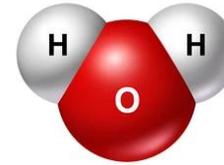


# ELETTRA, LE SORGENTE DI LUCE PRESSO ELETTRA SINCROTRONE TRIESTE

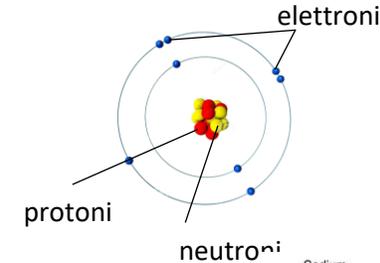
Marco Zangrando

# DALLE ALTRE VOLTE...

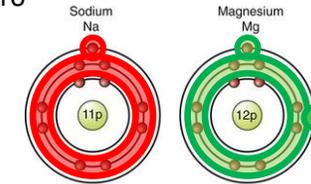
**MOLECOLA:** LA PIÙ PICCOLA QUANTITÀ DI MATERIA CHE POSSIEDA LE PROPRIETÀ CARATTERISTICHE DELLA SOSTANZA CONSIDERATA



**ATOMO:** LA PARTE PIÙ PICCOLA DI CIASCUN ELEMENTO, CHE RIMANE INALTERATA NELLE REAZIONI CHIMICHE



LE PROPRIETÀ CHIMICHE DEGLI ELEMENTI DIPENDONO DALLA LORO **CONFIGURAZIONE ELETTRONICA** (ESTERNA)

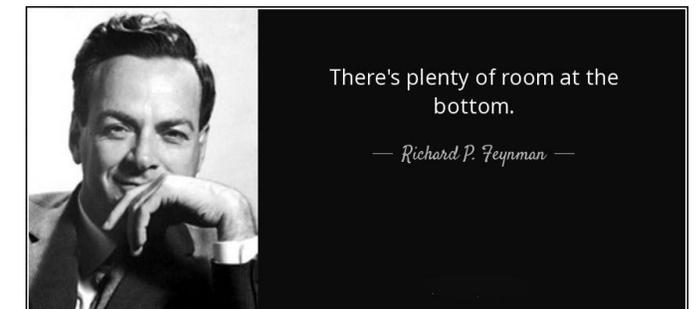


LA **CONFIGURAZIONE ELETTRONICA** DI OGNI ELEMENTO NEL SUO STATO "NORMALE" È UNICA E CARATTERISTICA DELL'ELEMENTO STESSO



**NUMERO ATOMICO:** NUMERO DI PROTONI NEL NUCLEO

**NUMERO DI MASSA:** SOMMA DEI PROTONI E DEI NEUTRONI NEL NUCLEO





Perché non le  
vediamo (*le  
molecole*) ad  
occhio nudo?



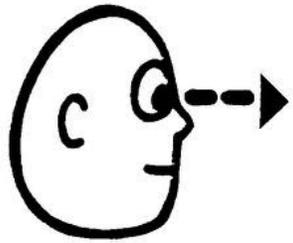
Perché non li  
vediamo (*gli  
atomi*) ad  
occhio nudo?

## COME VEDERE GLI ATOMI?

# COME FACCIAMO A VEDERE GLI ATOMI?

## Mi serve una SONDA!

Voglio **VEDERE** qualcosa → il candidato naturale (come sonda) è la **LUCE**

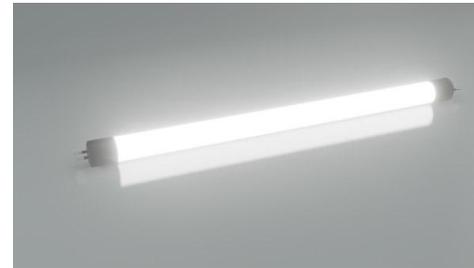
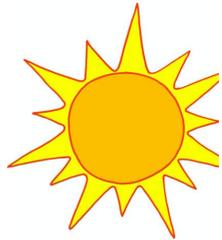


OK, sembra ragionevole, ma...

Che tipo di luce?

Ci sono molte sorgenti di luce differenti:

Il Sole, una candela, una lampadina, un tubo neon, un laser, ecc.



## Ma, innanzitutto: cos'è la luce ???

# LUCE: ONDA/PARTICELLA

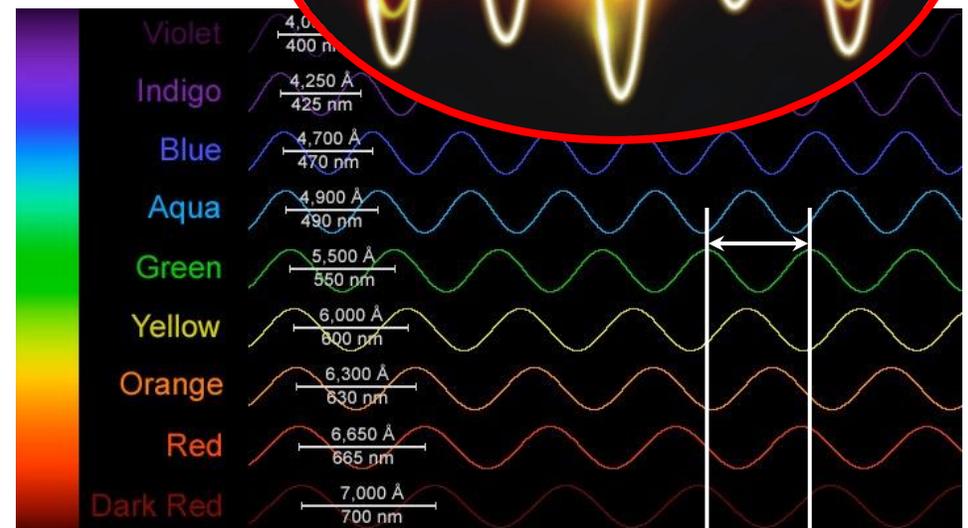
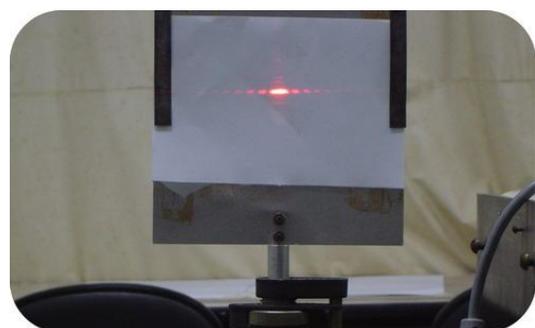
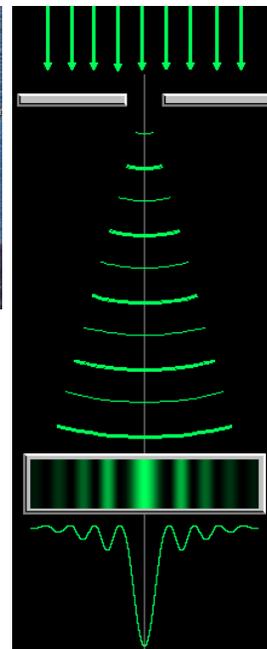
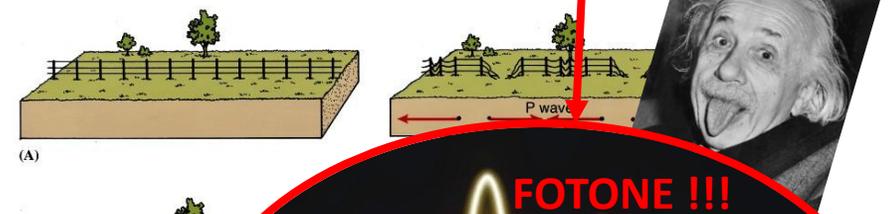
La luce è un onda elettromagnetica (ma mostra anche dei comportamenti da **particella**)



Acqua



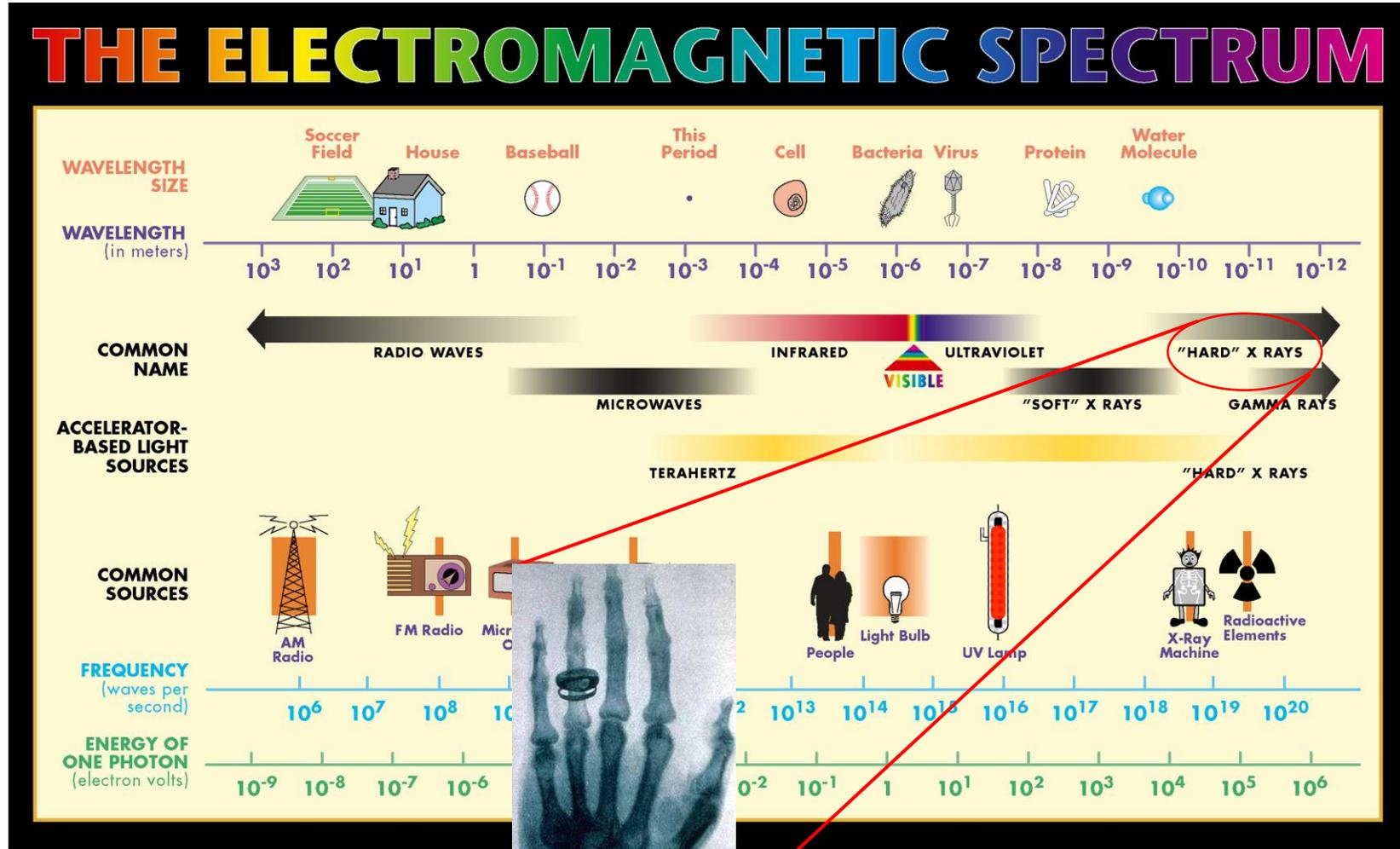
Folla



Lunghezza d'onda

# LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO

Alla fine, la luce è solo una parte di una famiglia più grande che include anche dei parenti “non così simili a lei”...



