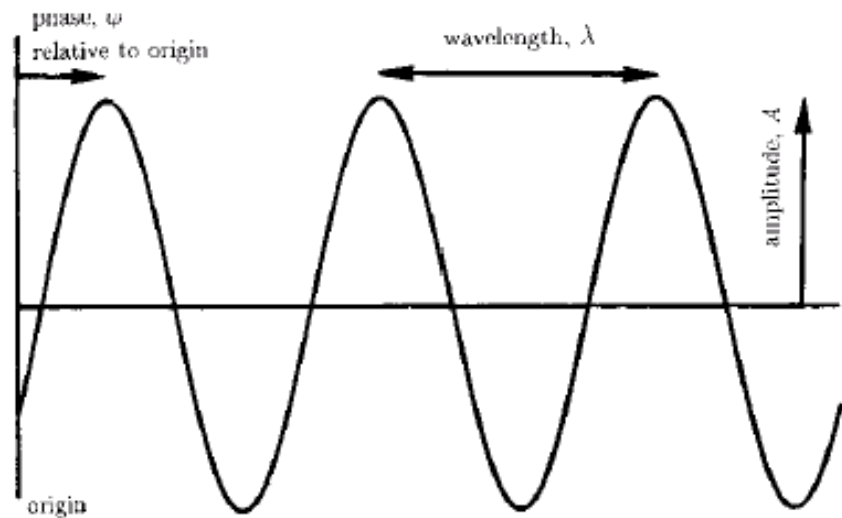
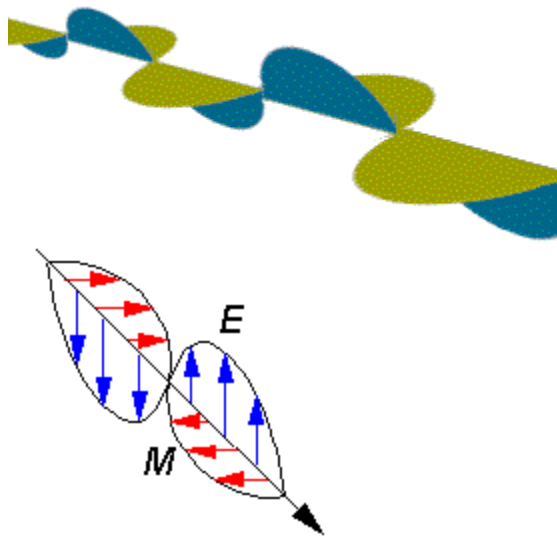


# Onde elettromagnetiche



$$\text{Energia} = h \nu$$

$$h = 6,626196 \times 10^{-34} \text{ J}$$

$$\text{Intensità} \propto \text{Ampiezza}^2$$

$\nu$  = frequenza della radiazione (cicli al secondo, herz)

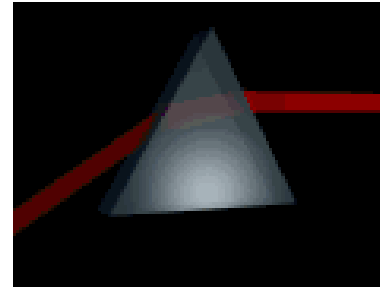
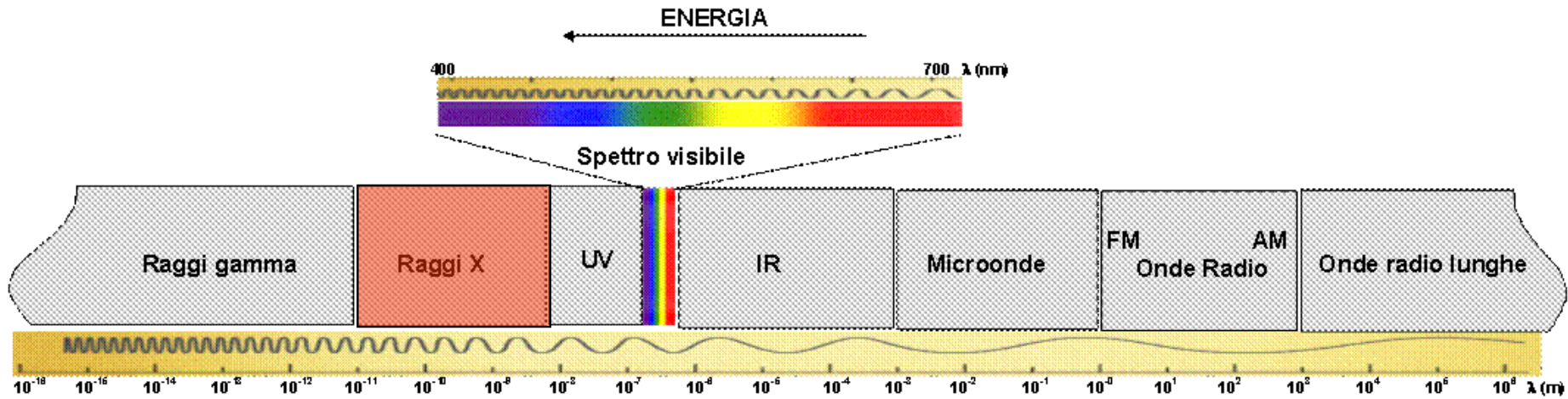
$\lambda$  = lunghezza d'onda

$$\nu \lambda = c \text{ (velocità della luce nel vuoto } \sim 300000 \text{ km/s)}$$

Dualismo onda-particella:

