro continuo



sono possibili transizioni tra stati di una stessa banda o tra stati di bande diverse con assorbimento/emissione di fotoni

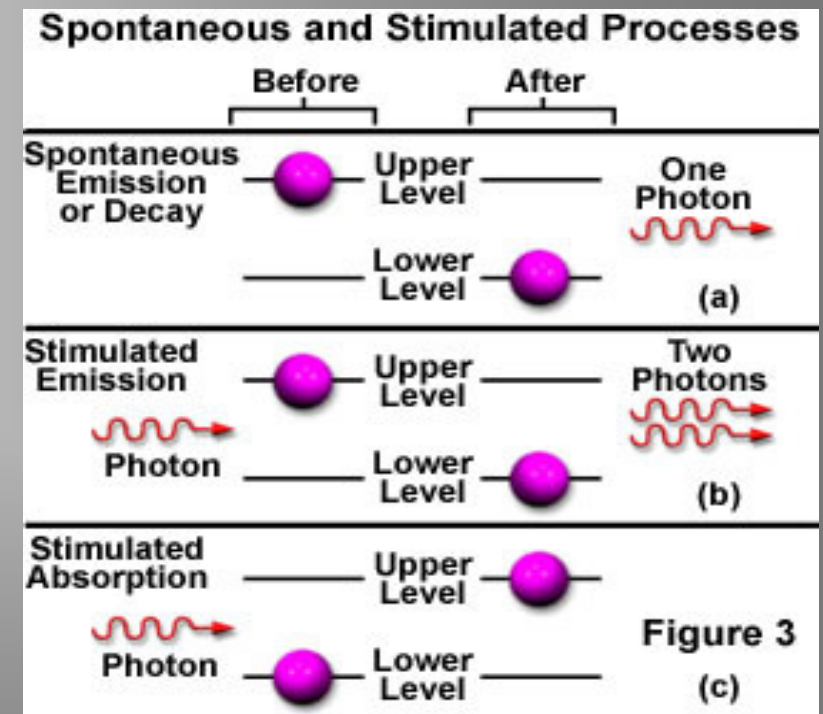


due modi di emissione...

Emissione spontanea:

un elettrone in un livello eccitato decade spontaneamente ad uno stato stabile di energia inferiore con vite medie da

$$10^{-12} s \text{ a } 10^{-3} s$$

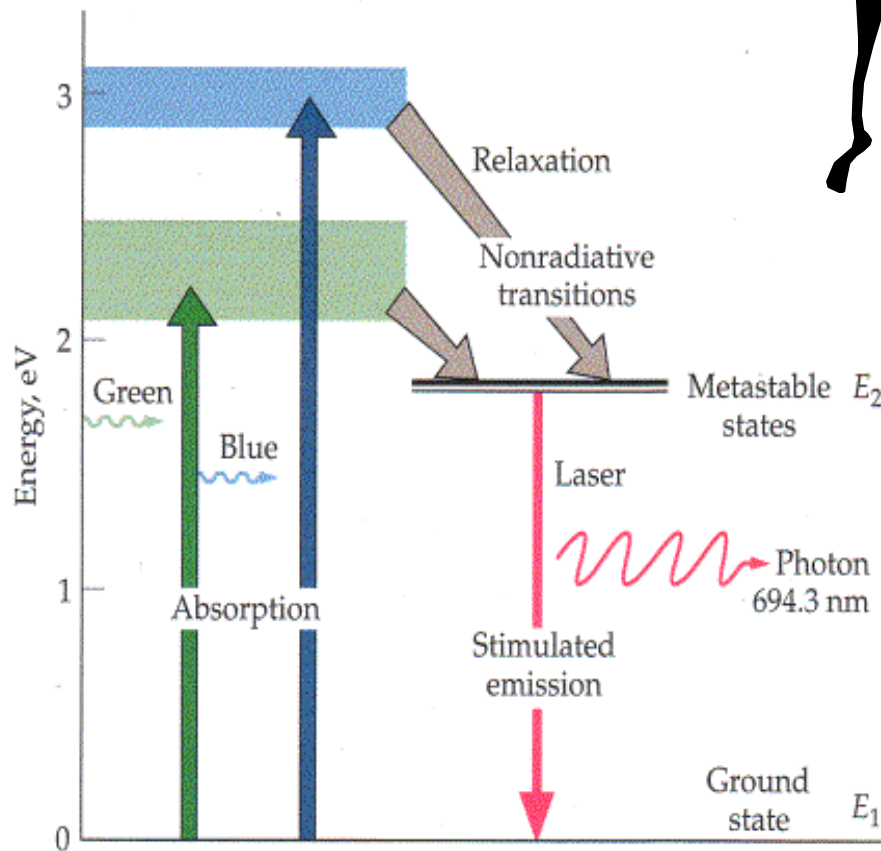


Emissione stimolata (Einstein 1917):

la presenza del “fotone giusto” stimola prematuroamente il decadimento di un elettrone in un livello eccitato ad uno stato stabile di energia inferiore con emissione di un fotone “clone”



Idea luminosa!!



**Creare una situazione
in cui molti elettroni
sono in stato eccitato
(inversione di
popolazione).**

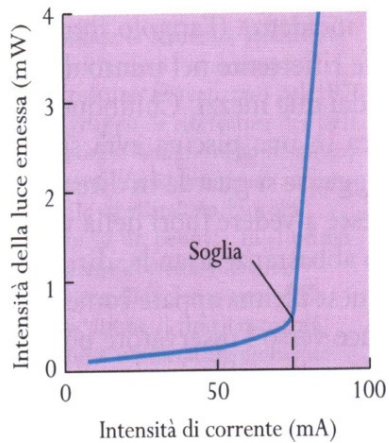
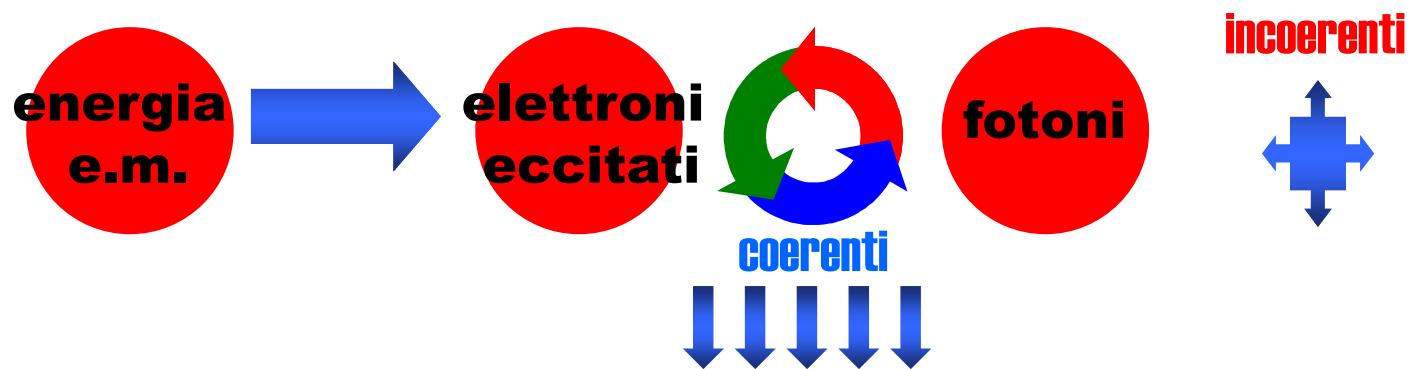
**Ciascun fotone che viene
emesso stimola
l'emissione di altri fotoni
cloni che a loro volta...**