*Radiografia della mano della moglie di Albert von Kölliker ottenuta dal Sig. Röntgen*

NB: solo per la luce visibile, la lunghezza d'onda è il colore

# SCEGLIERE LA LUCE “GIUSTA”

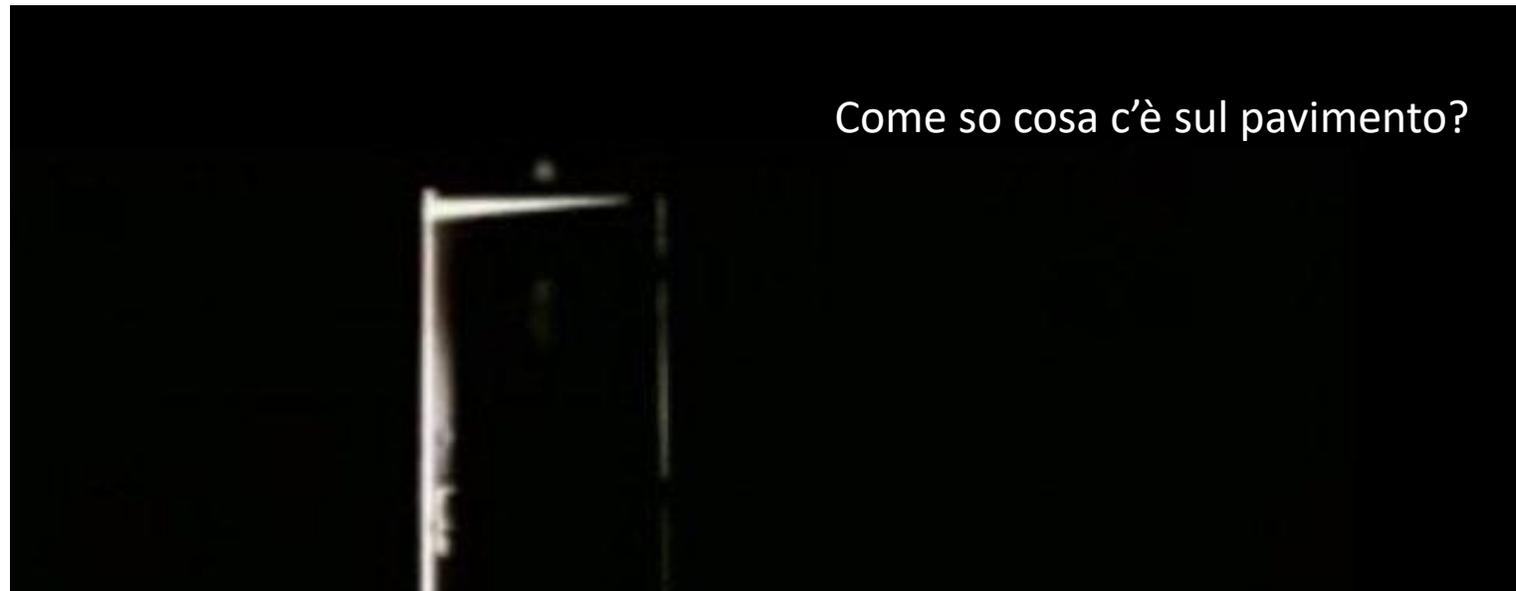
OK, ci sono molte espressioni diverse della stessa famiglia, ma qual'è la “luce” che ci può aiutare a vedere meglio le cose?



Facciamo un esempio/analogia...

# LA STANZA BUIA

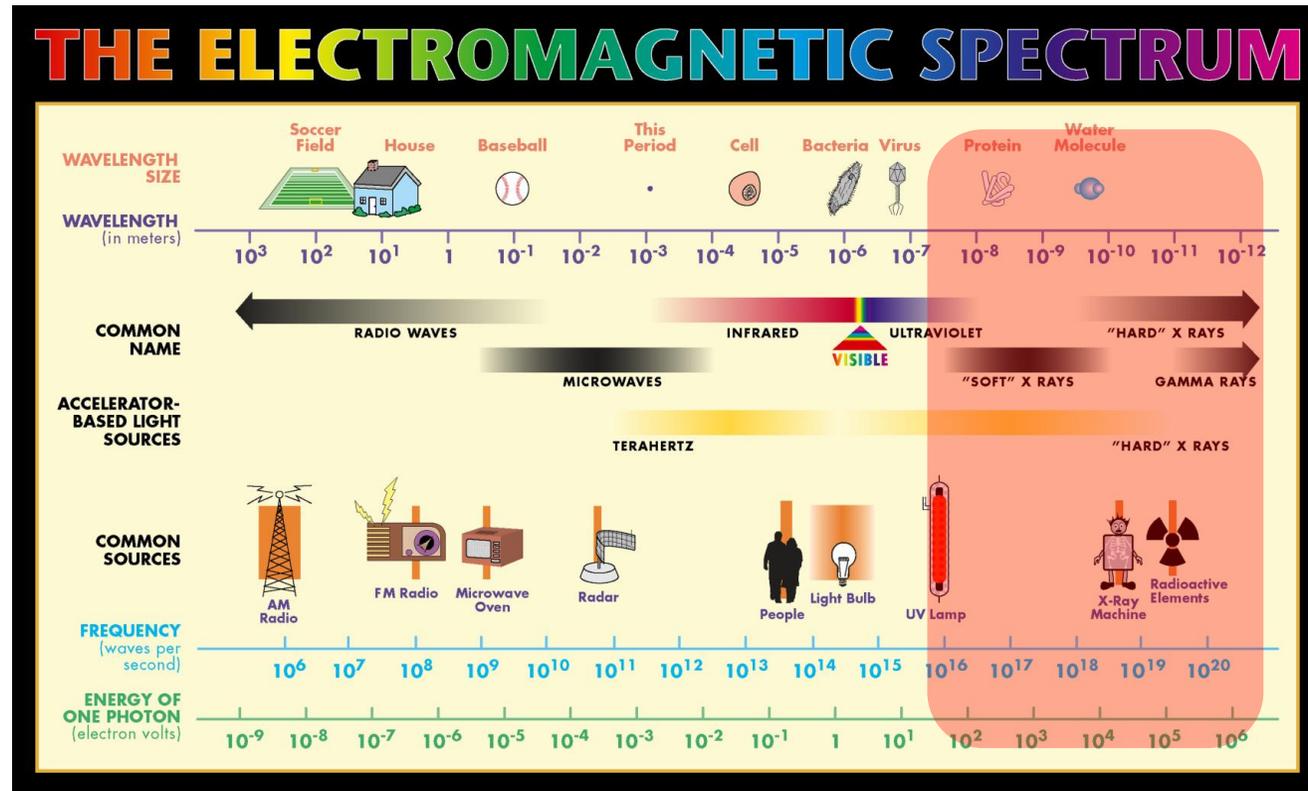
Supponete di entrare in una stanza buia con delle “cose” sul pavimento: palloni da calcio, palle da tennis, bilie di vetro...



# I RAGGI X

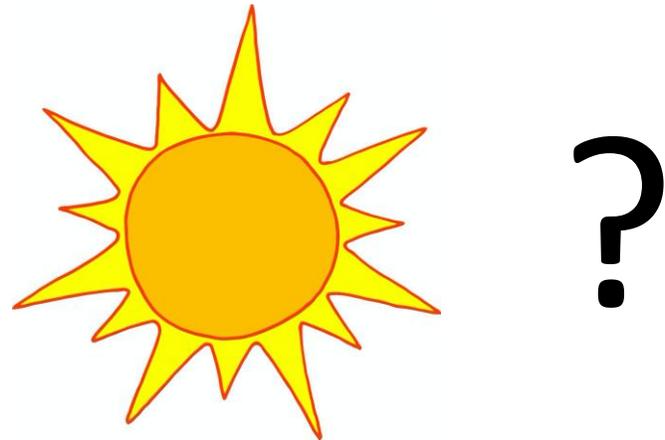
Le dimensioni della sonda devono essere simili a quelle degli oggetti da sondare!

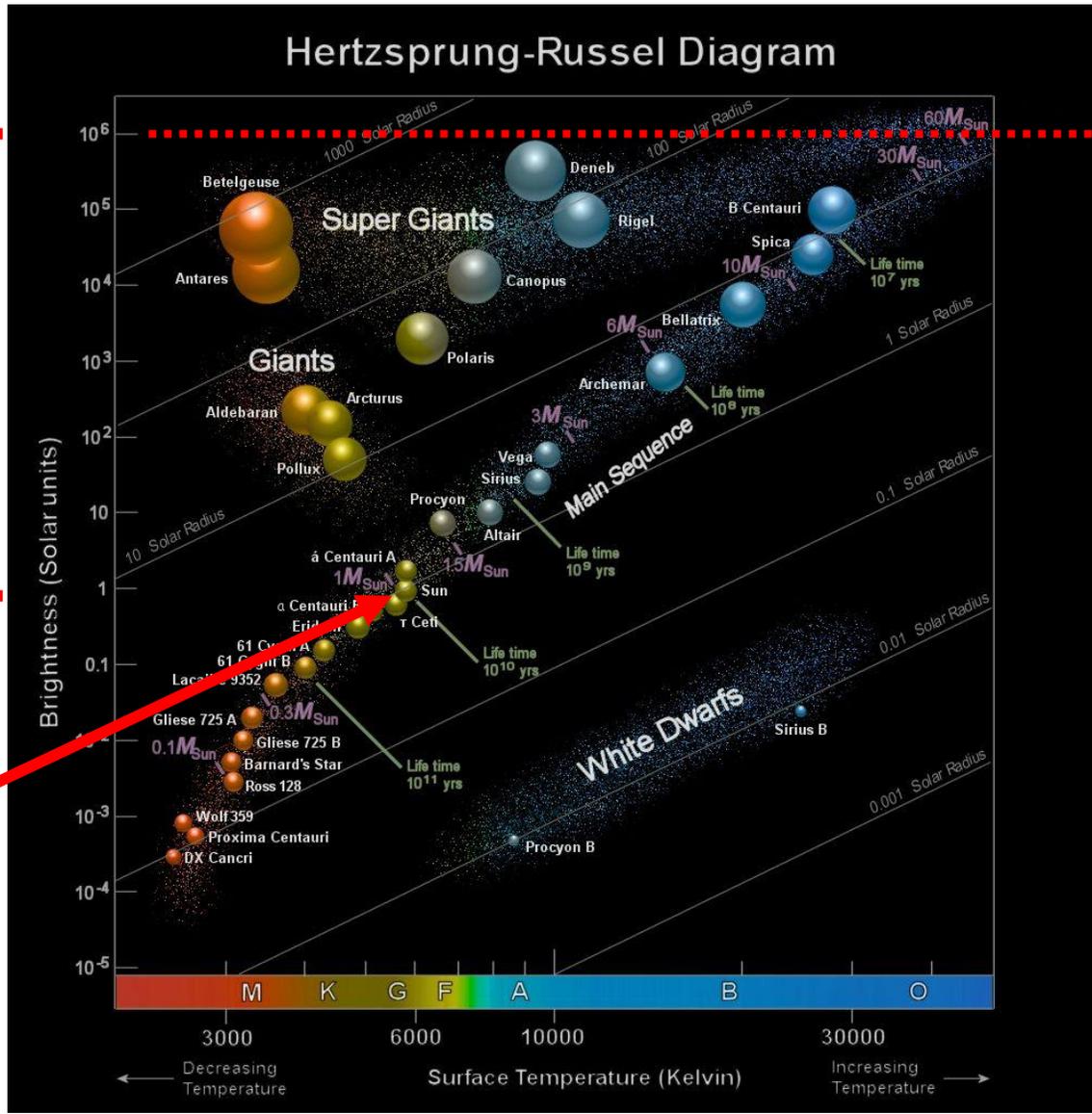
Se paragoniamo il vedere al toccare, allora la lunghezza d'onda rappresenta la dimensione della sonda → se vogliamo "vedere" gli atomi (ma anche le molecole, le proteine, ecc.), allora ci servono i raggi X



Prima di affrontare il modo di generare raggi X c'è un altro punto importante: quanto brillante dev'essere la nostra sorgente di luce?

Qual'è la sorgente di luce più brillante che conoscete?





1.000.000 X

Il Sole è qui

Diciamo che la stella più brillante è circa 1 milione di volte più brillante del Sole

Ma perché è importante avere una sorgente **brillante**?

# LA STANZA BUIA, DI NUOVO

Torniamo alla stanza buia che abbiamo visto prima, e supponiamo che ora voglia sapere cosa c'è dentro (un tavolo, delle sedie, un divano, dei quadri, ecc.)



→ Mi serve una (sorgente di) luce!



Candela



Torcia elettrica



Riflettori



Ci serve una sorgente di luce estremamente  
**brillante** (e "regolabile") che possa generare  
(almeno) **raggi X**

D. Come si può fare?

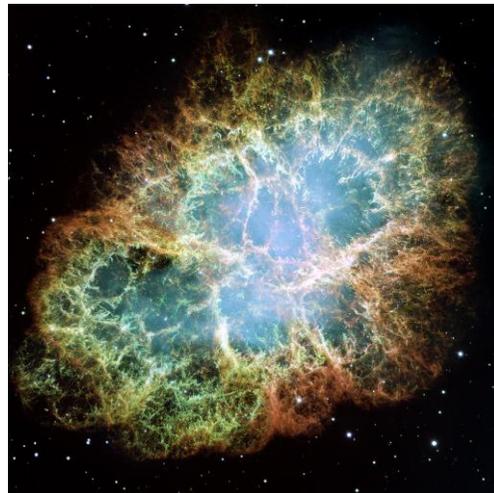
R. Costruendo i **SINCROTRONI** !!!



PS:

D. non c'è luce di  
sincrotrone naturale?

R. Sì ma non utilizzabile

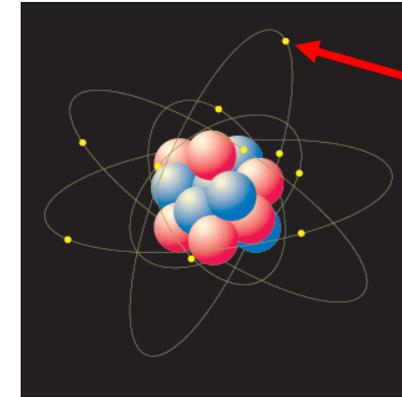


# COSTRUIAMO IL SINCROTRONE

Wikipedia:

Il sincrotrone è un tipo di acceleratore di particelle **circolare e ciclico**, che deriva dal ciclotrone, in cui il fascio di particelle accelerate viaggia lungo una traiettoria circolare chiusa.

Nel nostro caso, le particelle utilizzate sono **ELETTRONI**. Dove posso trovarli?