Intensità = Numero di fotoni    frequenza = Energia del fotone

# I raggi X



$10^{-8}$  m raggi-X molli

$10^{-11}$  m raggi-X duri

$10^{-10}$  m = 1 Å adatti alla diffrazione

# Sorgenti di raggi-X

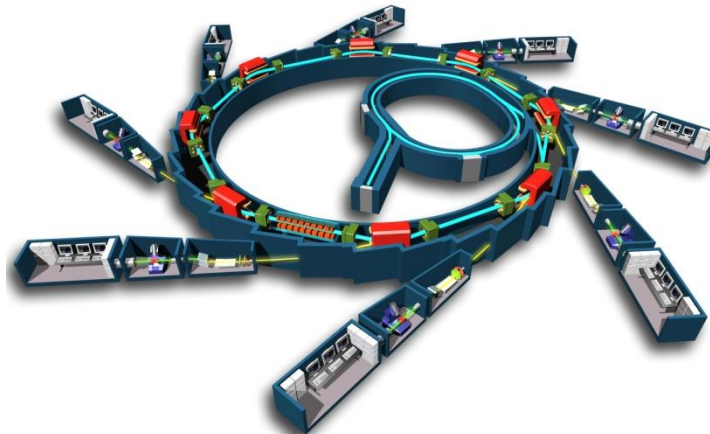
– Tubi di raggi-X chiusi



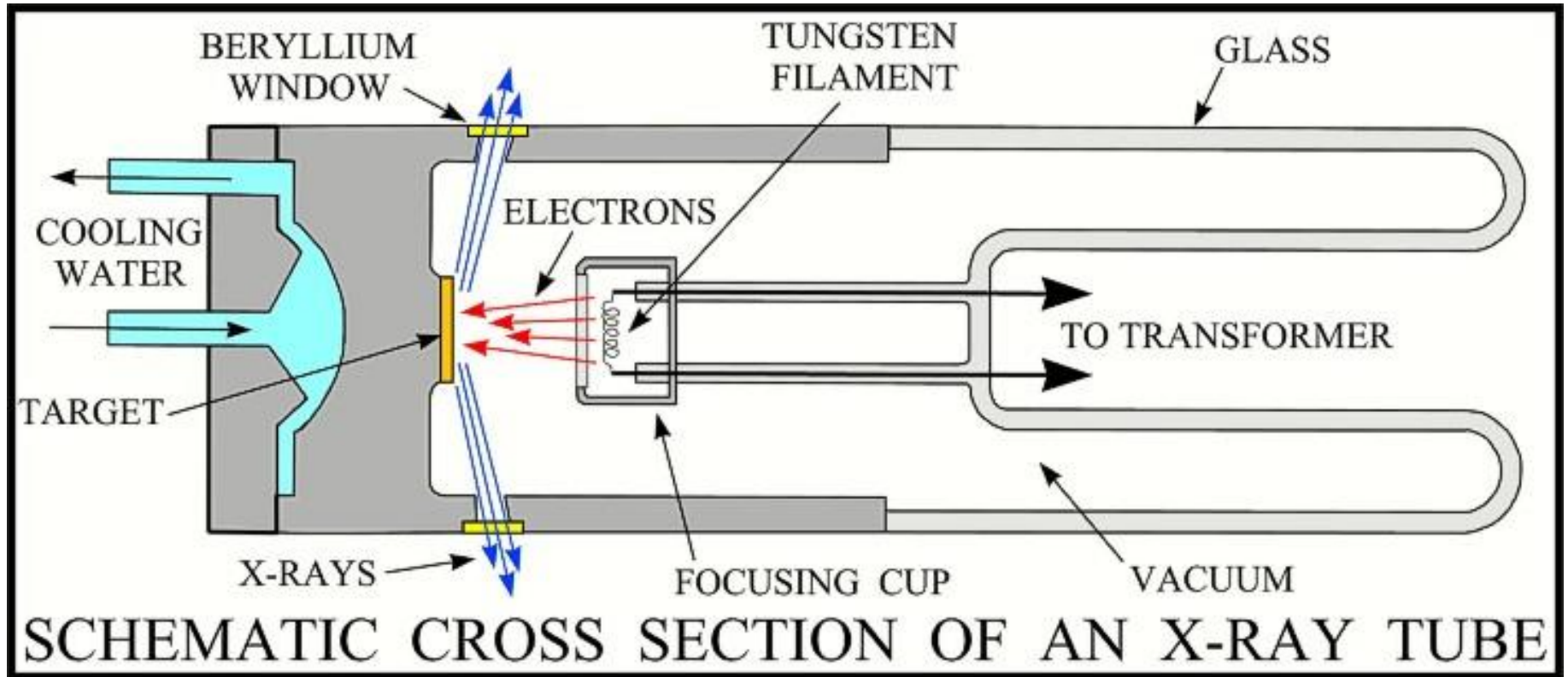
– Anodo Rotante



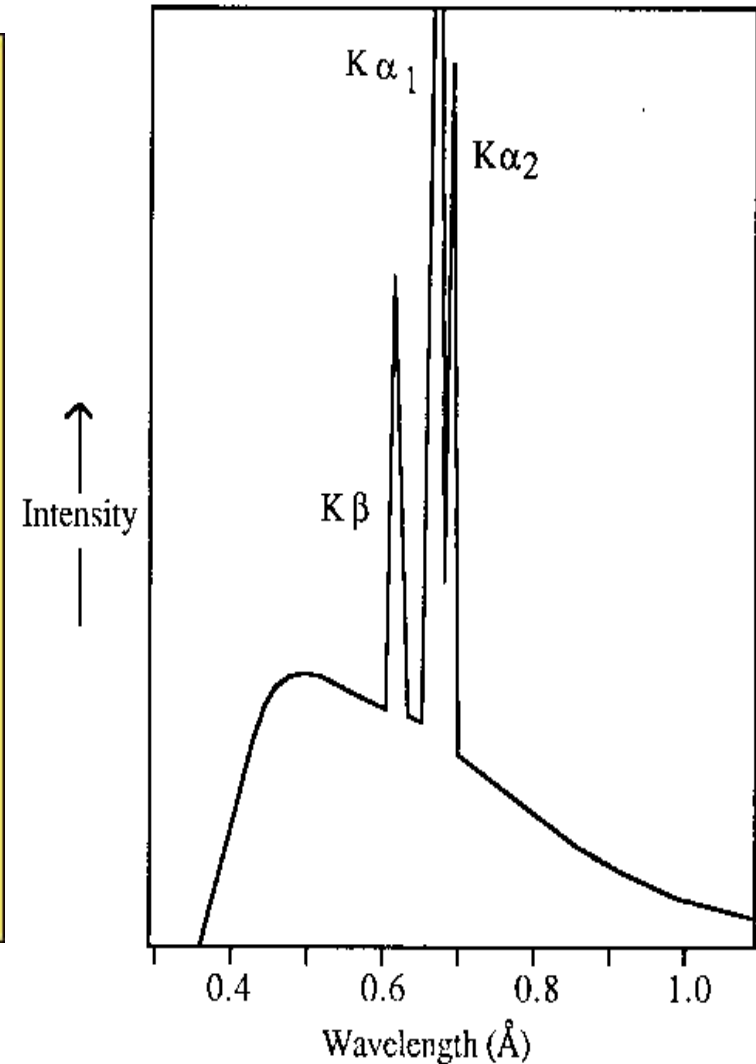
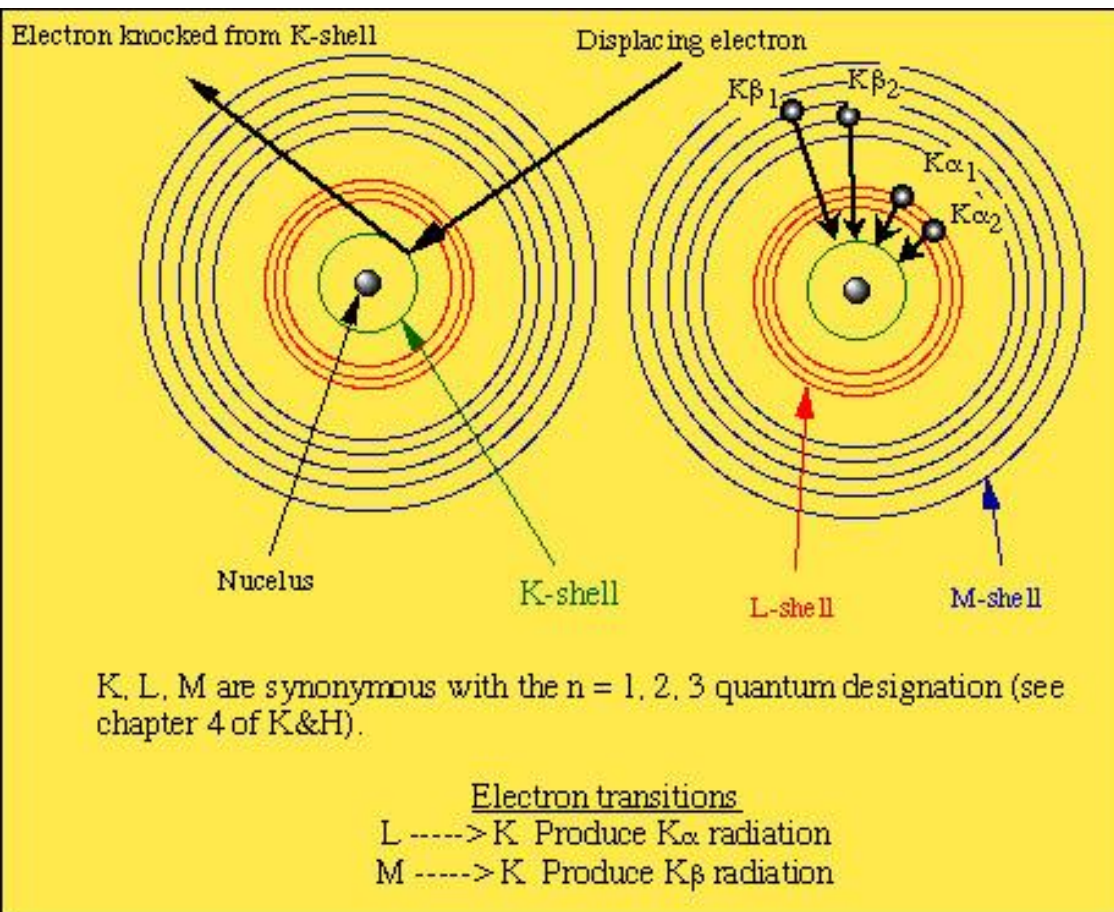
– Sincrotrone