Lampada a gas: emissione spontanea



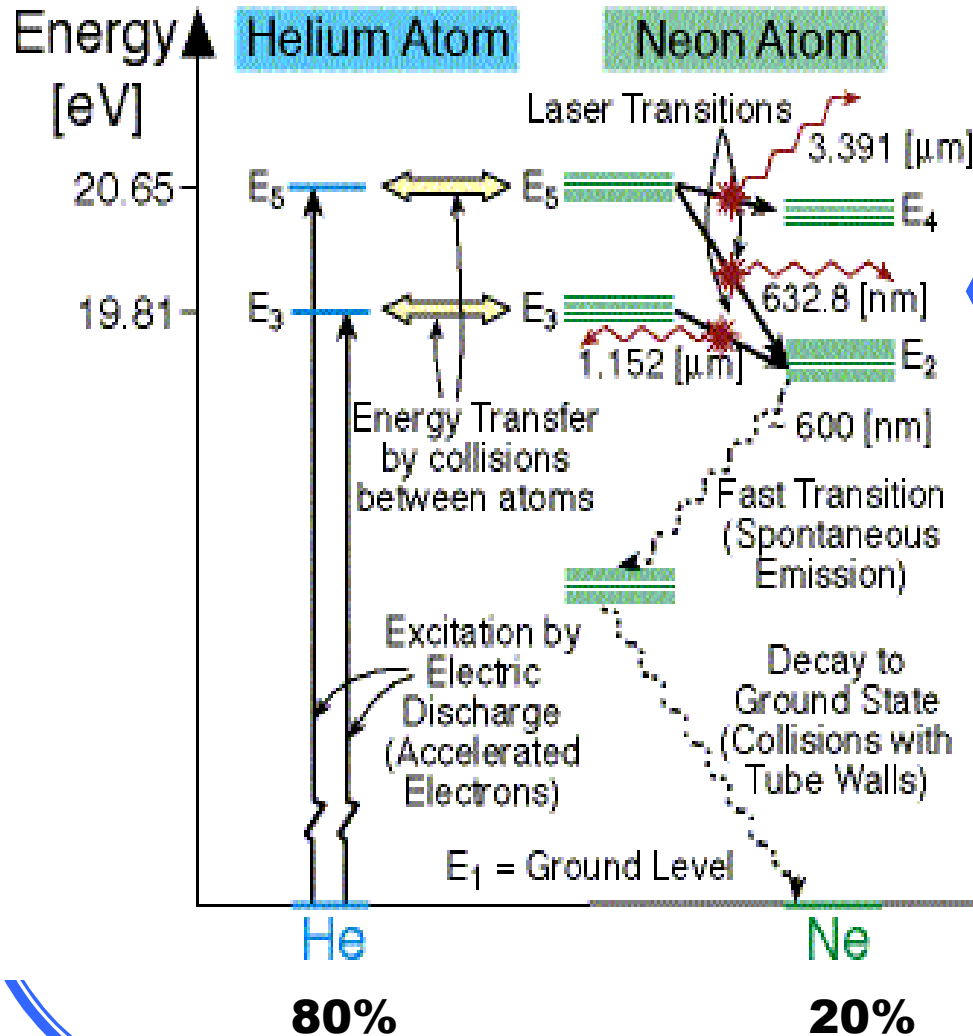
Laser a gas: emissione stimolata





il funzionamento

il laser a He-Ne



Cosa serve:

- Una sorgente di energia**
- Inversione di popolazione (almeno 3 livelli)**
- Confinamento ottico dei fotoni**

- corrente elettrica**
- due specchi alle estremità del tubo**
- perpendicolari all'asse del tubo**
- rimandano nel gas solo i fotoni riflessi**

punto critico: n. fot. emessi=n. fot.assorbiti

stato stazionario (saturazione):
n. fot. estratti=n. fot. creati nel tubo



La luce laser **COSTA!!** (e anche molto)

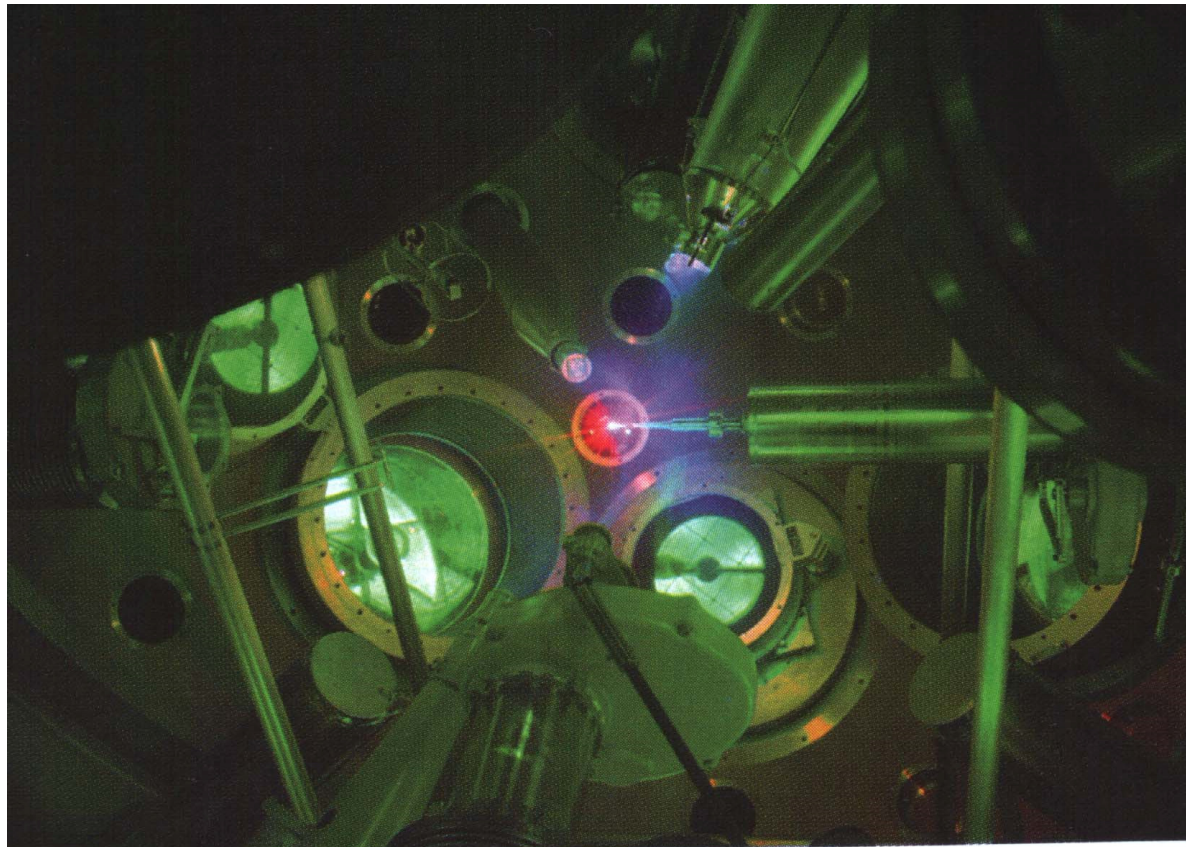
Le più alte efficienze sono del 25,30%



le applicazioni

Fusione nucleare mediante laser

Una serie di fasci laser di altissima potenza sono fatti convergere simultaneamente verso una piccola capsula di idrogeno pesante. Il grande trasferimento di energia provoca una fusione termonucleare dell'idrogeno secondo una reazione analoga a quella che avviene all'interno del Sole.





le applicazioni

Laser in oculistica

La luce visibile emessa dal laser attraversa il cristallino trasparente e colpisce la retina provocando un locale riscaldamento. Il laser viene usato per riattaccare una retina staccata, per rimuovere una cataratta o per altri scopi chirurgici

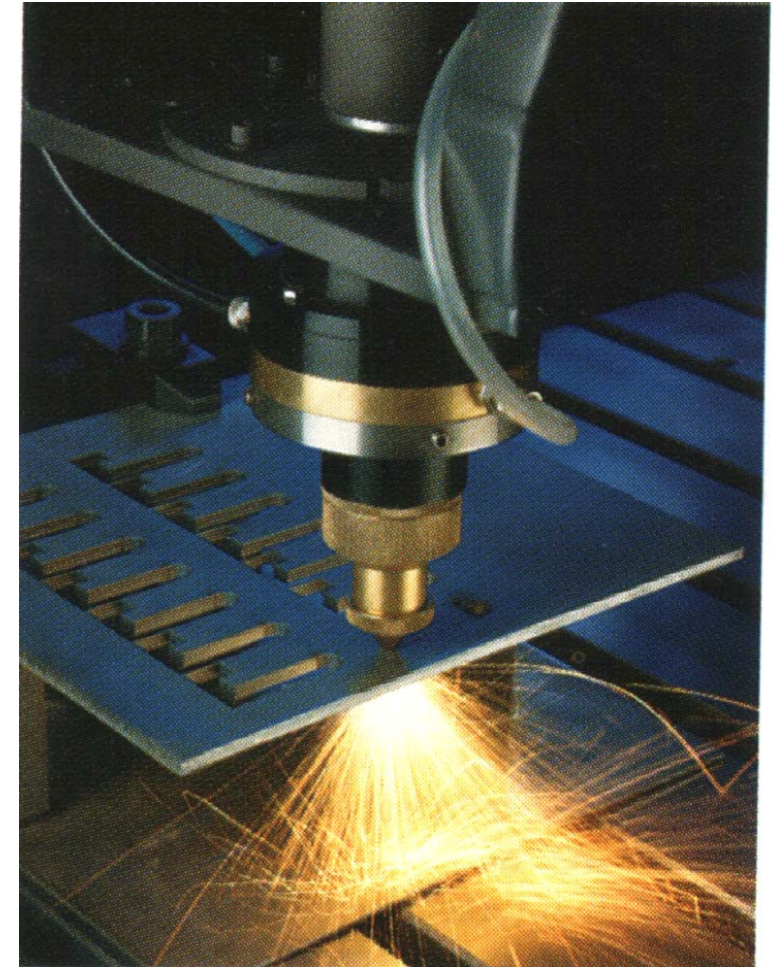




Laser per tagli di precisione

Un laser industriale è in grado di tagliare figure precise nelle lamiere metalliche. Nell'esempio un fascio di 2000 W prodotto da un laser a CO₂ ($\lambda = 10.6\mu\text{m}$)