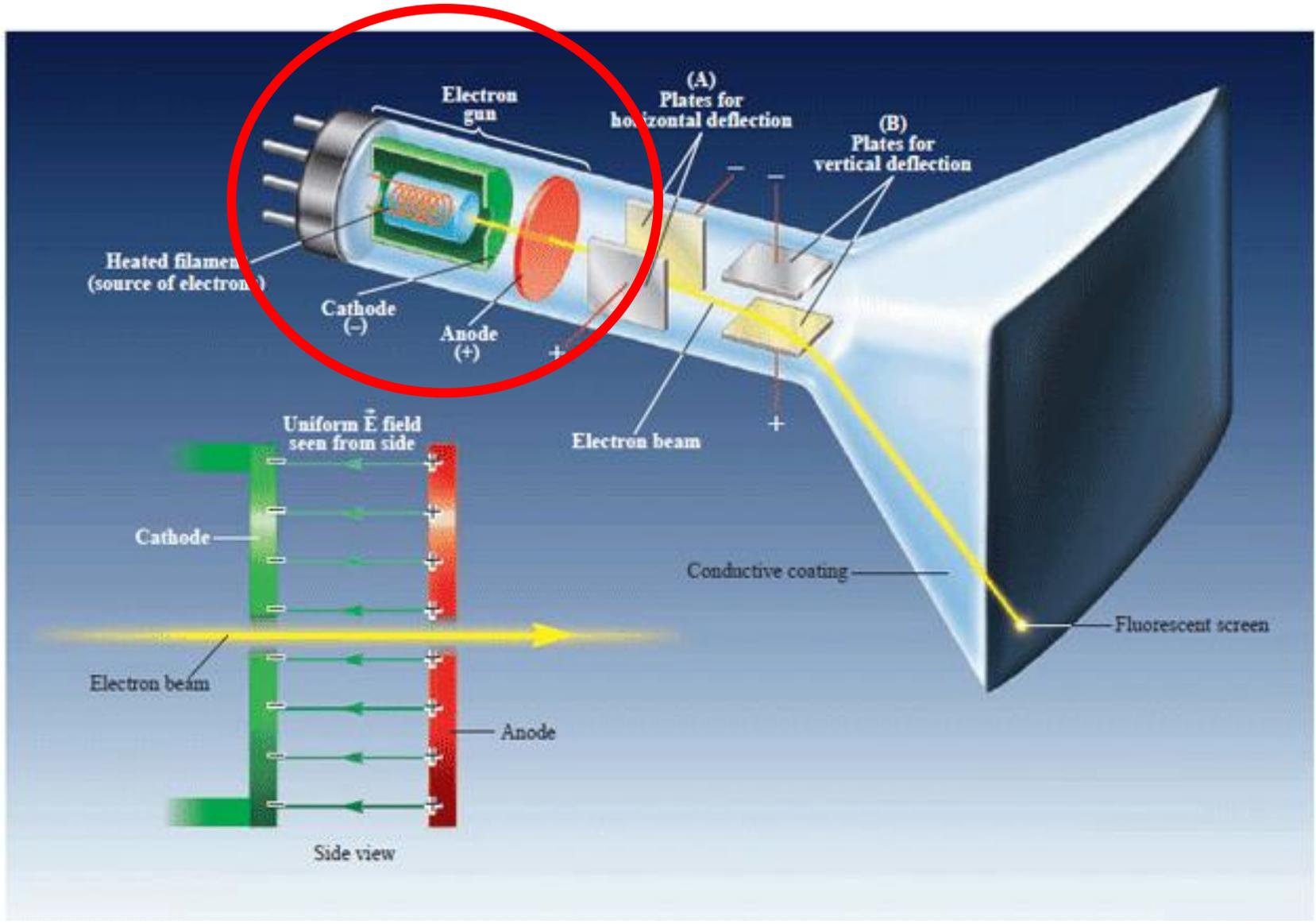


Elettrone!

Ci serve un cannone elettronico!!!!



# CANNONE ELETTRONICO "NOTO"



# LUCE DAGLI ELETTRONI

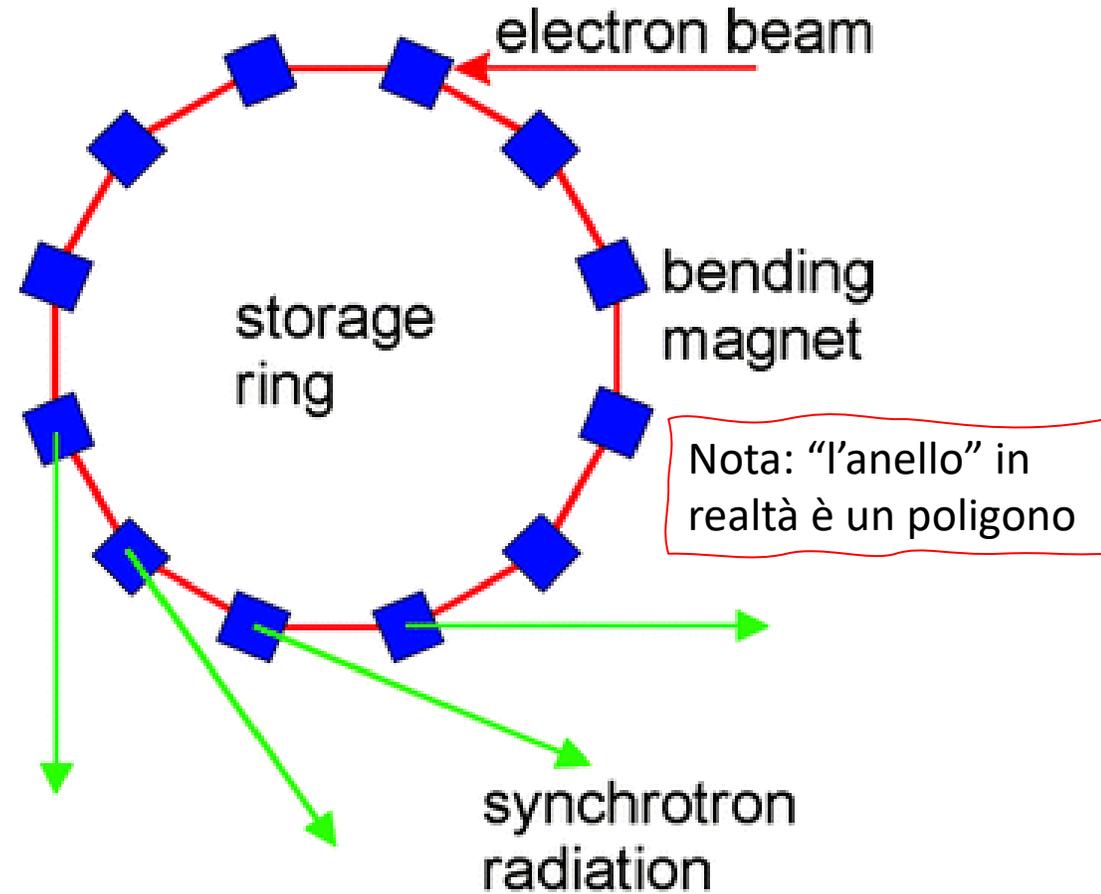
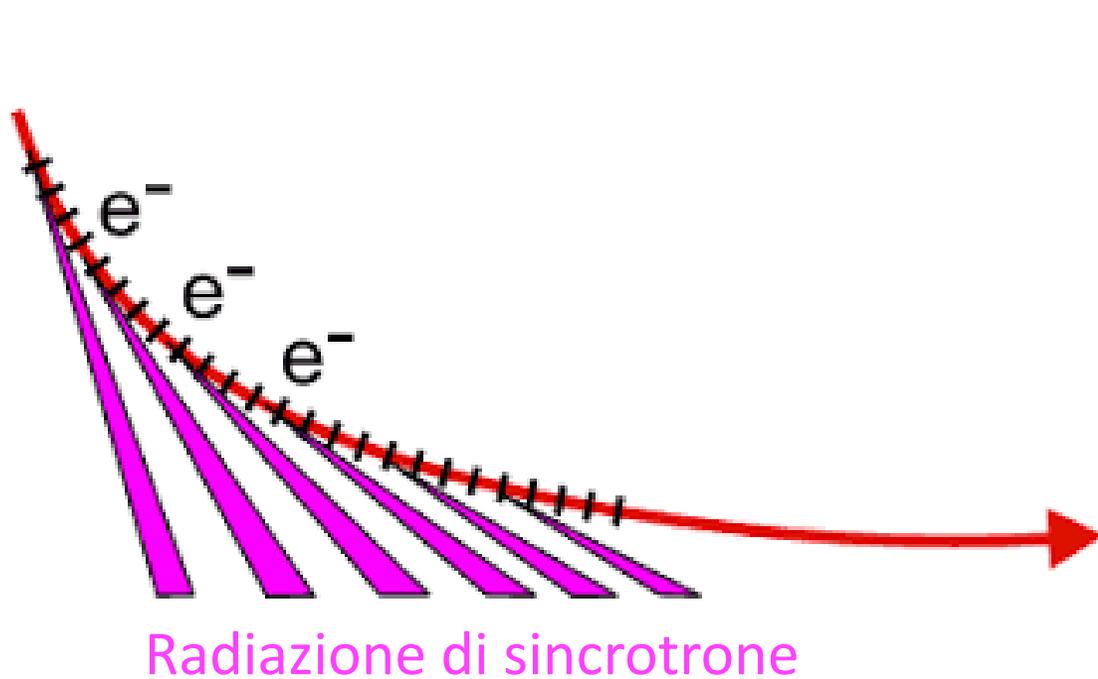
Il trucco per ottenere la luce (cioè la radiazione) da un elettrone consiste nell'accelerarlo

Usiamo un'altra analogia



Accelerazione centripeta!

# DA UNA CURVA A...?



Come curviamo gli elettroni?

Usando campi magnetici generate da **GROSSI** magneti

# MAGNETI



Magneti "ricreativi" (permanenti)

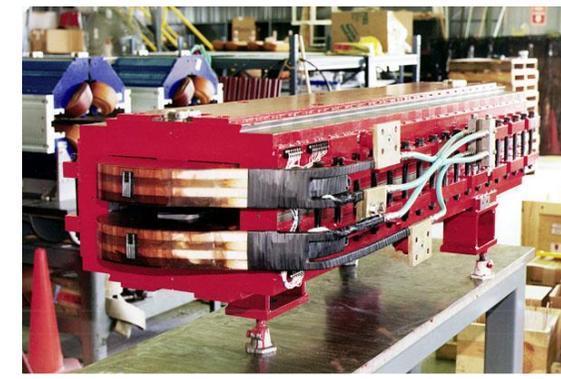
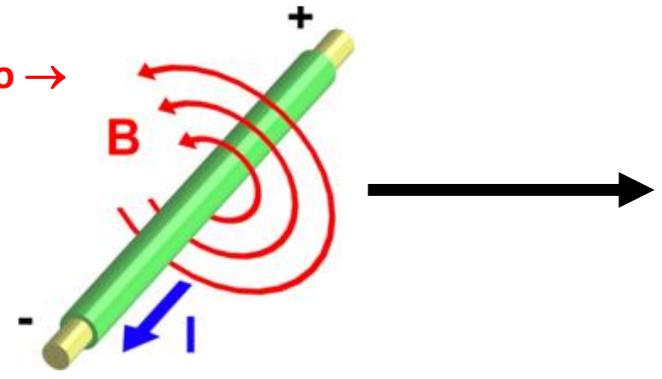


Magneti permanenti → Campo magnetico



Magneti NIB:  $Nd_2Fe_{14}B$   
(un magnete NIB come una moneta può sollevare fino a 9kg.)

Corrente elettrica in un filo → Campo magnetico

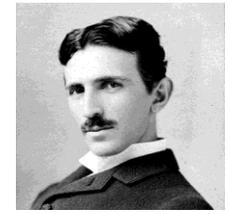


Magnete curvante (elettromagnete)

~ 1 metro

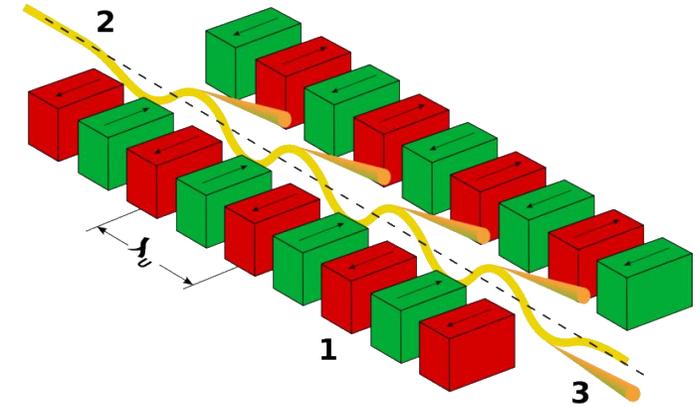
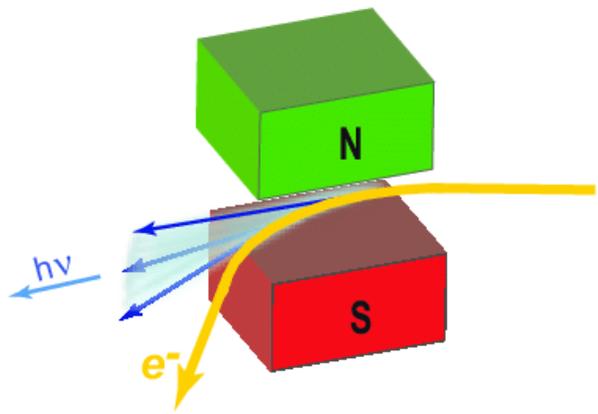
Di che campo magnetico stiamo parlando? ≈ **1.5 Tesla**

- (Barra magnetica) →  $10^{-2}$  T – 0.02 T
- (Campo magnetico della Terra) →  $3.1 \cdot 10^{-5}$  T = 0.000031 T – all'Equatore)
- (Risonanza Magnetica Nucleare) → 7 T)

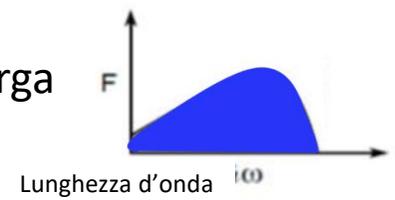


# COMBINAZIONI DI MAGNETI

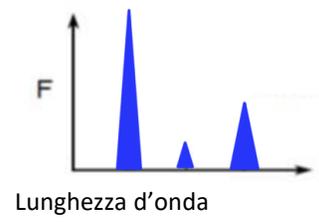
Oltre ai magneti curvanti, tuttavia, c'è un modo più efficiente di generare la luce curvando il fascio di elettroni...