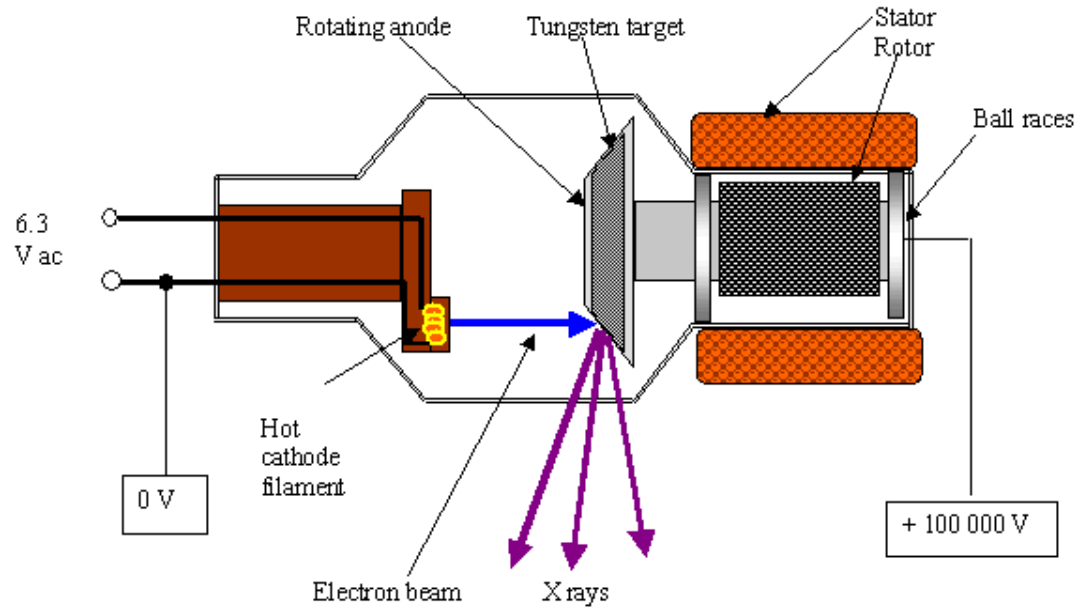
# Sorgente – Sealed Tubes



# Sorgente – Sealed Tubes

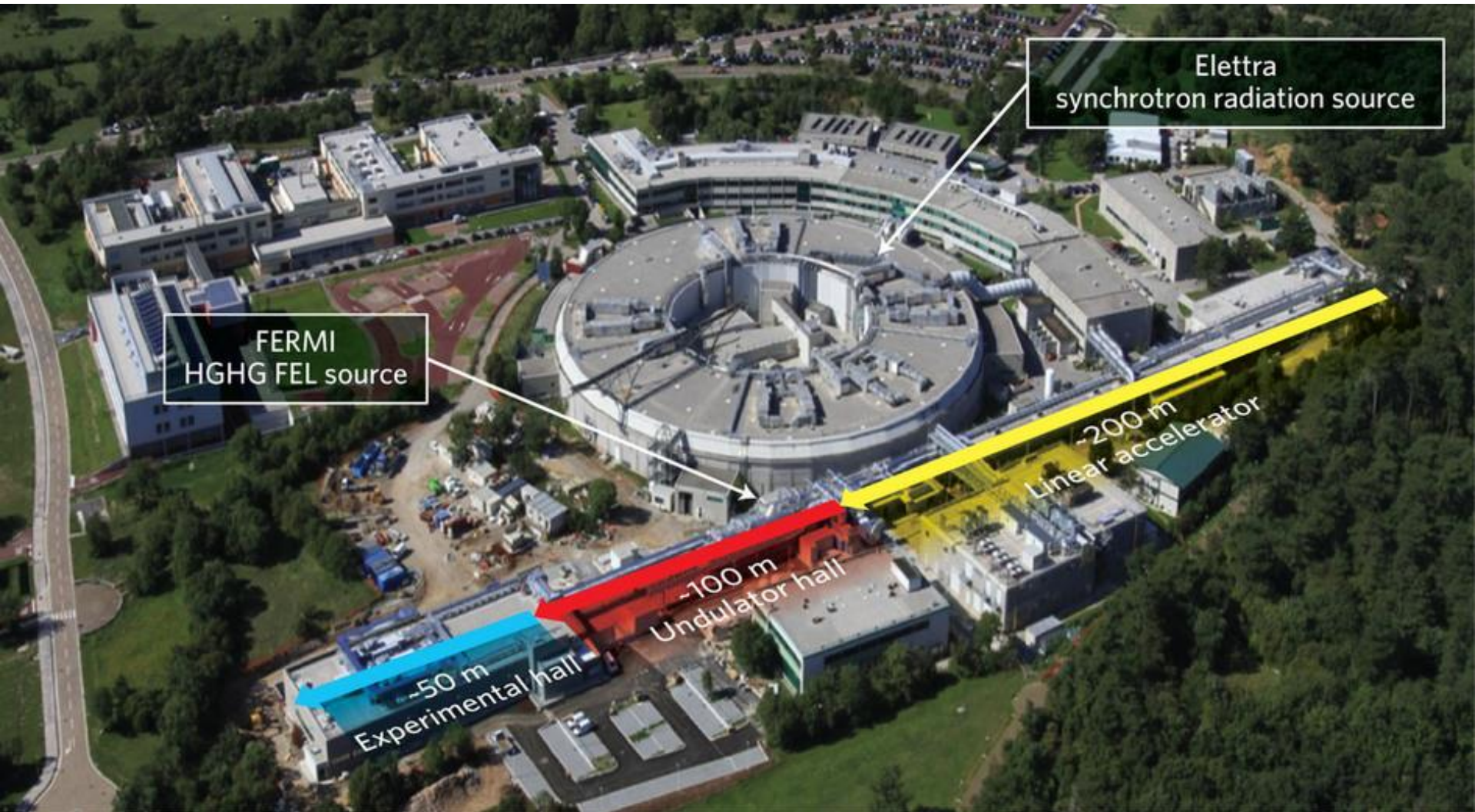


# Sorgente– Anodo rotante

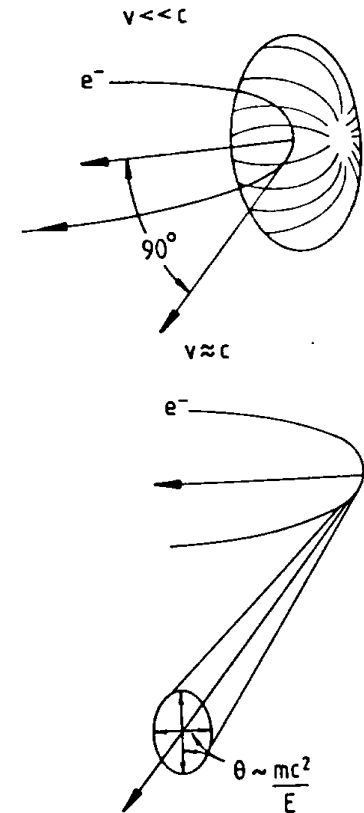
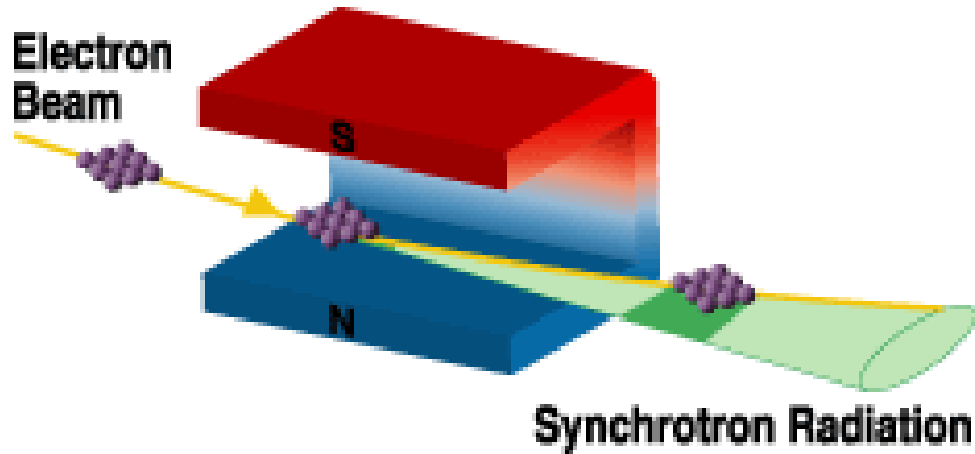