viene focalizzato in modo da produrre in intensissimo riscaldamento in una piccola area. Traslatori di precisione spostano la lamiera metallica in modo da tagliare le sagome volute. La luminescenza sotto la lamina è prodotta da residui incandescenti di metallo.



le applicazioni

Scanner per leggere codici a barre

La quantità di luce laser riflessa varia a seconda che il fascio transiti sulle linee scure (di diverso spessore) o negli intervalli bianchi che costituiscono la configurazione di un codice a barre. La configurazione di luce riflessa viene interpretata come corrispondente ad un particolare prodotto di consumo.

CODICE NAZIONALITA'	8	
CODICE PRODUTTORE ASSEGNATO DALL'INDICOD	012345	
CODICE PRODOTTO ASSEGNATO DAL PRODUTTORE	678907	
CODICE DI CONTROLLO		

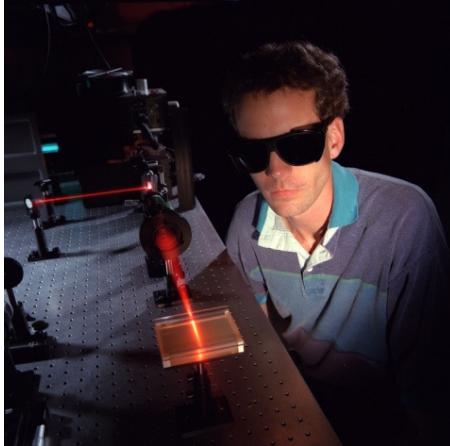




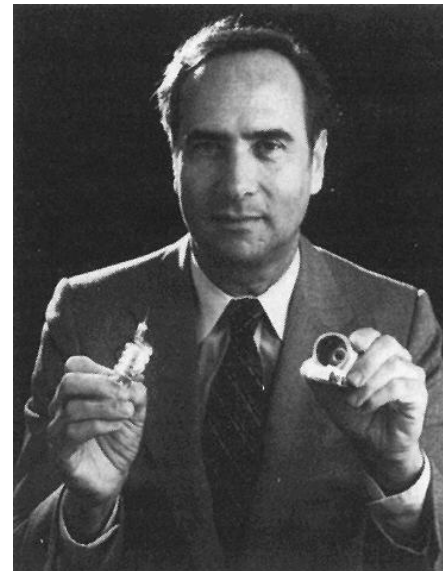
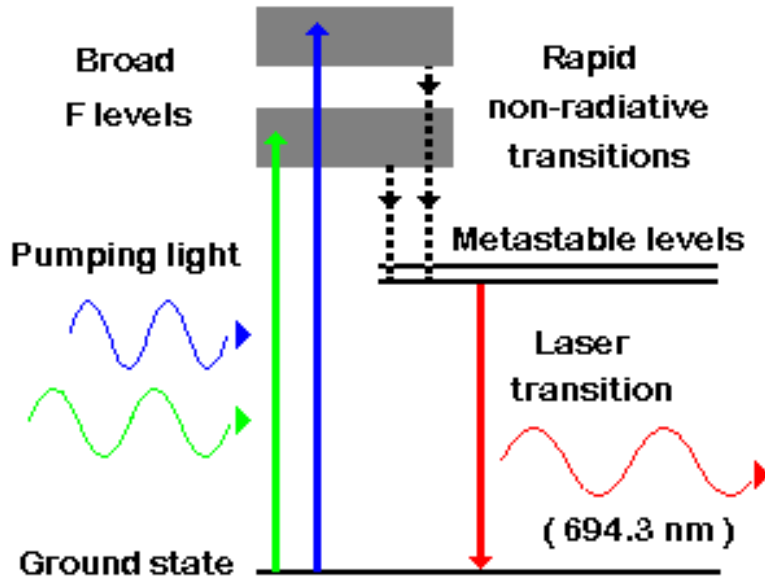
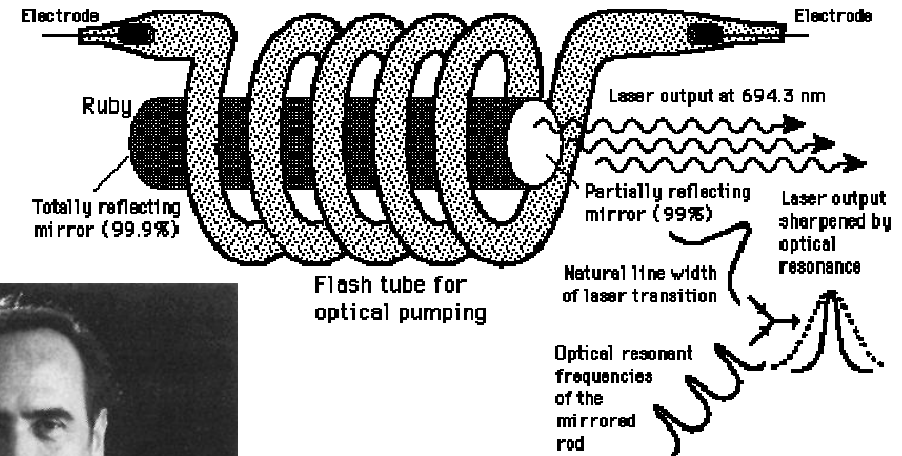
il funzionamento

Il laser al rubino

Rubino = ossido di alluminio con impurezze di Cr

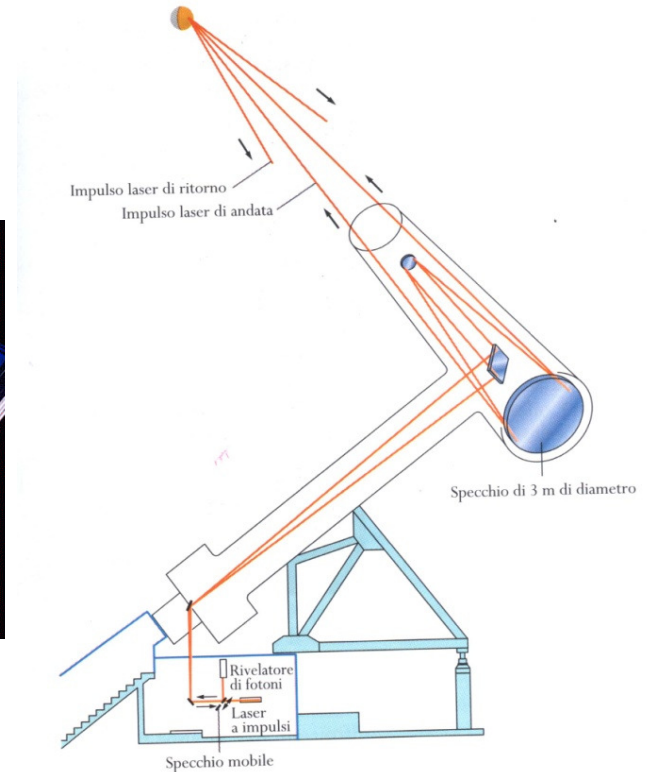
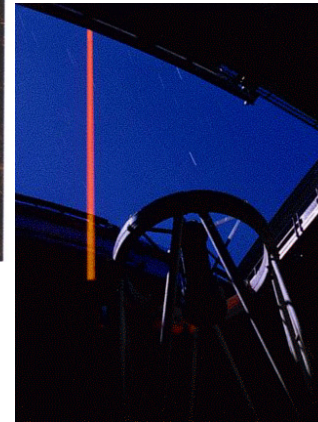
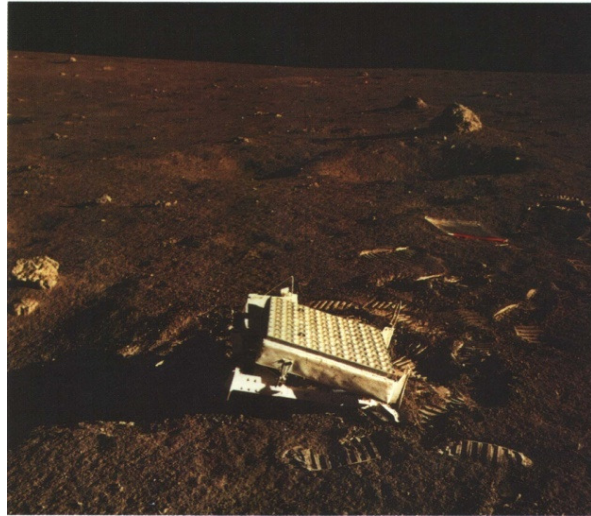