Distribuzione di lunghezze d'onda larga  
Brillanza bassa (flusso basso)



Distribuzione di lunghezze d'onda stretta  
Brillanza elevate (flusso alto)

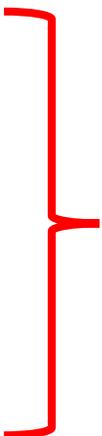
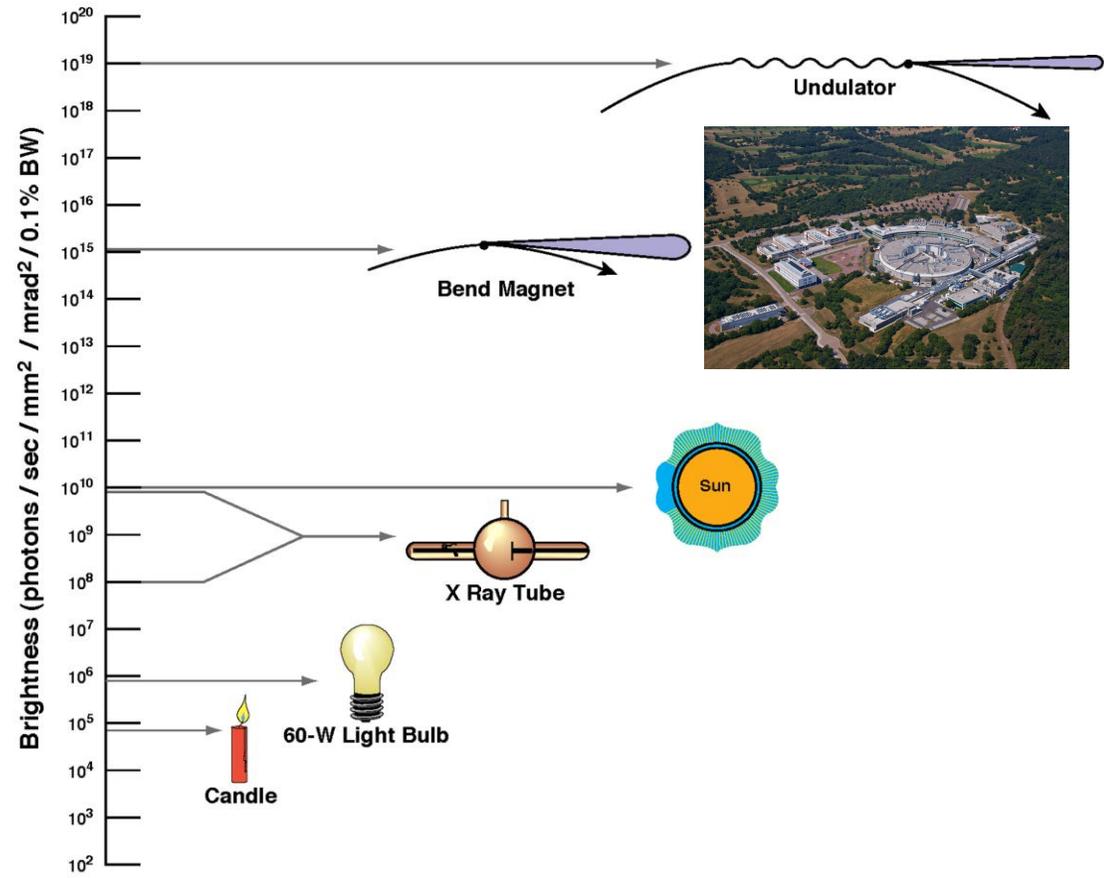


# BRILLANZA

Vi ricordate della brillantezza? Alla fine il Sole era sufficiente per i nostri scopi?

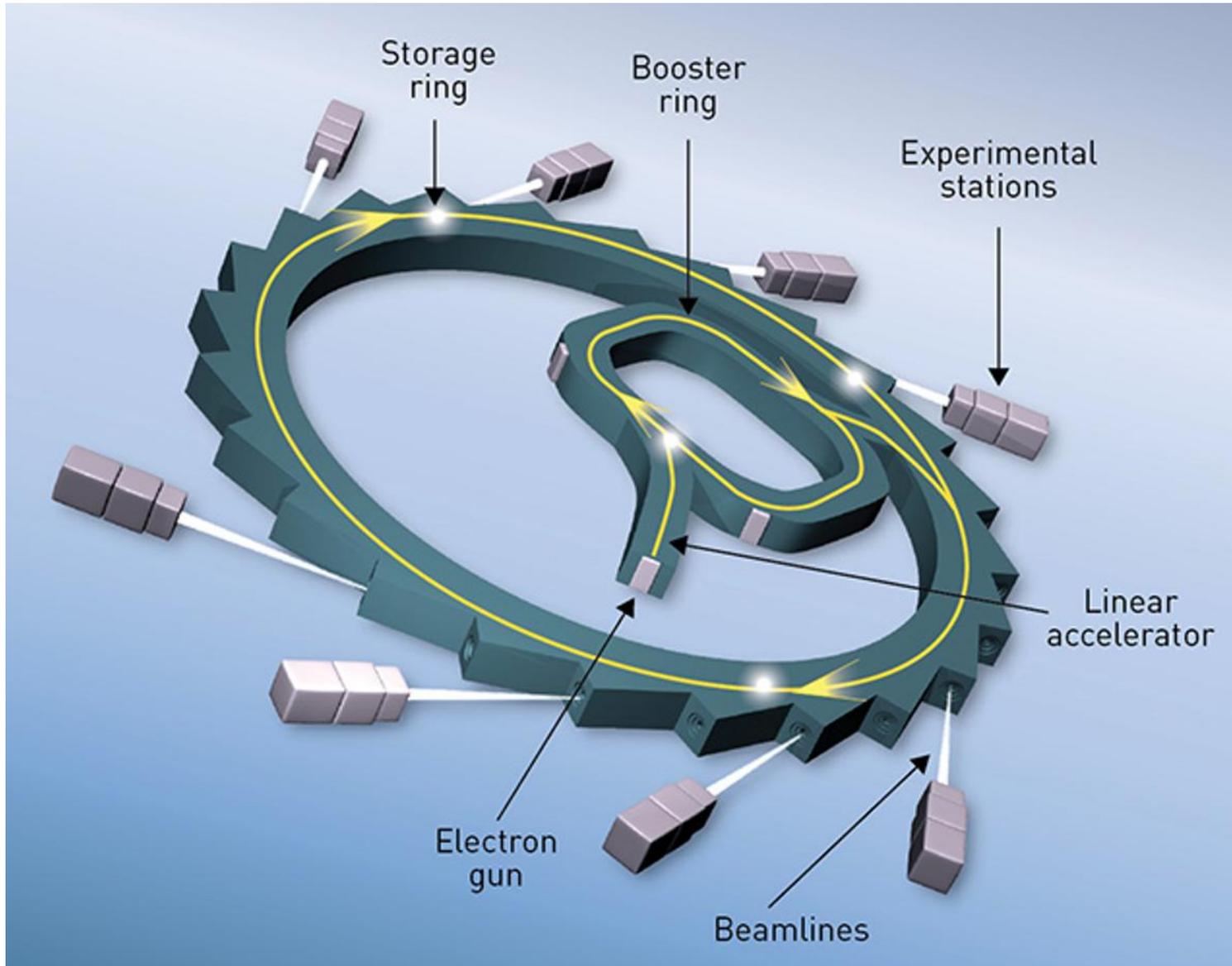
No, il Sole non è brillante abbastanza ed inoltre non genera la radiazione che ci serve (raggi X) → Sincrotroni!

## Quanto brillante è Elettra?



Un Sincrotrone come Elettra è 1.000.000.000 di volte più brillante del Sole!!!