- Anodo cilindrico che ruota
- Raffreddamento più efficiente
- Continuo pompaggio per il vuoto
- Il flusso è alto ma anche il costo

# Radiazione da sincrotrone



# Radiazione di Sincrotrone



$$Q = 88.47 * E^4 * I / \rho$$

Q (potere radiante totale) in kW

- E (energia) in GeV
- I (corrente) in mA
- $\rho$  (raggio di curvatura) in m

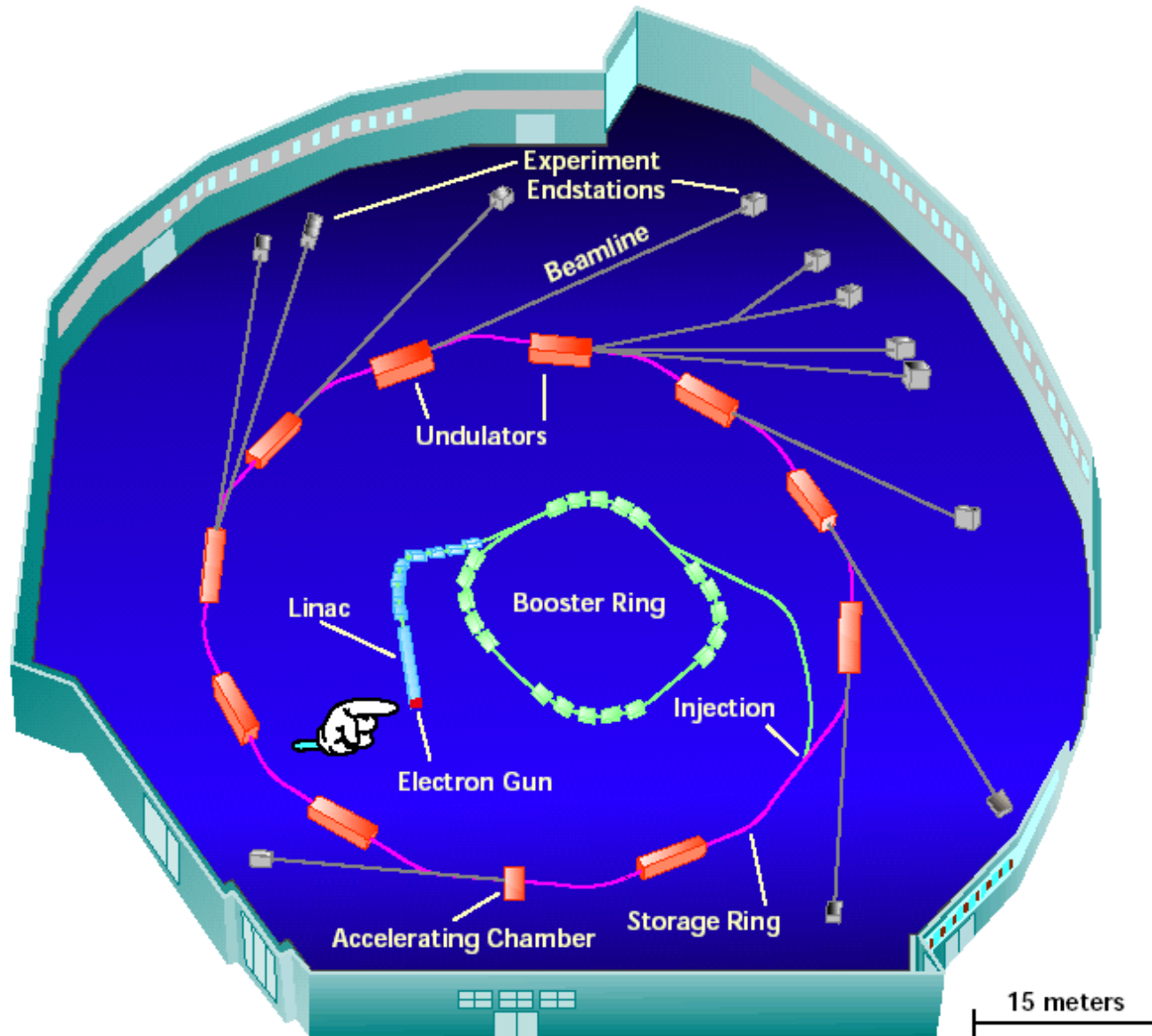
La distribuzione angolare della radiazione dipende dall'Energia