Sorgente di luce: lampada



Energy levels of chromium ions in ruby

le applicazioni



Misura della distanza Terra-Luna con una incertezza di circa 2 cm (1969)

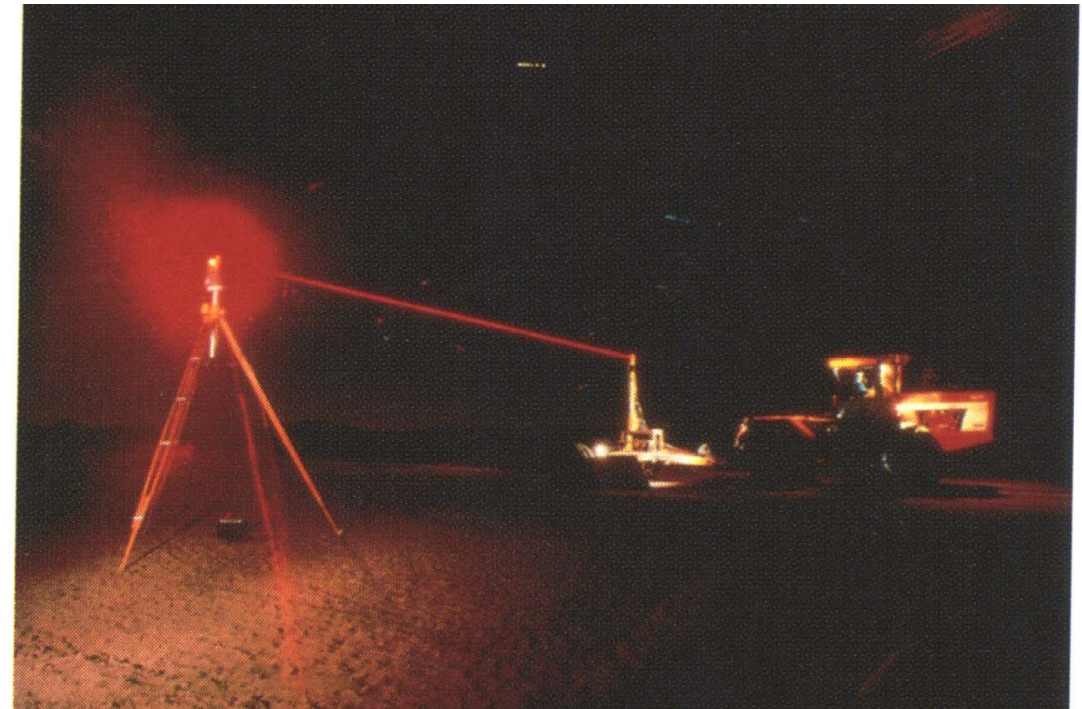
Potenza 1 Gwatt inviata contro uno specchio quadrato di circa 50 cm di lato distante circa 700.000 Km (in andata e in ritorno in circa 2.5 s). Dei circa 10^{20} fotoni inizialmente partiti circa la metà colpisce il retroriflettore e ritorna verso la Terra. Di questi solo un piccolo numero di fotoni viene ricevuto causa lo sparpagliamento del fascio e l'assorbimento atmosferico.

Questi vengono distinti dal rumore luminoso di fondo a causa della monocromaticità

le applicazioni

Laser per controllo di allineamenti

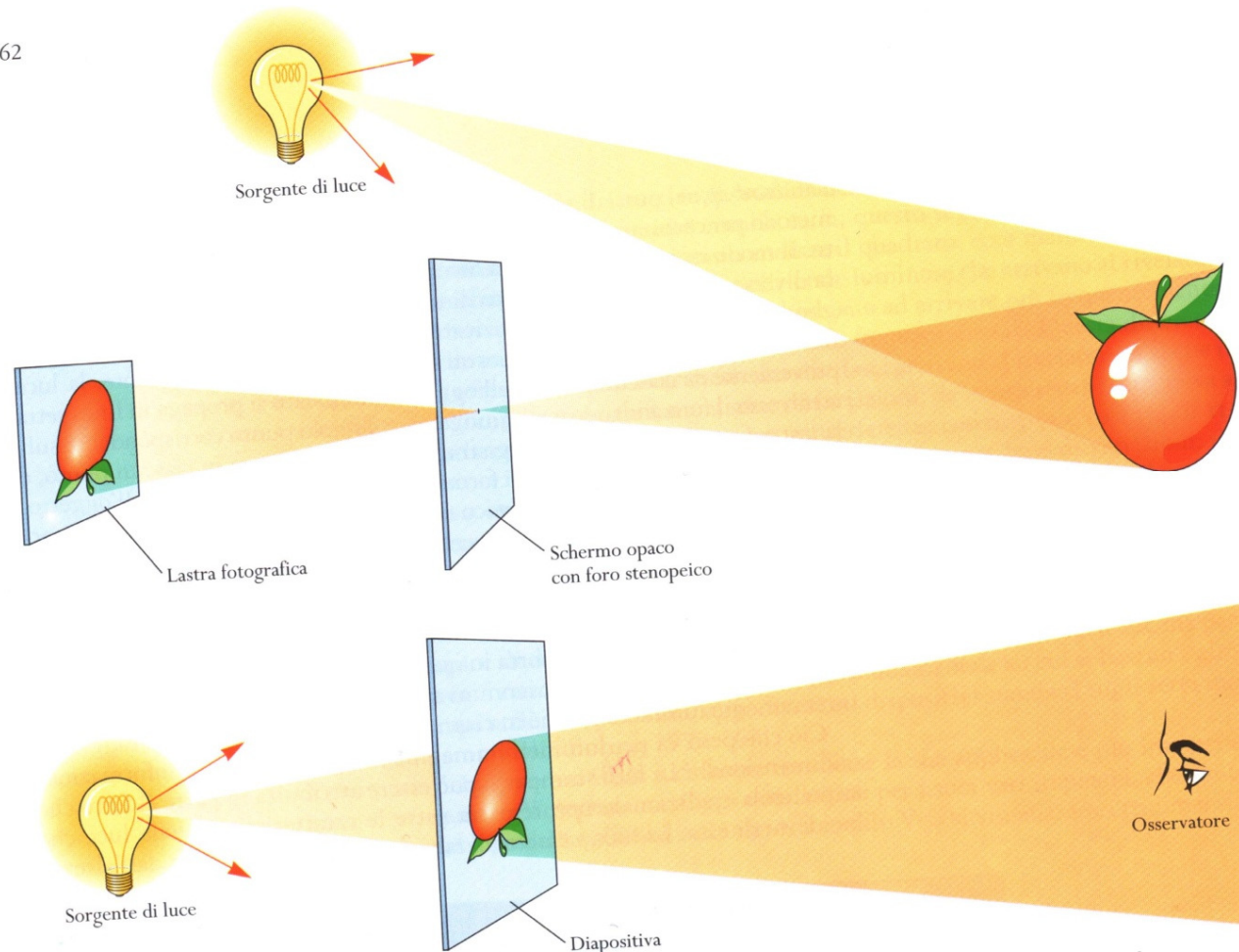
*Il fascio collimato di un laser guida il movimento di un bulldozer.
Il fascio parte da un trasmettitore montato su un treppiede, viaggia in direzione parallela al suolo e viene fatto ruotare di 360 gradi. Durante la rotazione viene captato dal rivelatore che guida la quota precisa del bordo tagliente della cucchiaina del bulldozer*