# SCHEMA DI UN SINCROTRONE



CANNONE ELETTRONICO



LINAC



ANELLO BOOSTER



ANELLO DI ACCUMULAZIONE



LINEE DI LUCE

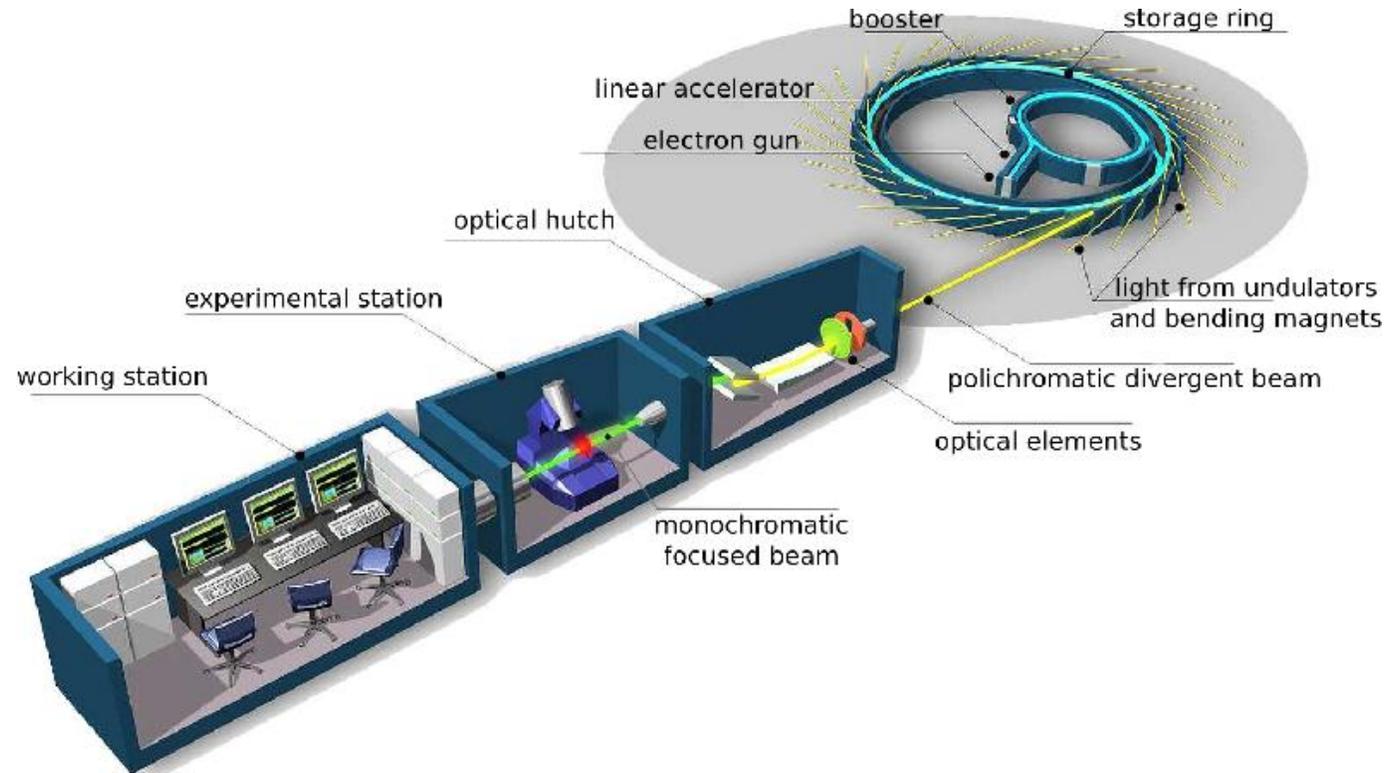


STAZIONI SPERIMENTALI

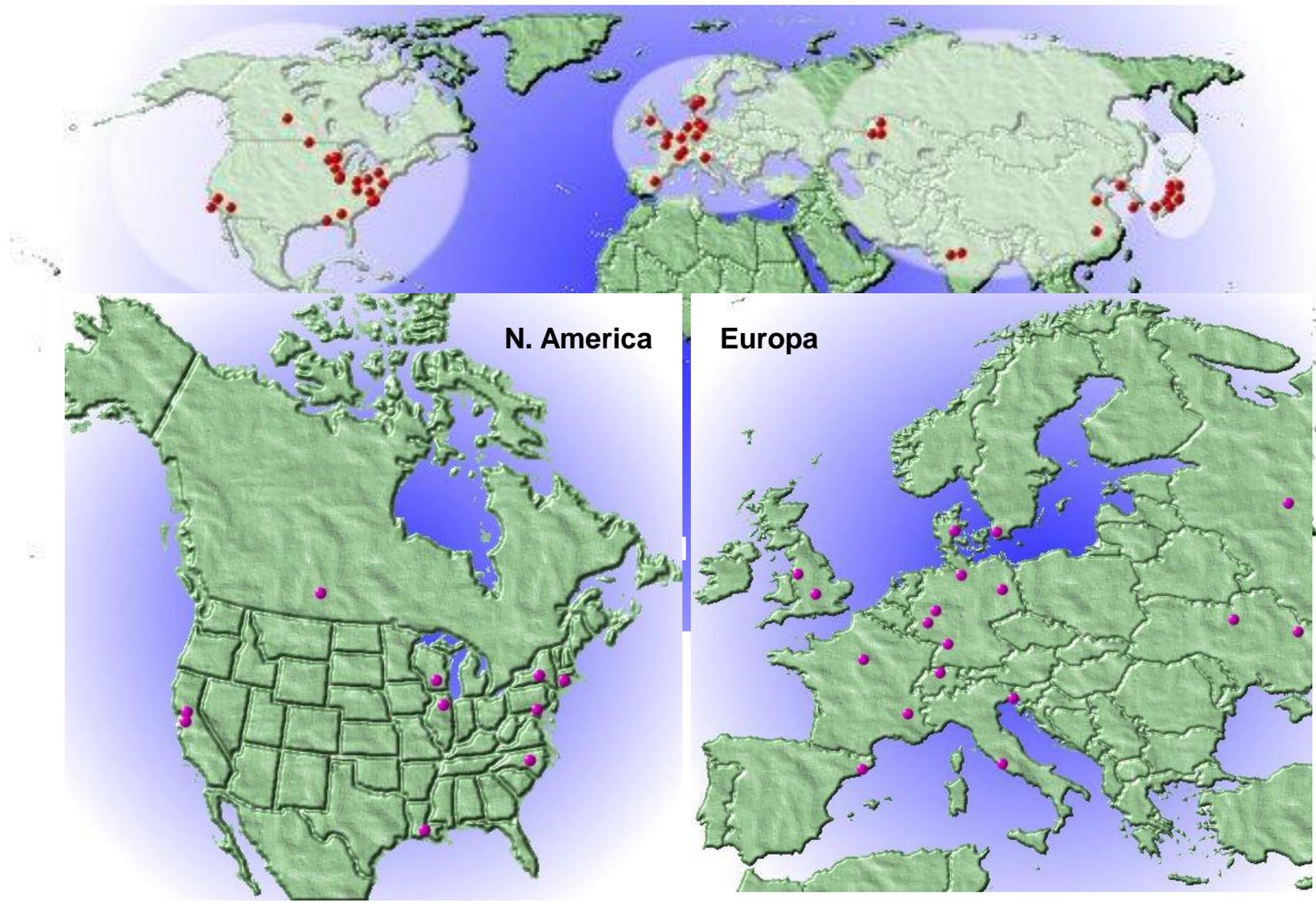
# LINEA DI LUCE

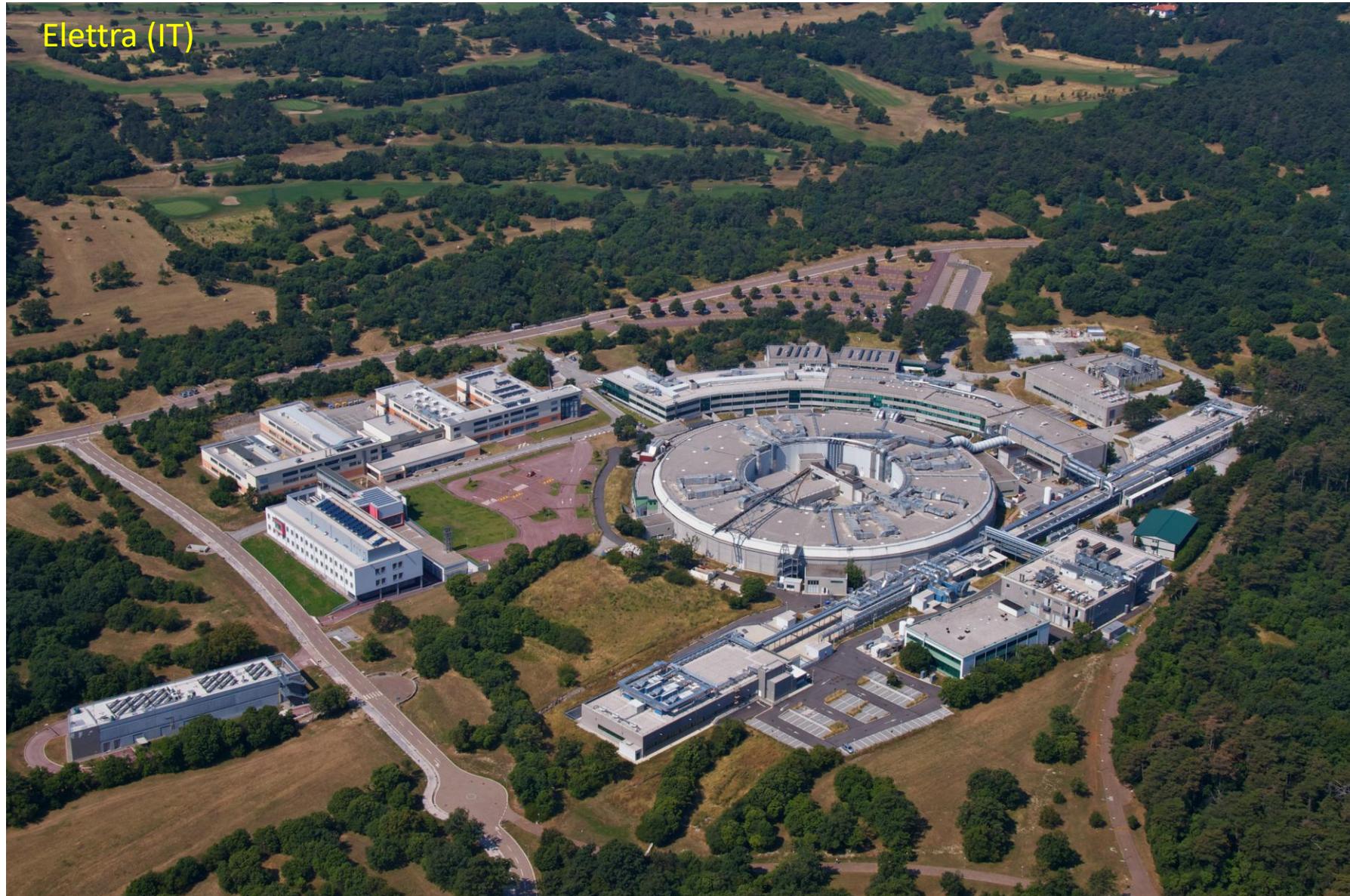
OK, adesso abbiamo la luce; come la mandiamo agli esperimenti?

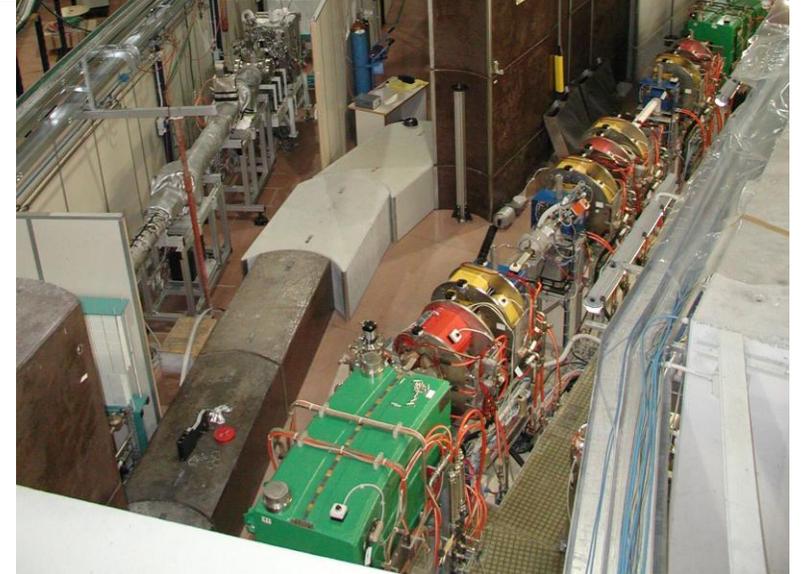
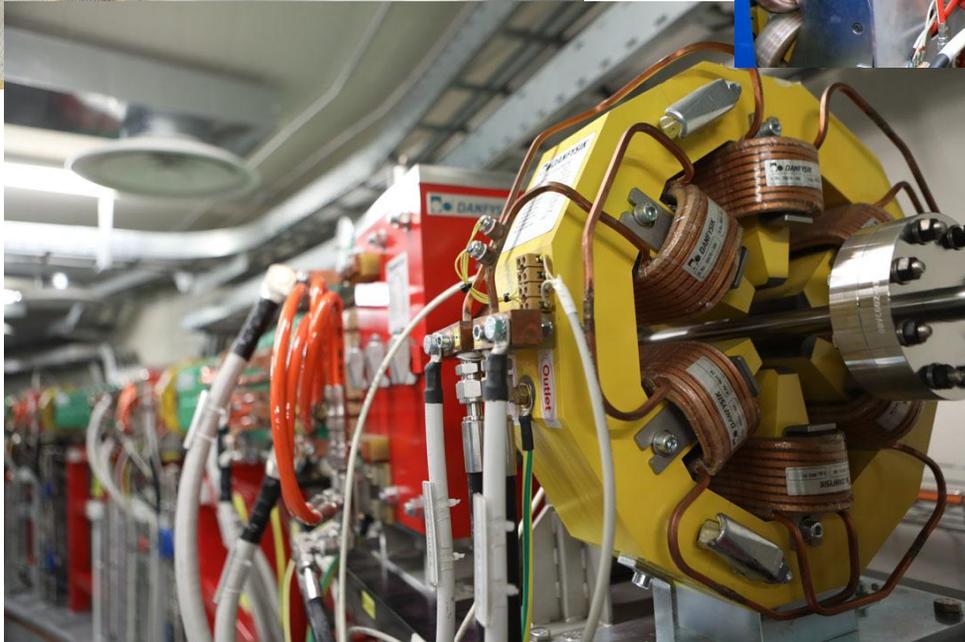
Ci serve una **BEAMLINE (LINEA DI LUCE)**: sistema ottico fatto da specchi, reticoli, fenditure, ecc.