# Vantaggi della luce di sincrotrone

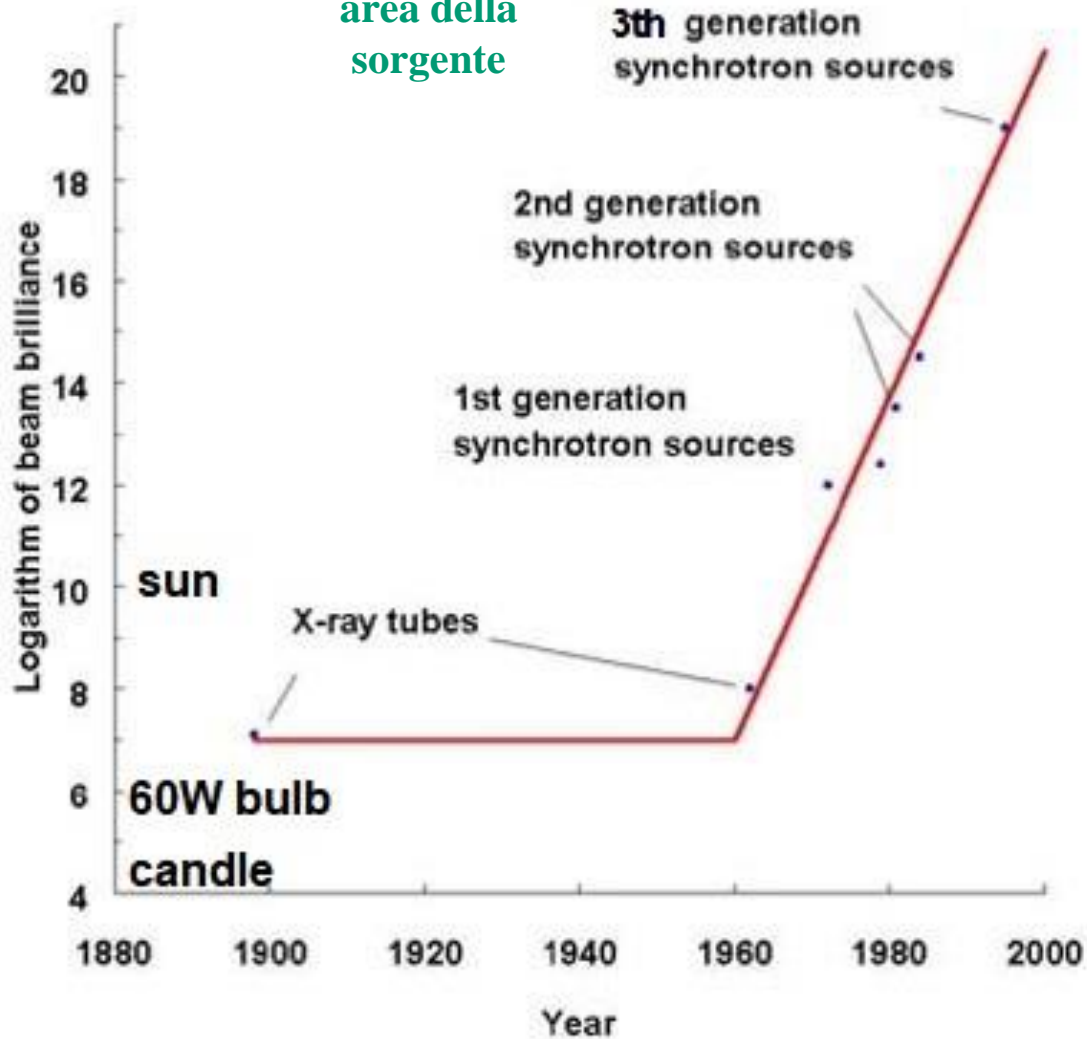
- L'**intensità** della radiazione è diversi ordini di grandezza superiore alle sorgenti da laboratorio, permette di analizzare cristalli che diffrangono poco
- La **divergenza** del raggio è molto bassa, I fotoni sono focalizzati sul cristallo il che permette di utilizzare cristalli molto piccoli (meno di 50  $\mu\text{m}$  di dimensione lineare) e le macchie dei spot diffratti sono piccole e si hanno meno problemi di sovrapposizione in presenza di celle molto grandi (maggiori ai 600 Å).
- La **lunghezza d'onda è variabile** possibili esperimenti di MAD (Multi-wavelength Anomalous Dispersion) per risolvere il problema della fase.
- La **luce bianca** è utilizzabile per esperimenti di diffrazione Laue
- La **polarizzazione** non è sfruttata in biocristallografia.

# Schema di un sincrotrone

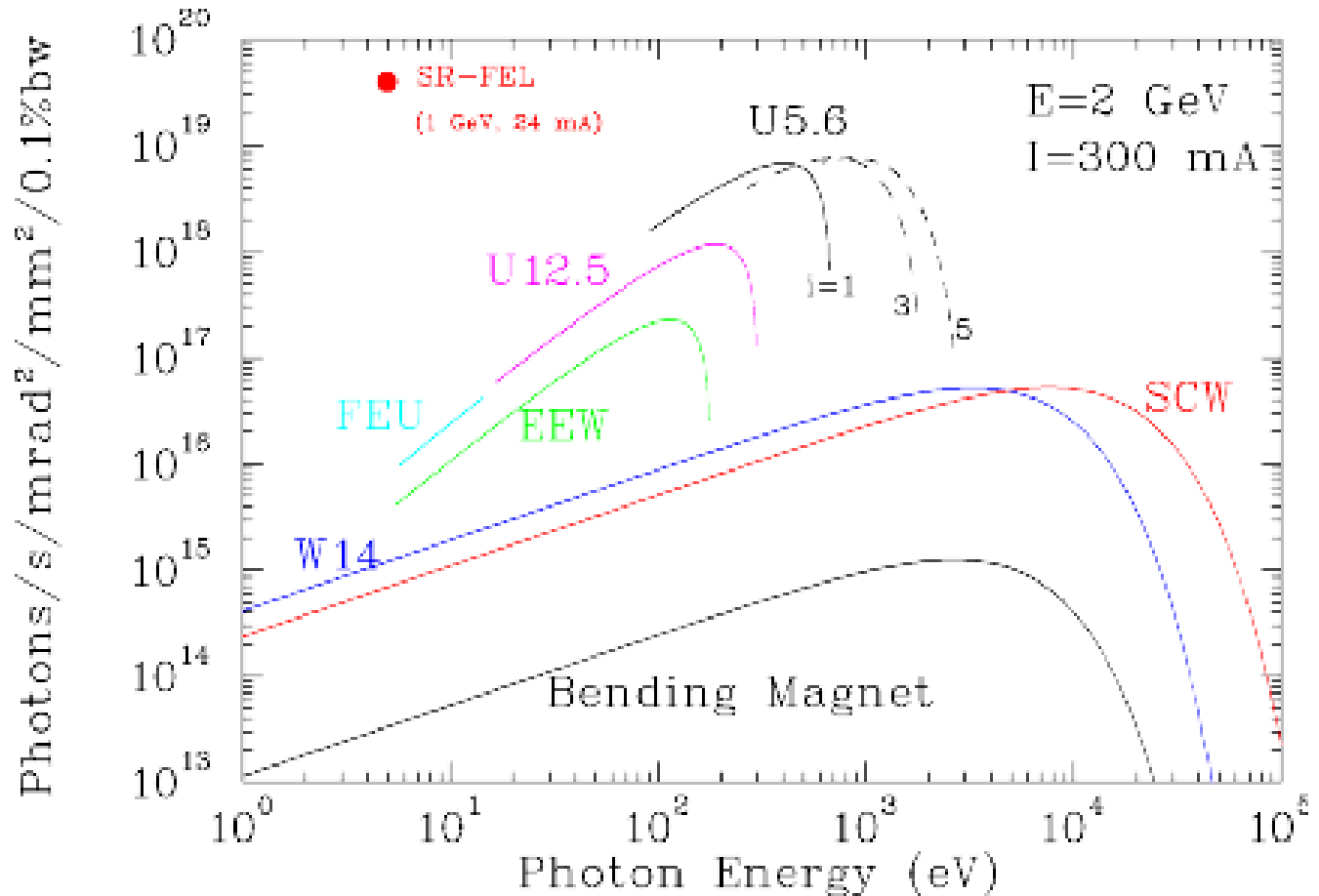


$$\text{brillianza} = \frac{\text{fotoni/s}}{\text{divergenza} \times \text{area della sorgente} \times \text{bandwidth (larghezza di banda)}}$$