Laser per produrre immagini tridimensionali (ologrammi)

Formazione di una immagine da macchina fotografica

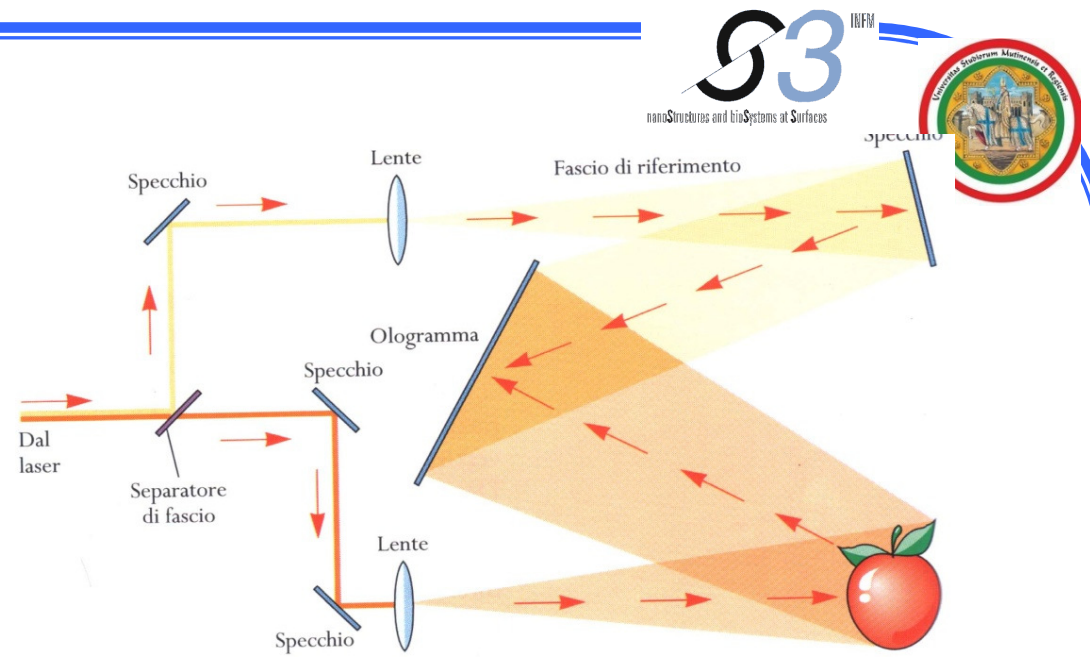
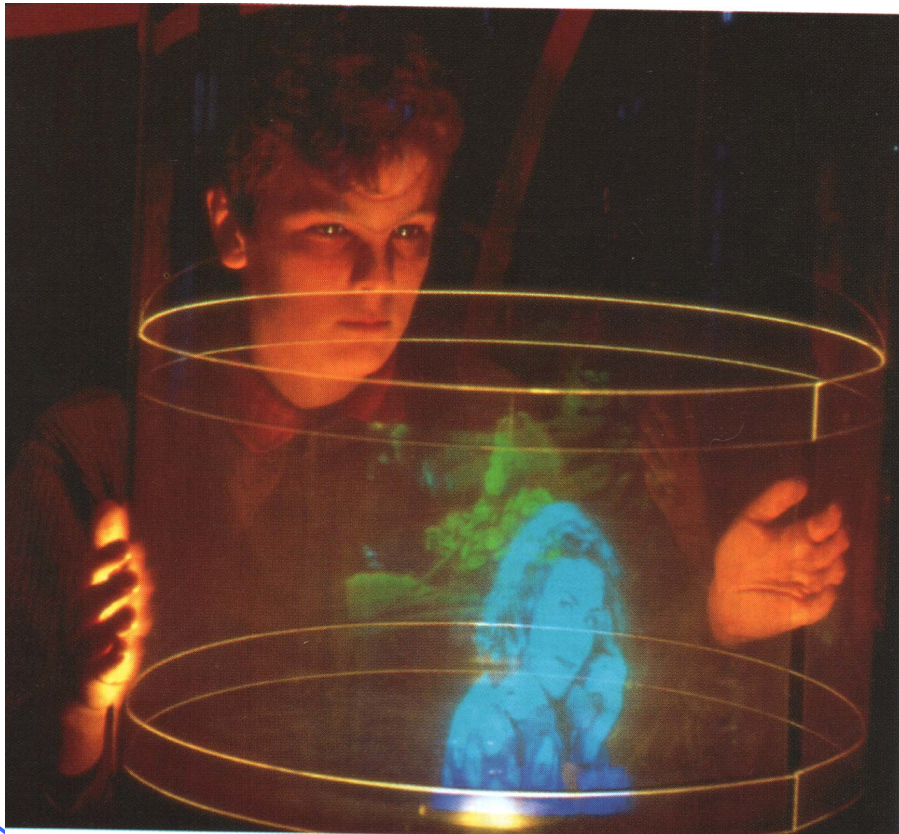
62



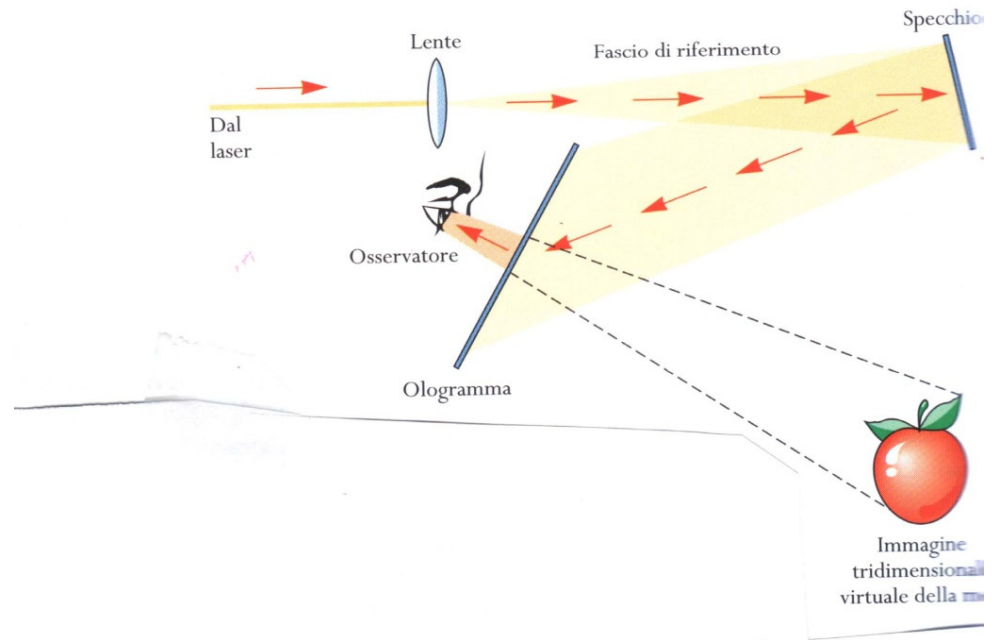


Formazione di un ologramma

La luce diffusa dalla lastra contiene le stesse informazioni che sarebbero state contenute nella luce proveniente dall'oggetto reale passante attraverso la "finestra" occupata dalla lastra



STADIO DI RICOSTRUZIONE





laser a semiconduttore

Laser a gas:

{ da alcuni cm ad alcuni m
 da mW a Mw

non miniaturizzabili
non integrabili

**Laser a
 semiconduttore:**

{ da alcuni μm a qualche nm
 da μW a mW

miniaturizzabili
integrabili
alta efficienza (20,30%)
lunga vita media
rapido tempo di risposta
possibilità di modulazione
semplicità di funzionamento