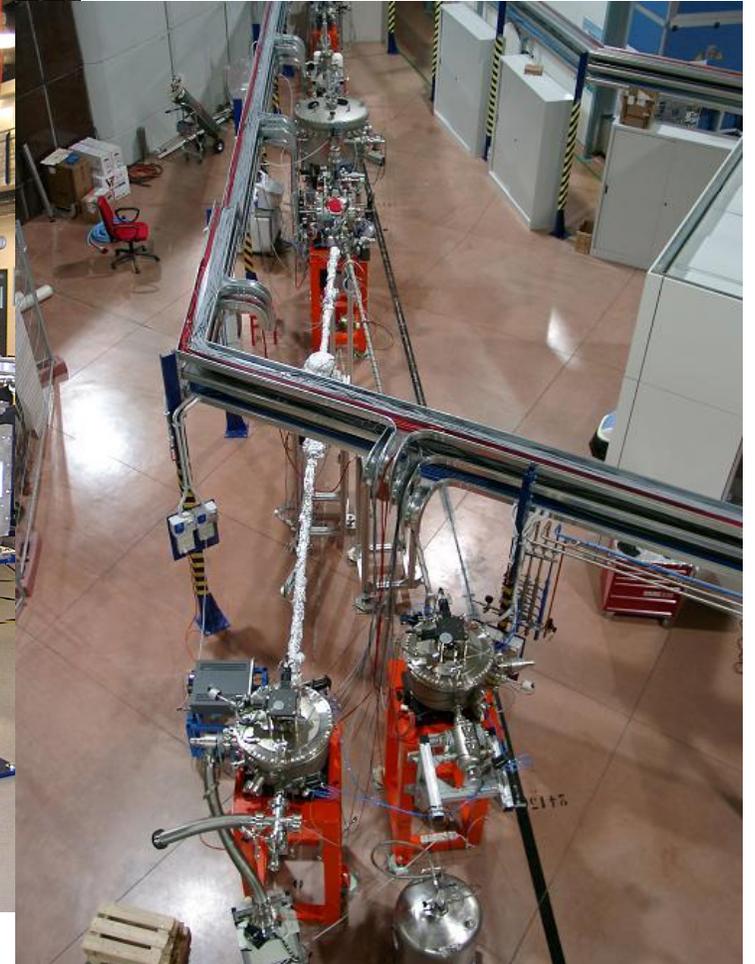
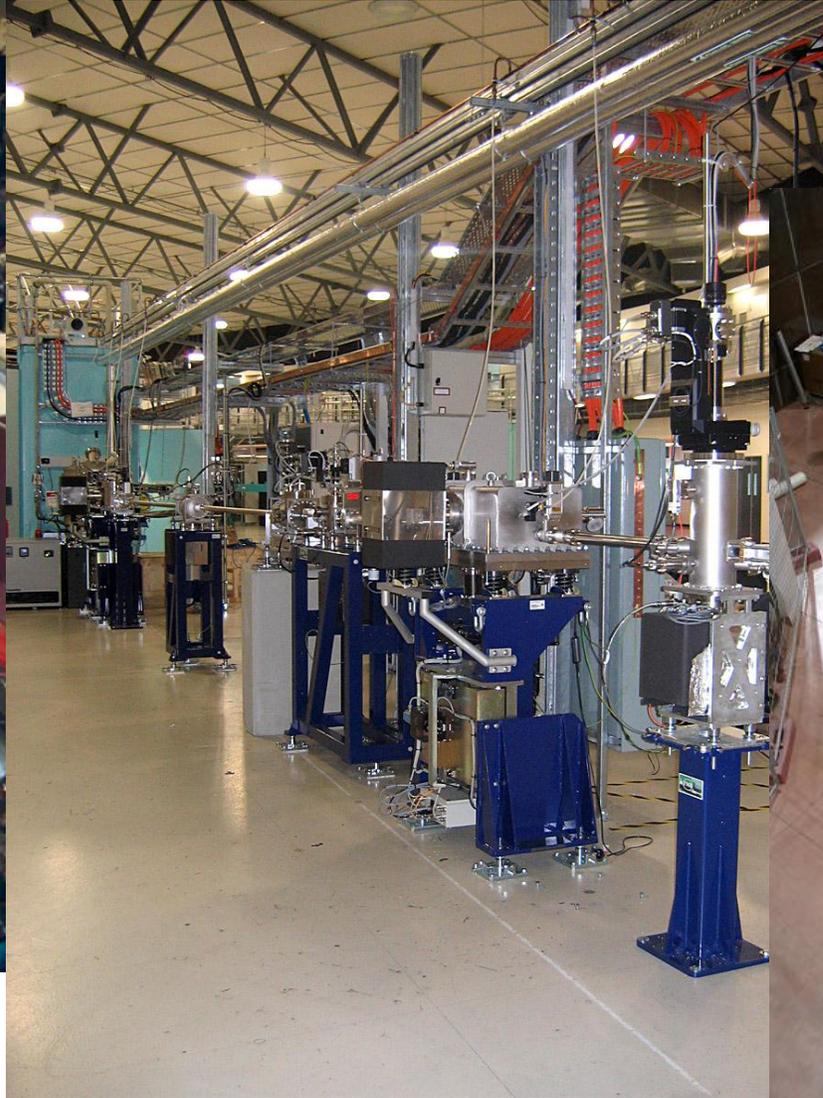
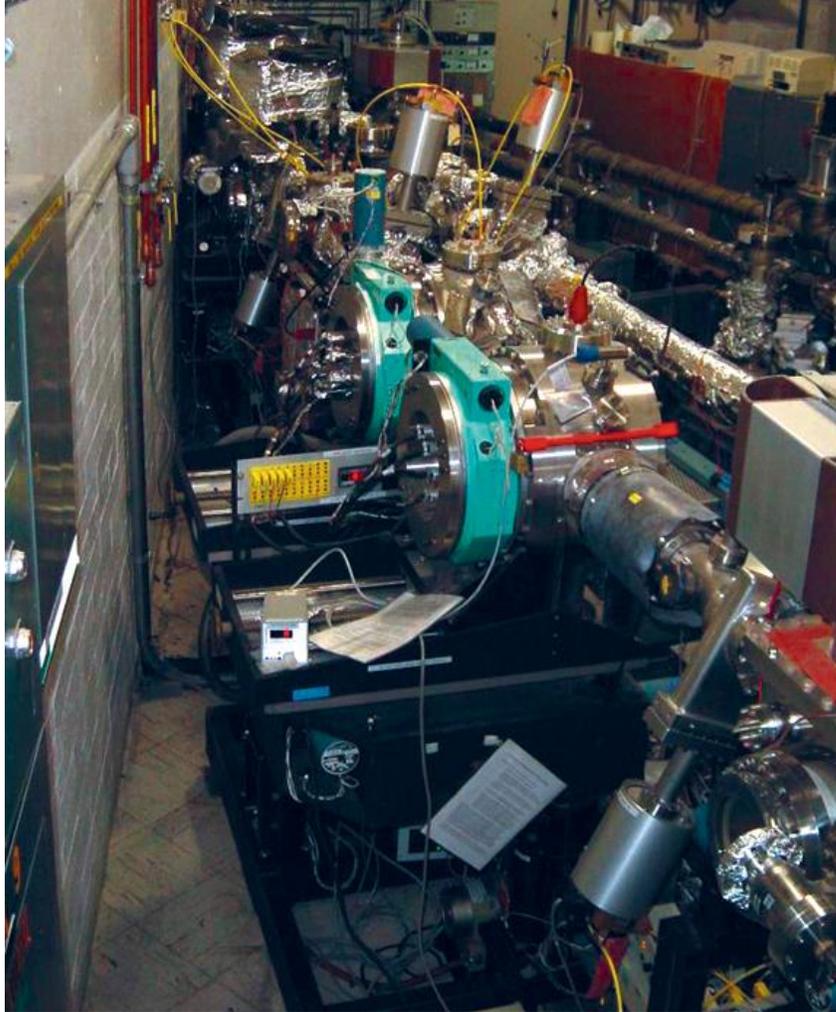


# SINCROTRONI NEL MONDO

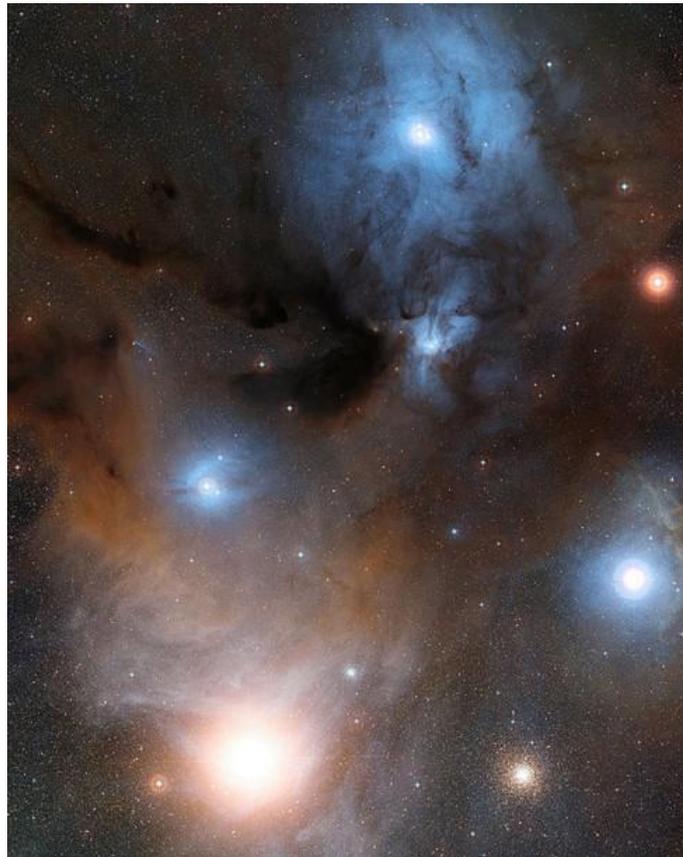








All'interno dei tubi (anello accumulazione, linee di luce...) non c'è aria, ma Ultra Alto Vuoto (paragonabile a quello presente nello spazio interstellare):  $10^{-10}$ – $10^{-11}$  mbar (100.000 particelle di gas in  $1\text{cm}^3$ )



Gli elettroni usati per generare la luce di Sincrotrone/FEL devono viaggiare quasi alla velocità della luce – 99.99995% (per essere in grado di emettere raggi X)

- Possono avere circonferenze dai 100m a qualche km e/o lunghezze da decine di m a qualche km



APS, USA



ESRF, Europe-France



Spring-8, Japan

- Lavorano 24/7 (con circa 80 giorni/anno di “shutdown”) → giorno diviso in 3 turni: morning, late, night

Team	Days 1-7	Hours	Shifts
Team 1	Day Shift (8 Hrs) 7:00 AM-3:00 PM	56.0	
Team 2	Swing Shift (8 Hrs) 3:00 PM-11:00 PM	56.0	
Team 3	Night Shift (8 Hrs) 11:00 PM-7:00 AM	56.0	
Hours		168.0	168.0

- Ospitano quasi 2000 ricercatori all’anno



- Bollette energia elettrica di diversi milioni di €





Foto del 14 maggio 1992 scattata da un satellite spia sovietico



**NON SONO PERICOLOSI!**

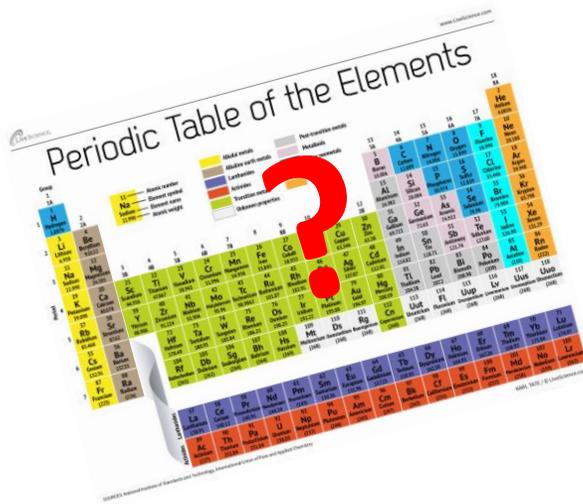
Sono praticamente delle enormi lampadine...

# LA FOTOEMISSIONE

La tecnica sperimentale (forse) più importante in un sincrotrone è la FOTOEMISSIONE

Ci permette di conoscere la specificità chimica del nostro campione:

- Di cosa è fatto?
- Qual'è la sua formula chimica?
- Qual è il suo stato chimico (libero, ossidato, legato, ecc.)?



# COME?

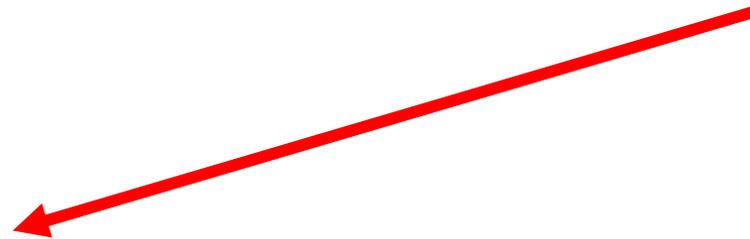
# SONDARE IL SISTEMA

Obiettivo: conoscere la composizione e lo stato di qualcosa

Idea: scuoterlo e “sentire” che rumore fa!



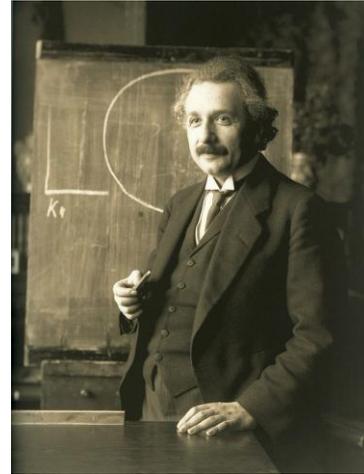
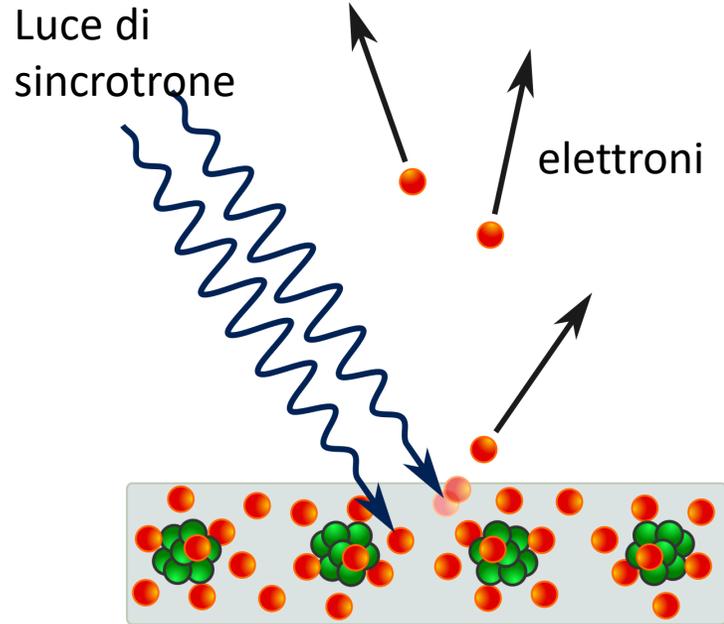
In pratica serve sondare il sistema, cioè eccitarlo e registrare la sua reazione