$\text{mrad}^2 * \text{mm}^2 * 0.1 * \frac{\delta\lambda}{\lambda}$



## Spettro di emissione (Curva universale)

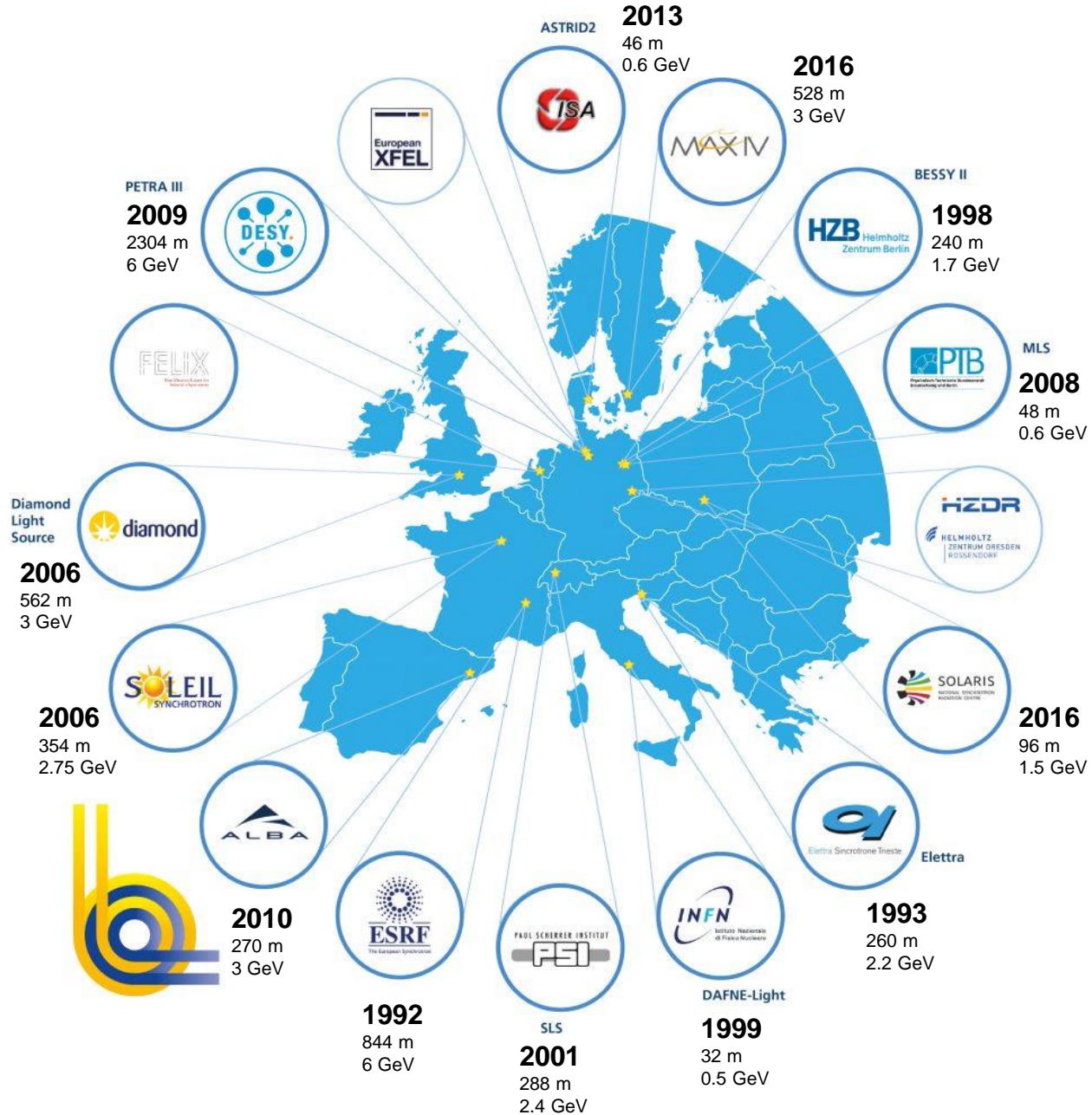


$$\varepsilon_c = 0.665 \cdot E^2 \cdot B$$

$\varepsilon_c$ : energia critica dei fotoni

B: Forza del campo magnetico (Tesla)

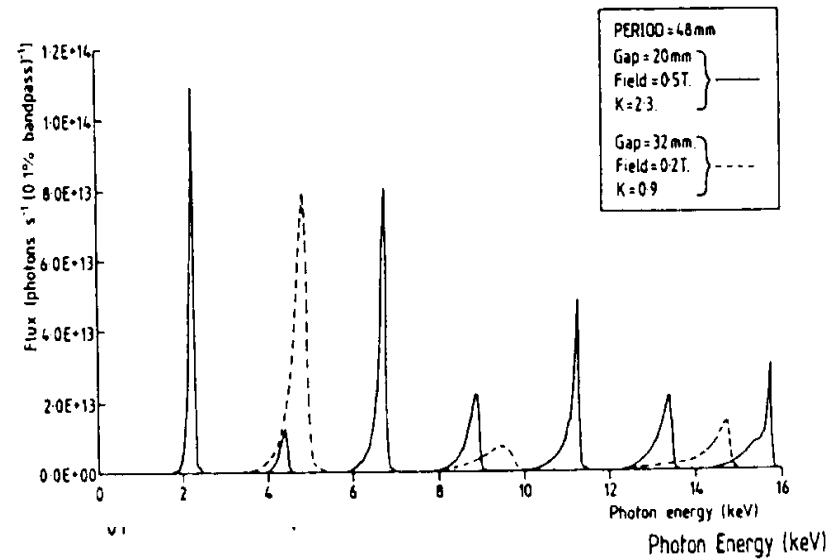
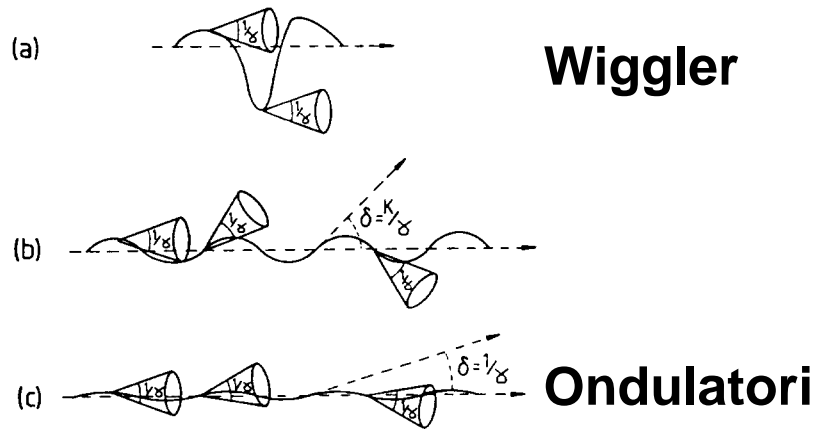
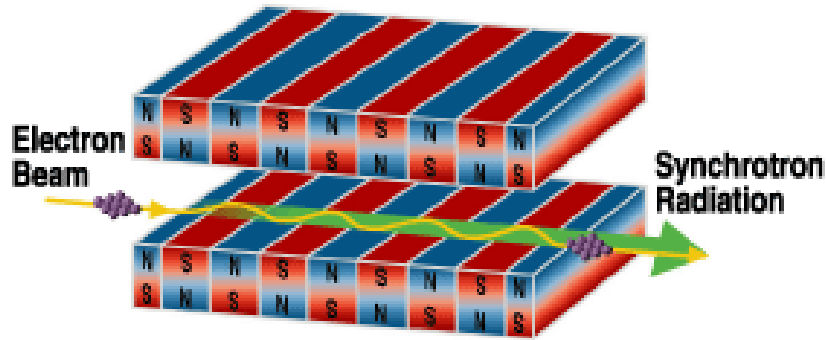
# Sincrotroni in Europa