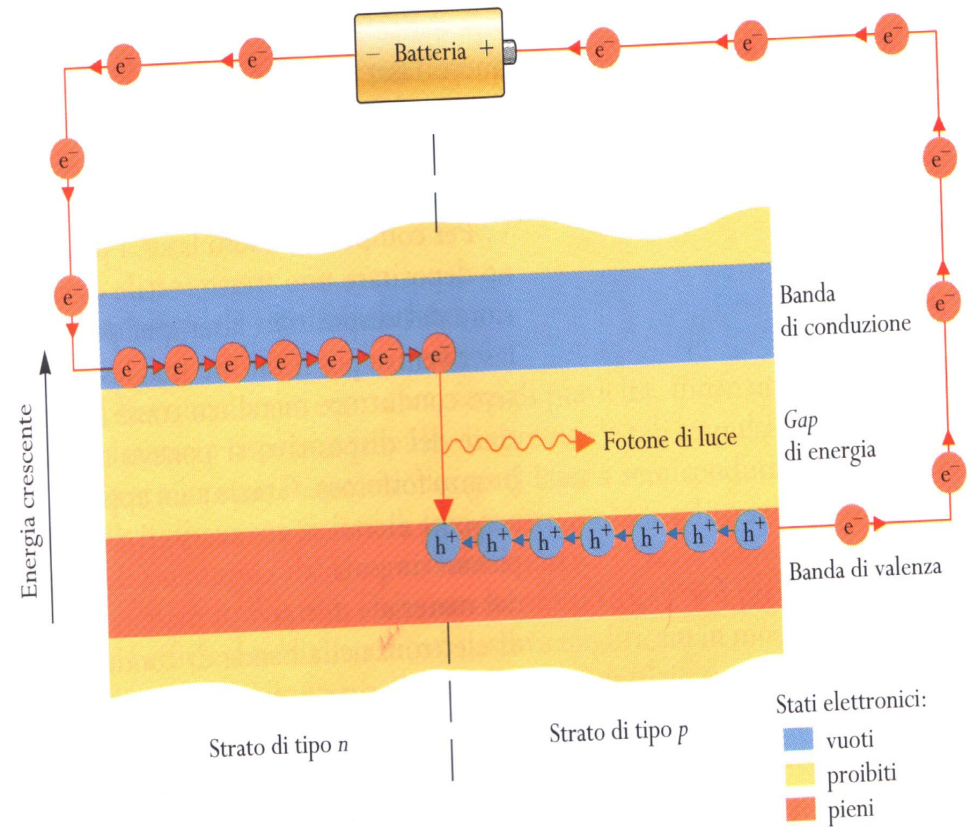
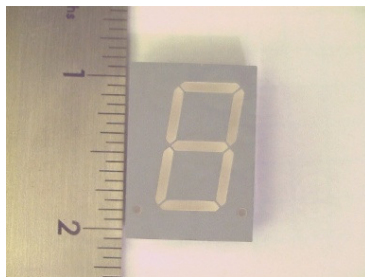
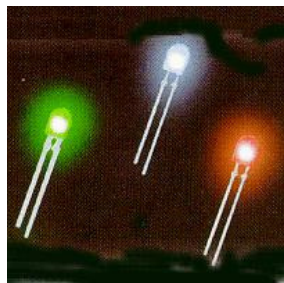
Light Emitting Diode (L.E.D.)

Una giunzione polarizzata in diretta emette luce

III-V GaAs

II-VI HgCdTe ZnSe

Gli elettroni muovendosi dalla zona n alla zona p attraverso l'interfaccia liberano energia con emissione di fotoni





diodo laser

Cosa serve!

- ★ Due facce parallele create per sfaldatura del cristallo funzionano come specchi (30% almeno di luce riflessa)
- ★ Uno strato sottile di metallo ($10, 20\mu m$) per polarizzare la giunzione
- ★ Densità di elettroni e lacune abbastanza alta e/o perdite di luce abbastanza basse per avere effetto laser

Laser pulsato a temp. ambiente

Alte correnti (10A)

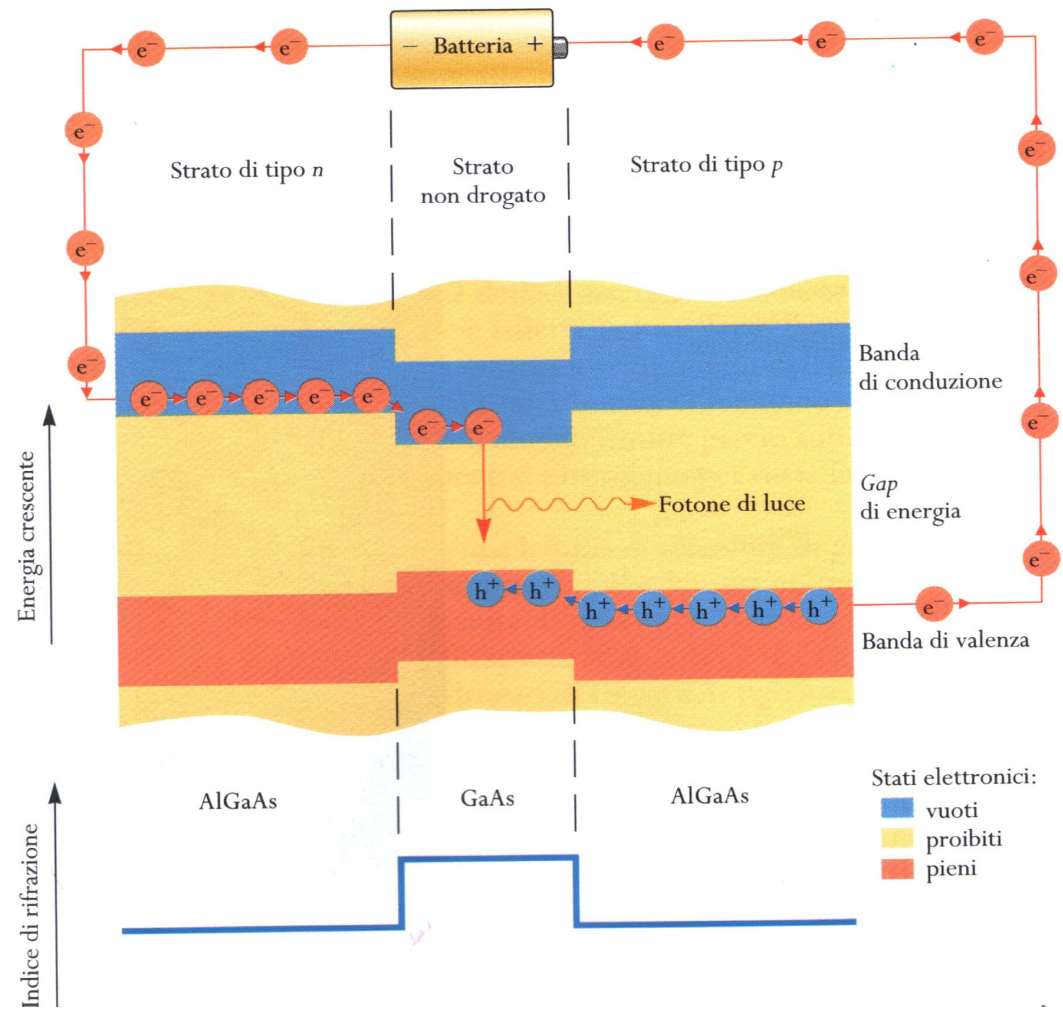
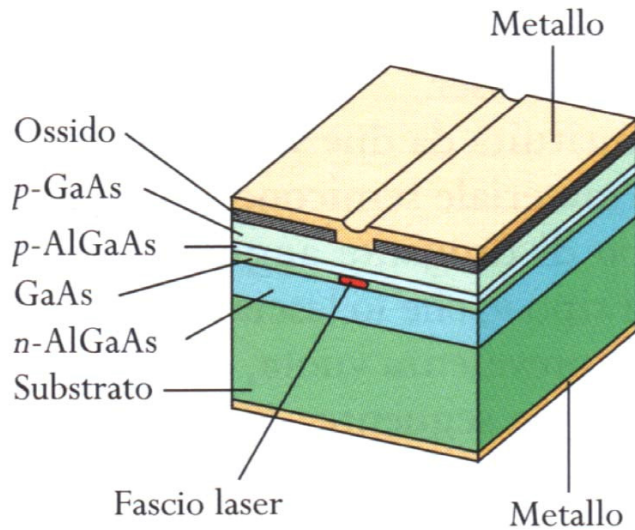
Zone attive troppo grandi
($1\mu m$)



laser a doppia eterostruttura

Migliore confinamento di elettroni, lacune e fotoni

Zone attive più piccole
Correnti di soglia più basse (50,60 mA)