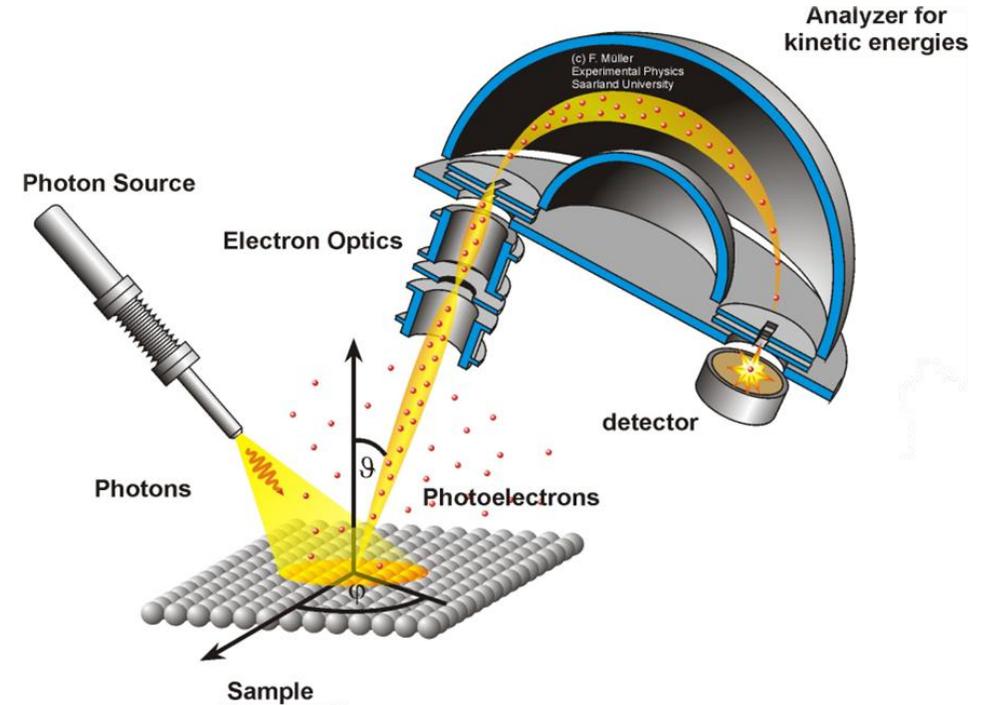
# EFFETTO FOTOELETTRICO

Wikipedia:

L'effetto fotoelettrico è l'emissione di elettroni quando della radiazione elettromagnetica, come la luce, colpisce il materiale.



1922: premio Nobel per l'effetto fotoelettrico

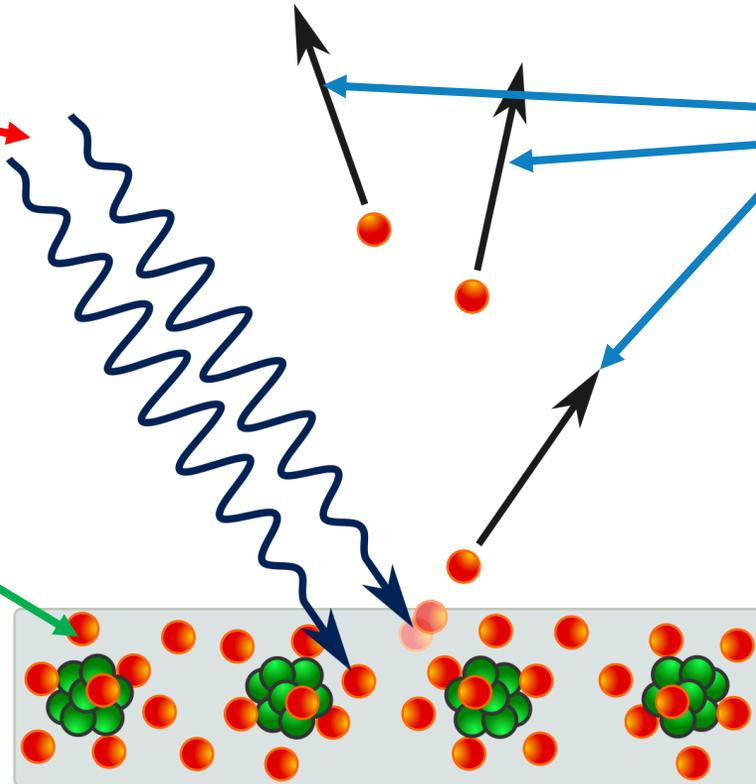


La luce di Sincrotrone “calcia” fuori un po’ di elettroni e noi ne misuriamo l’energia

# EFFETTO FOTOELETTRICO (SEMPLICE)

Energia della luce di sincrotrone:  
Conosciamo la lunghezza d'onda  
(→ la sua energia)

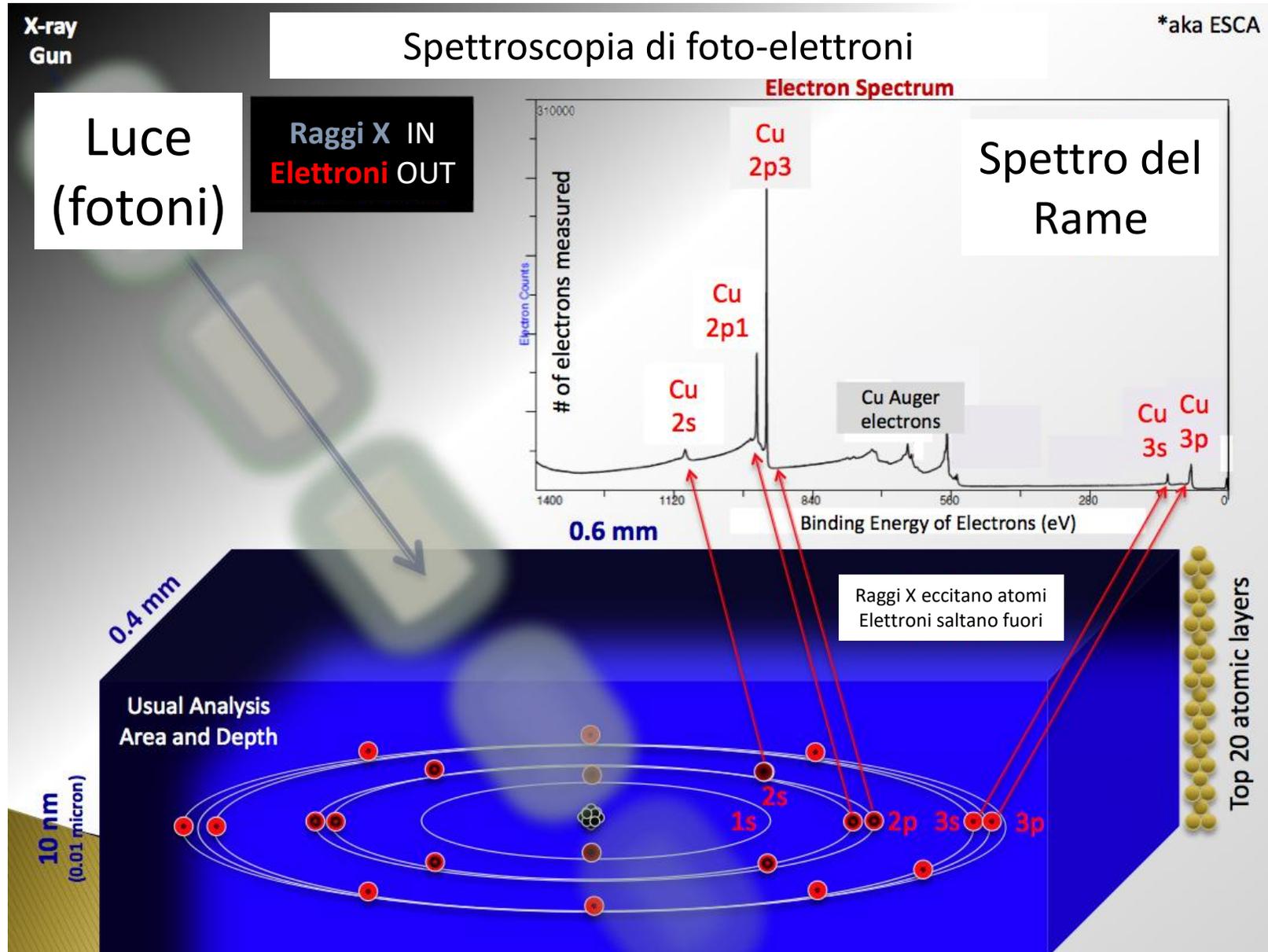
Energia di legame:  
misura quanto  
fortemente  
un elettrone è  
legato al nucleo

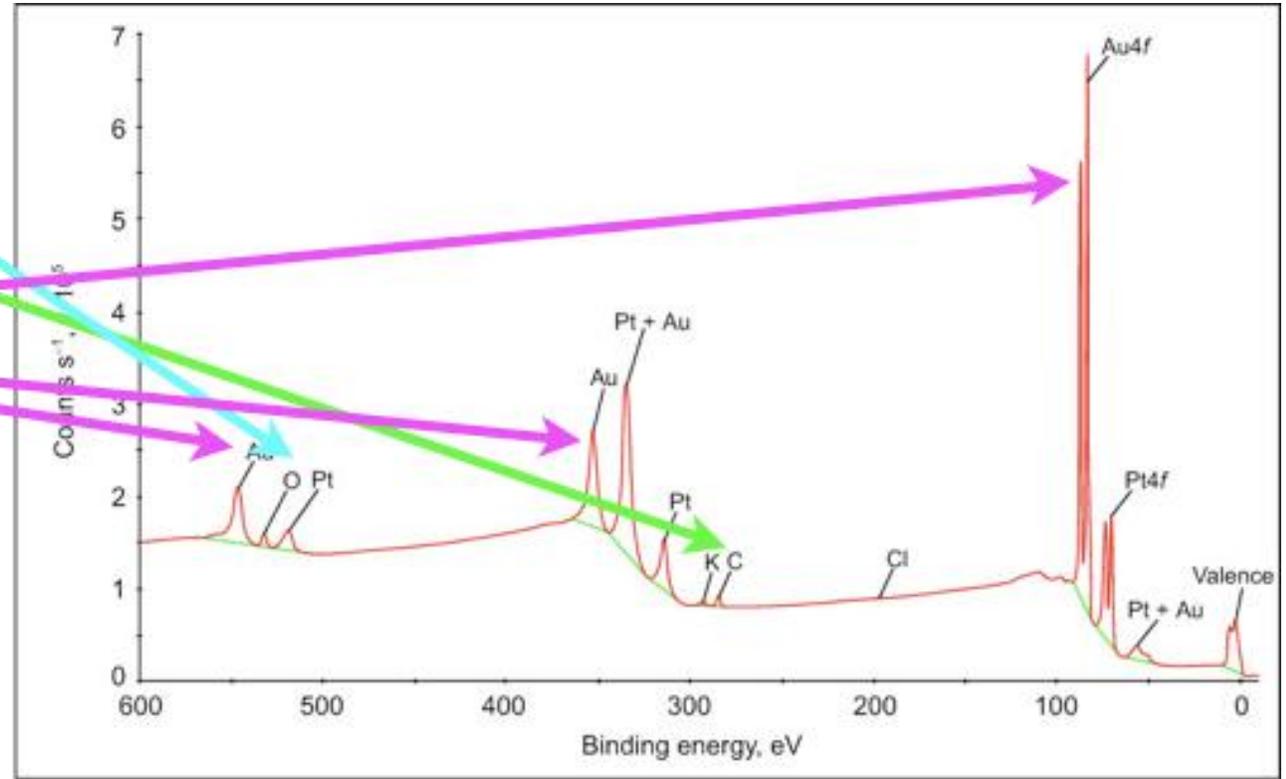
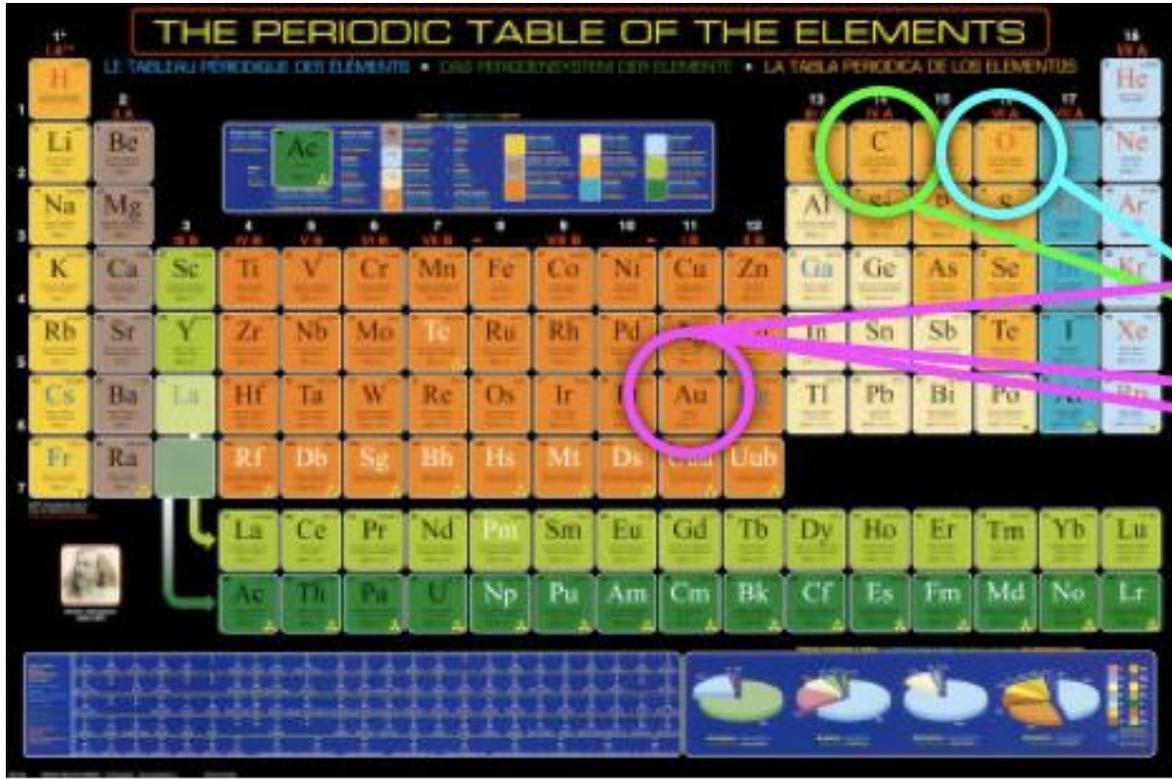