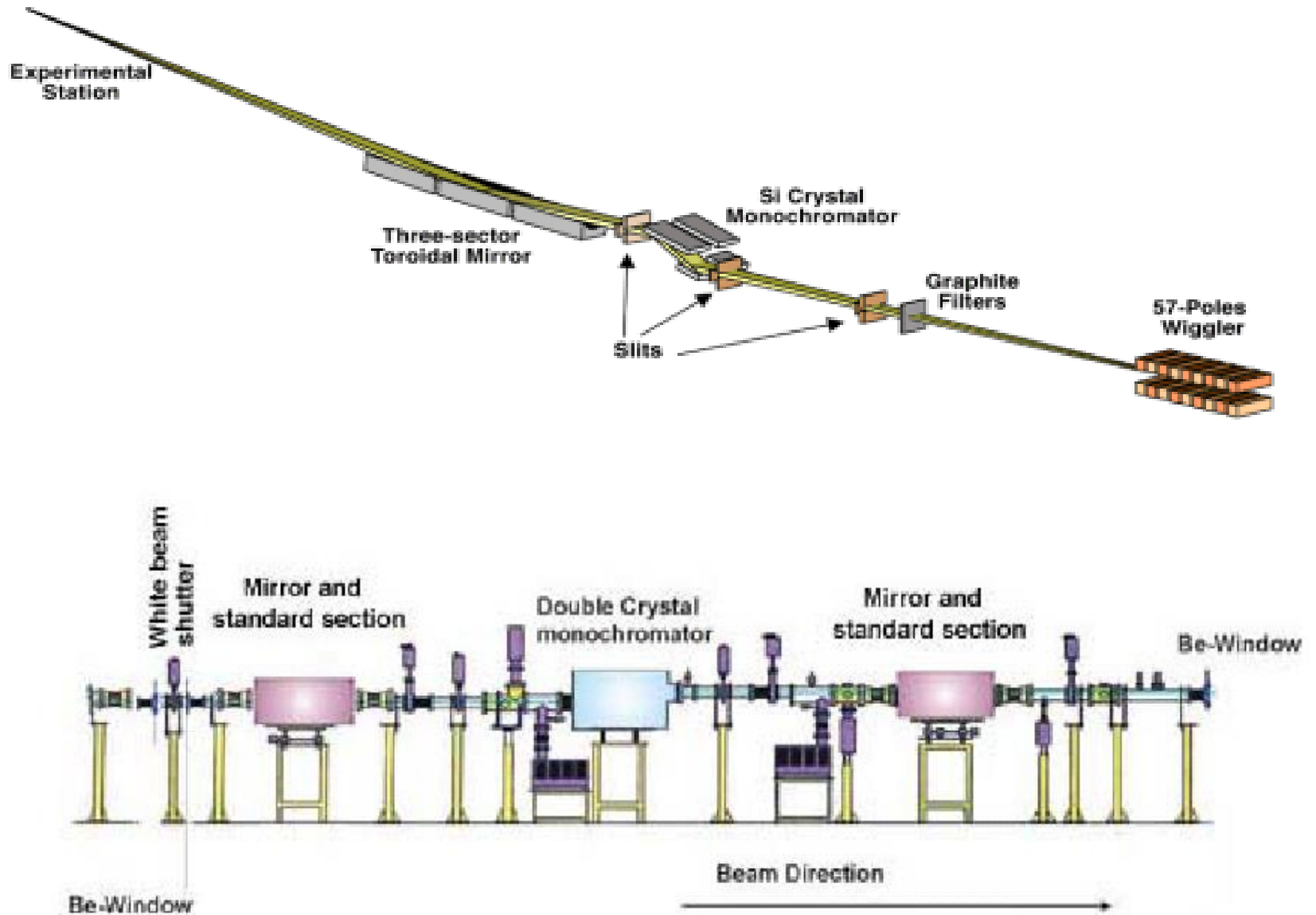
# Sincrotroni nel mondo



# Insertion Devices

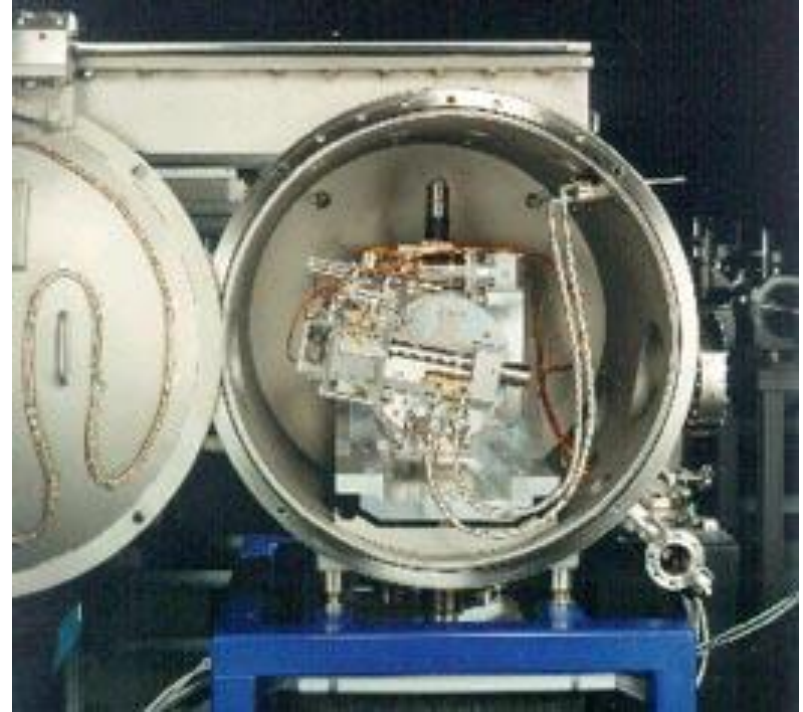
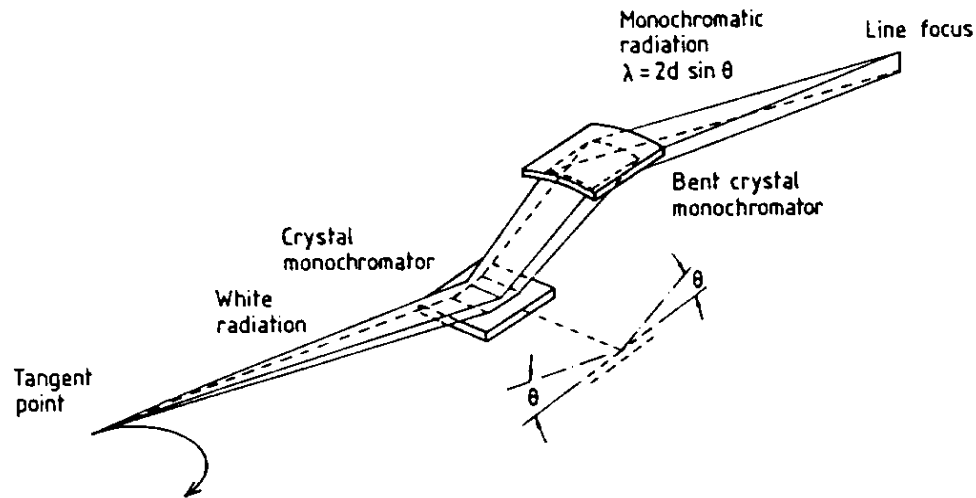


# Front-end





# Monocromatori



- Cristalli di Grafite (111) alta riflettività ( $I/I_0$ ) e alta banda passante ( $\delta\lambda/\lambda$ )  $10^{-2}$
- Cristalli di Silicio (111 o 220) bassa riflettività e bassa banda passante ( $10^{-3}-10^{-4}$ )