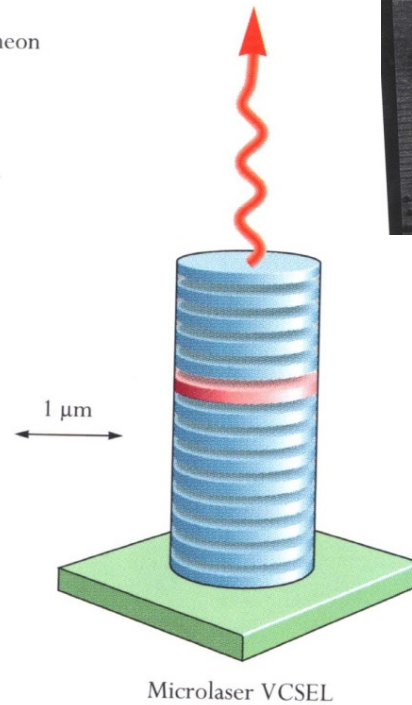
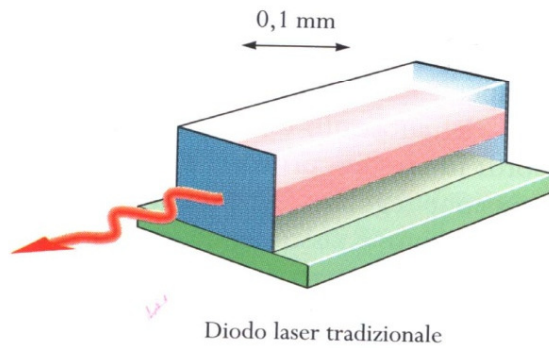
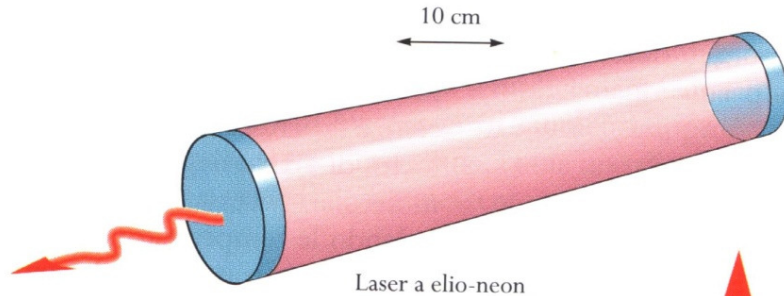




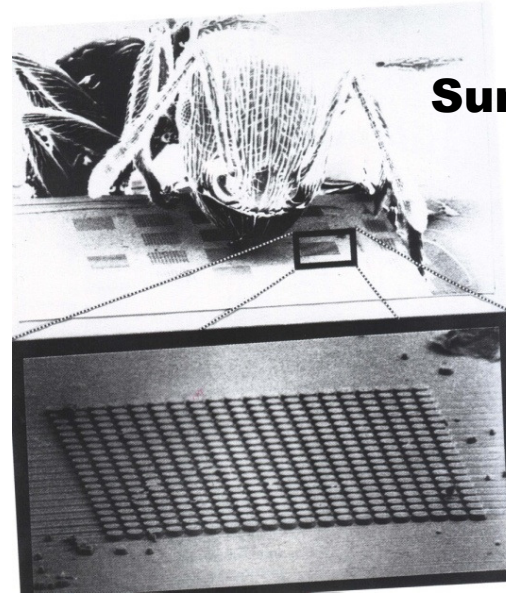
il funzionamento

Laser ancora più piccoli: VCSEL

Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser



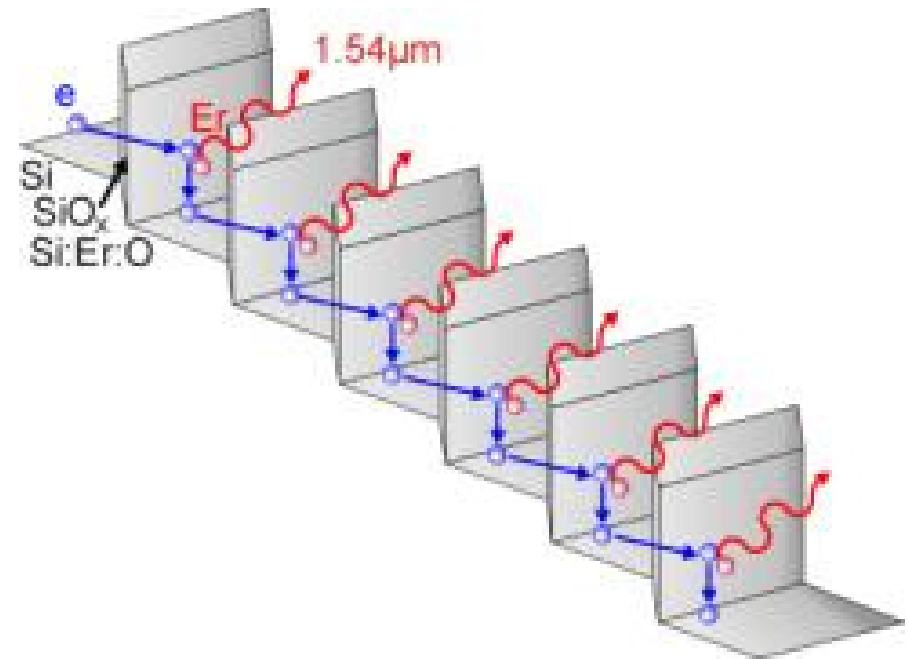
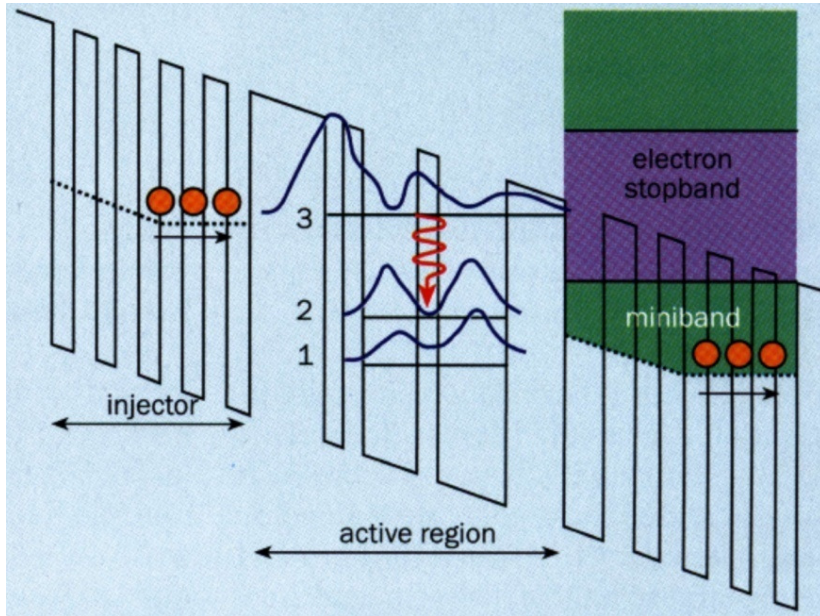
- Specchio
- Mezzo amplificatore
- Emissione di luce
- Wafer di substrato





il funzionamento

laser a cascata quantica



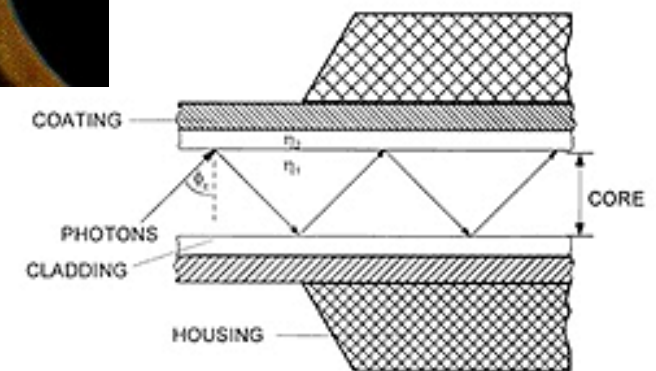
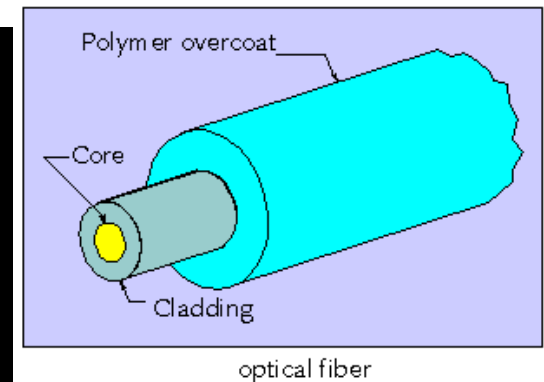
le applicazioni