Energia (cinetica) dell'elettrone:  
Misuriamo l'energia che gli elettroni  
ancora hanno dopo esser stati calciati  
fuori dall'atomo

$$\text{Energia finale elettrone} = \text{Energia iniziale fotone (luce)} - \text{Energia di legame}$$

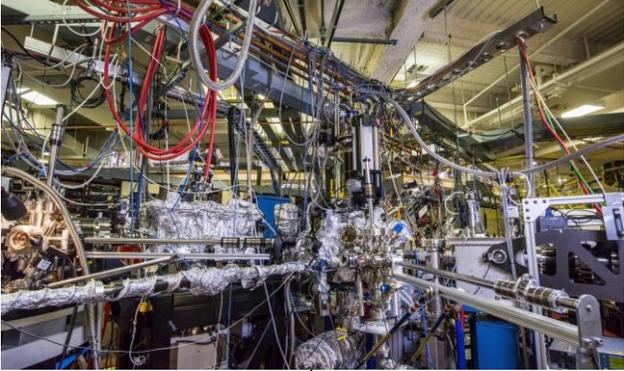
# MAPPA CHIMICO-FISICA





Possiamo identificare ogni elemento nel nostro campione!

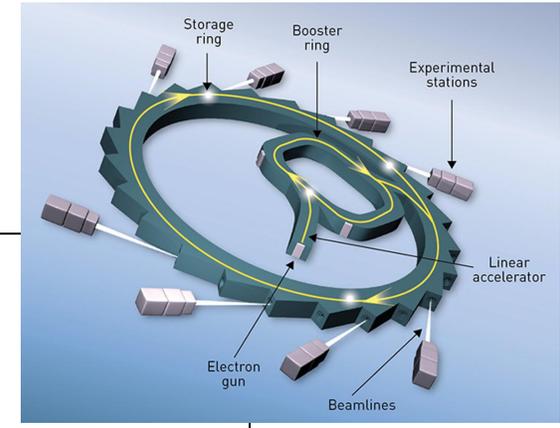
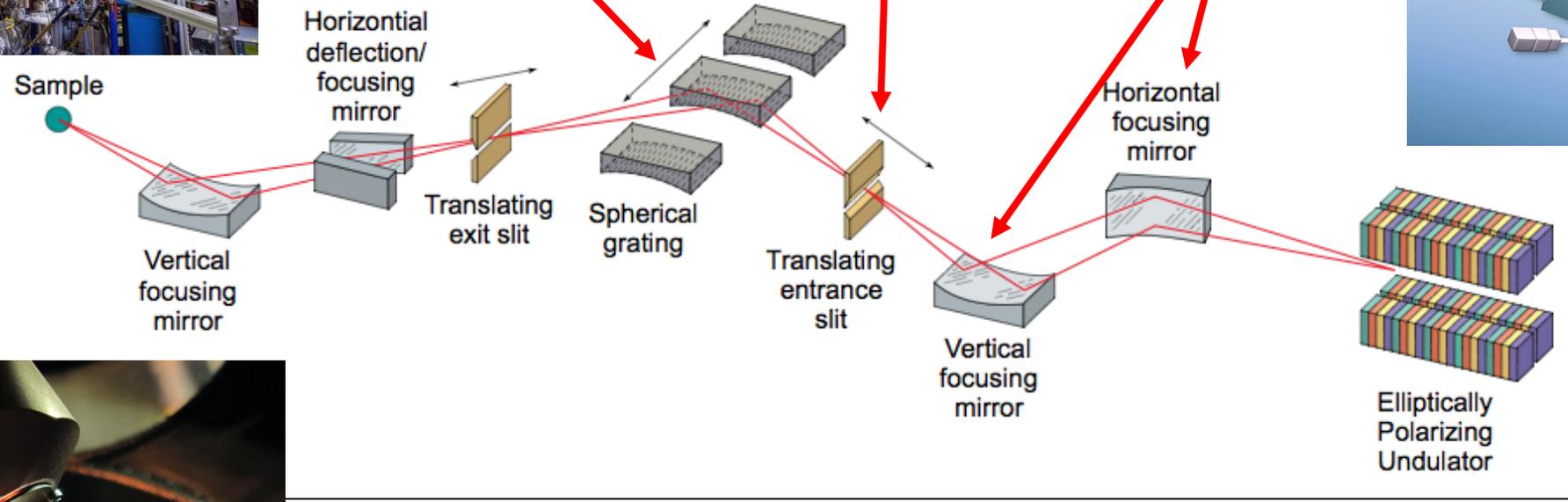
# ELEMENTI DI UNA BEAMLINE



**RETICOLI:**  
 Monocromatizzazione  
 Focalizzazione

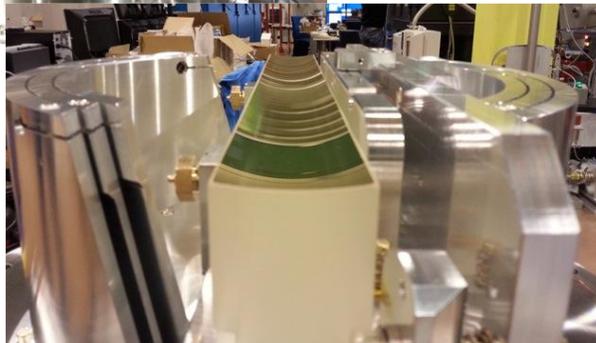
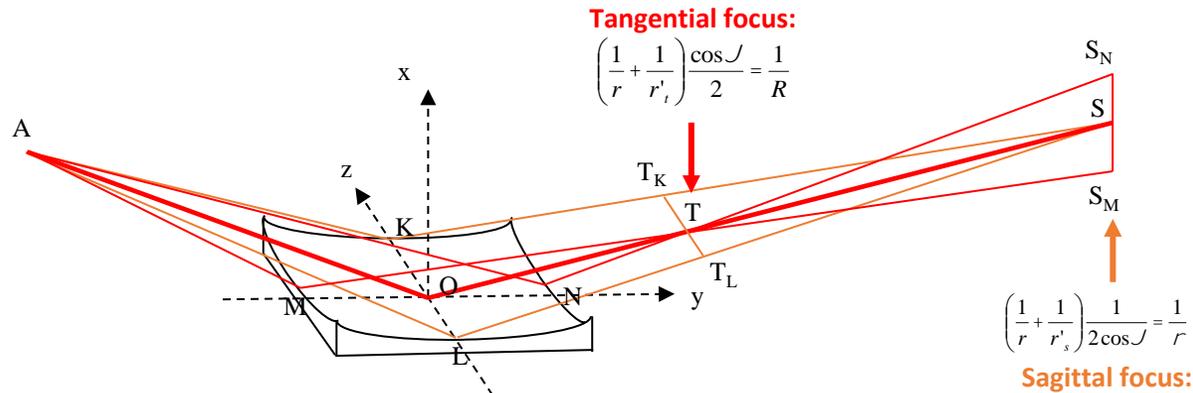
**FENDITURE:**  
 Selezione

**SPECCHI:**  
 Riflessioni  
 Focalizzazione



# SPECCHI SPECIALI

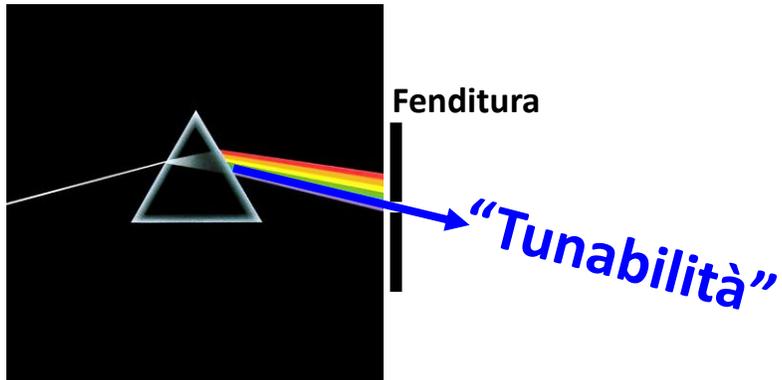
Usiamo specchi molto speciali: incidenza radente, altissima qualità, differenti forme della superficie...



- Molto costosi (da alcune decine di k€ a quasi un milione di €)
- Prodotti da pochissime aziende nel mondo
- MOLTO "precisi":  
specchi piani lunghi 1 m con un errore di forma di  $\pm 1$  nm.  
Esempio: se costruisco una ferrovia tra Milano e Roma (~550 km), ho una differenza massima in altezza di  $\pm 0.5$  mm.

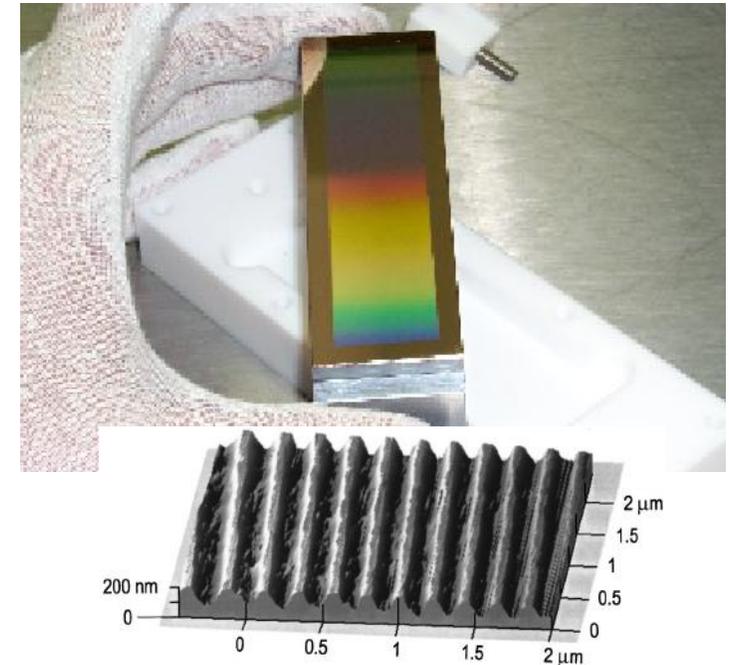
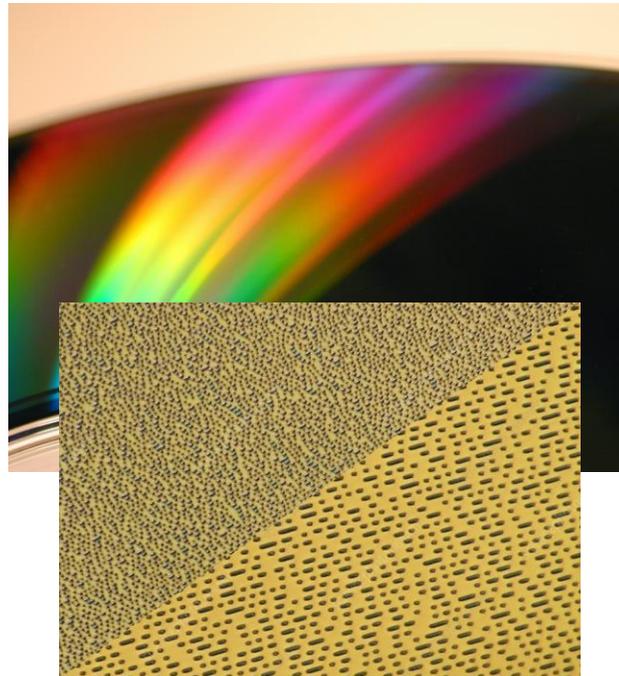
# RETICOLI DI DIFFRAZIONE

Ci servono reticoli di diffrazione per distribuire le diverse lunghezze d'onda (colori) e selezionarne una



Ma non possiamo usare lenti, prismi e simili... quindi?

Modifichiamo gli specchi visti prima "incidendo" dei solchi periodici sulla superficie



Vedremo poi perchè la monocromatizzazione è cruciale