Telecomunicazioni su fibra ottica

Usando come componenti primari laser, fotorivelatori e fibre ottiche si riesce a sfruttare la luce per trasmettere dati, immagini e suoni alla massima velocità

Le informazioni vengono codificate in forma digitale e inviate tramite un laser su

fibra ottica



Nucleo quarzo trasparente $7\mu m$

Mantello di quarzo con indice di rifrazione maggiore

Mantello protettivo di plastica

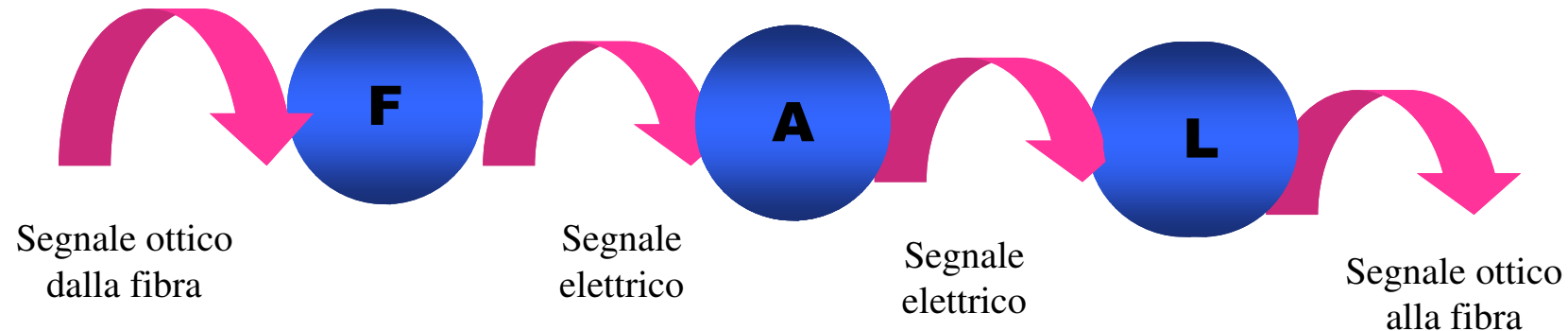
Spessore $120\mu m$

Lunghezza da qualche Km fino a 200 km



Ripetitori usati nei sistemi a fibra ottica

Un fotorivelatore, un amplificatore elettronico e un laser



Amplificatori ottici basati su fibre ottiche drogata con erbio (1550 nm)

**Velocità di trasmissione 50 Mbits/s standard
(fino a 1Gbit/s)**

Un'enciclopedia standard in 20 volumi richiede 1 Gbit per il testo e 1 Gbit per le immagini

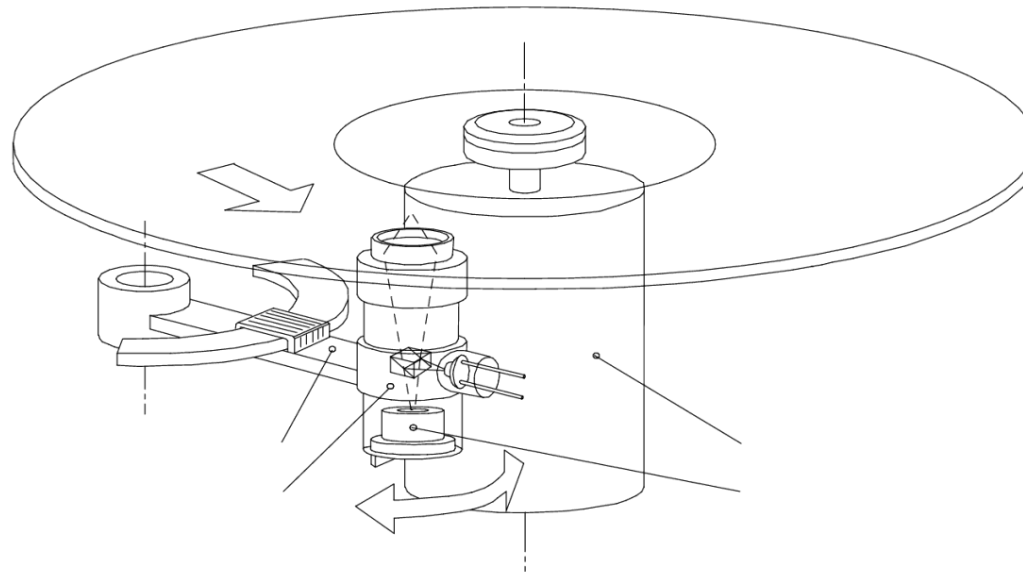
Si scarica in qualche s!!!



I cavi sottomarini per telecomunicazioni su fibra ottica richiedono l'inserimento ogni 50 ÷ 100 km di dispositivi, noti come ripetitori, che aumentano l'intensità dei segnali, costituiti da impulsi di luce, compensandone l'inevitabile attenuazione. I nuovi ripetitori, come quello mostrato nella figura, fanno passare gli impulsi di luce attraverso un tratto di fibra ottica drogata con atomi di erbio innalzati a uno stato eccitato. Quando vengono fatti saltare in orbitali più bassi dall'impulso attenuato incidente, gli elettroni di questi atomi liberano fotoni che ne aumentano l'intensità. Si tratta di un processo assai simile all'amplificazione per emissione stimolata su cui si basa il funzionamento di tutti i laser.

Lettores di CD

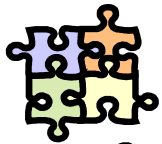
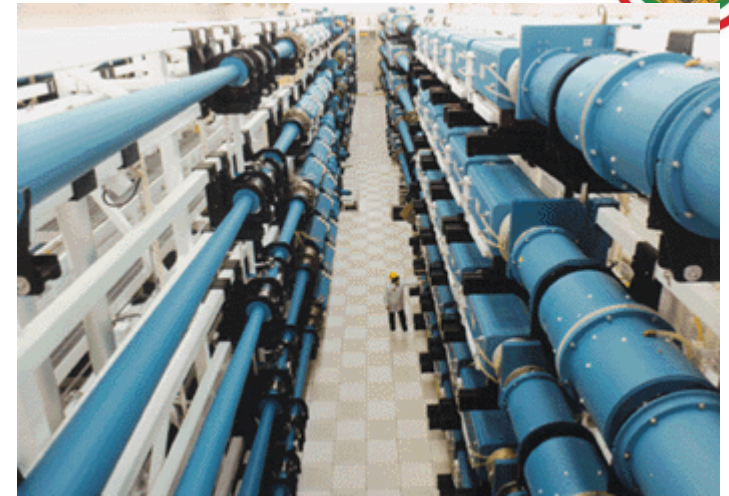
Un sistema di comunicazioni ottiche miniaturizzato legge in CD inviando il fascio di un laser a semiconduttore sul disco rotante e ricevendo gli impulsi di luce riflessi dalle impronte via via illuminate dal fascio



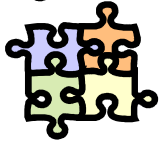


il futuro

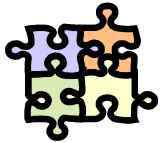
Le frontiere dei laser



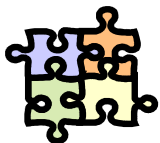
Impulsi ultrabrevi (<100 fs)



Maggiori potenze (laser NOVA 1TW per 1 ns)

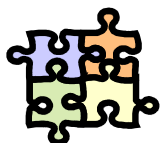


Miniaturizzazione più spinta (nel visibile siamo al limite)



Estensione dell'effetto laser a nuove regioni dello spettro e.m. (ir,uv, X)

Microlitografia su scala submicrometrica,
rimodellamento del cristallino, scudo stellare



Fotonica e computer ottico (elaboraz. ultraveloce dell'informazione, visualizzatori 3D...)

Lecture

Per saperne di più.....

Laser: la luce estratta dagli atomi

J. P. Harbison, R.E. Nahory

Zanichelli

Ottica, laser e applicazioni

R. Bruzzese

Liguori

Storia del Laser

M. Bertolotti

Boringhieri

Optoelettronica, ottica fotonica e laser

A. Cutolo

Mc Graw Hill