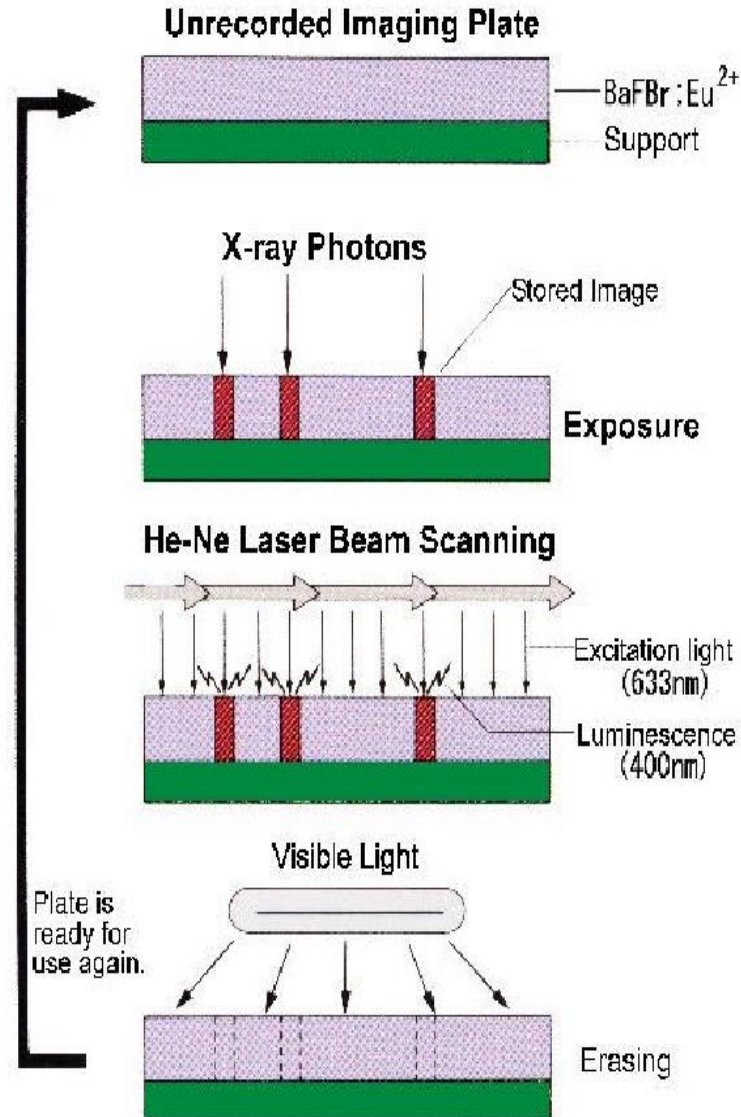
# Specchi



Focalizzano i raggi-X  
sul campione

Fatti di quarzo o  
silicio ricoperti da Pt  
o Rh

# Detectors – Imaging Plate (I.P.)



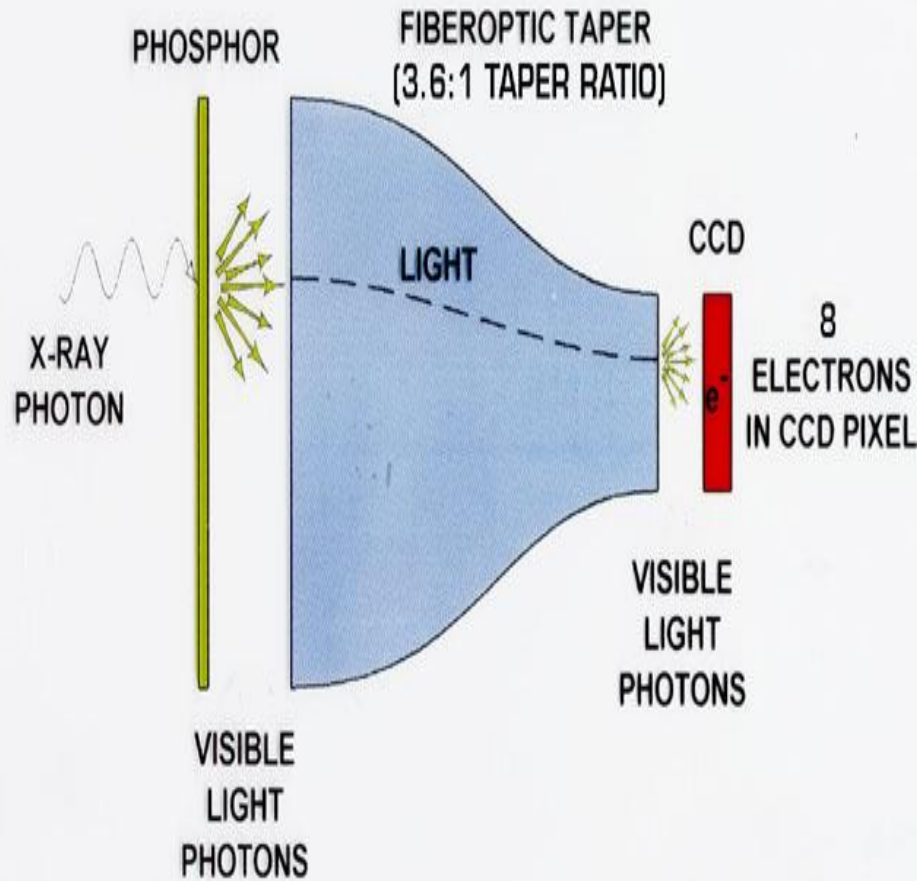
- I raggi-X eccitano gli elettroni di un semiconduttore drogato nella banda di conduzione dove sono intrappolati in stati metastabili.

- Quando sono esposti ad una luce visibile (laser) l'ulteriore eccitazione promuove questi elettroni ad uno stato instabile che li porta a decadere nello stato fondamentale mediante emissione di fotoni che vengono rilevati da un fotomoltiplicatore.

- Imaging Plates hanno una buona sensibilità un alto Range Dinamico e un basso rumore di fondo

- Tempi morti dovuti alla lettura e azzeramento del detector molto lunghi (alcuni minuti)

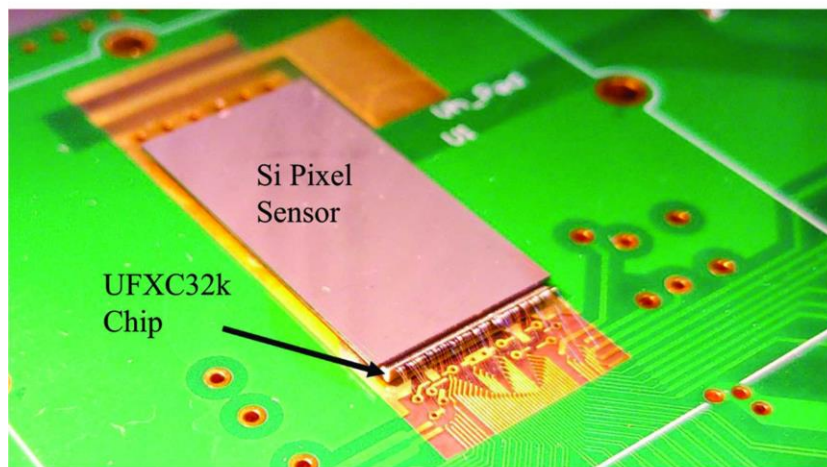
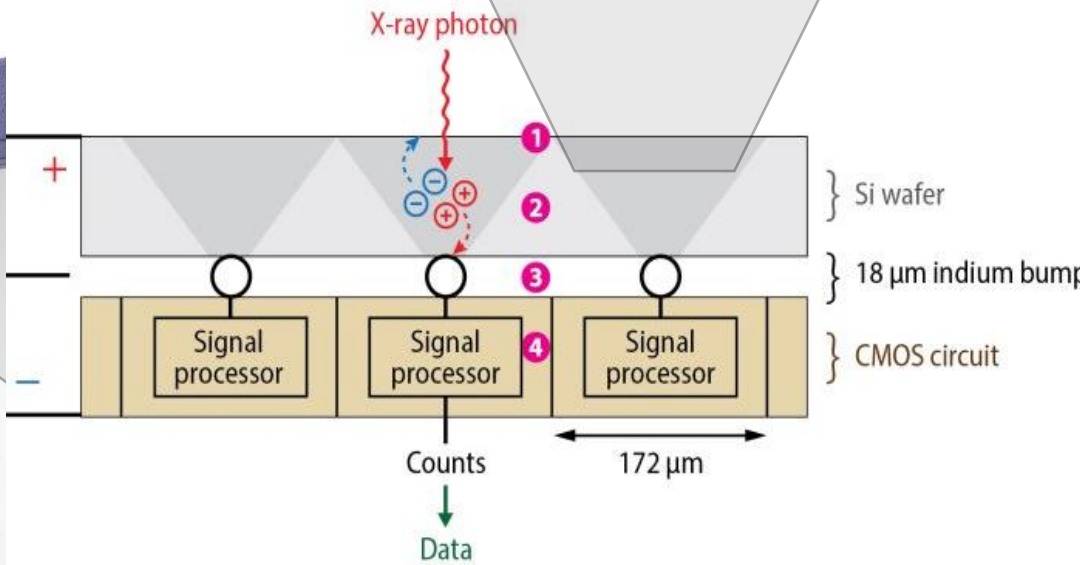
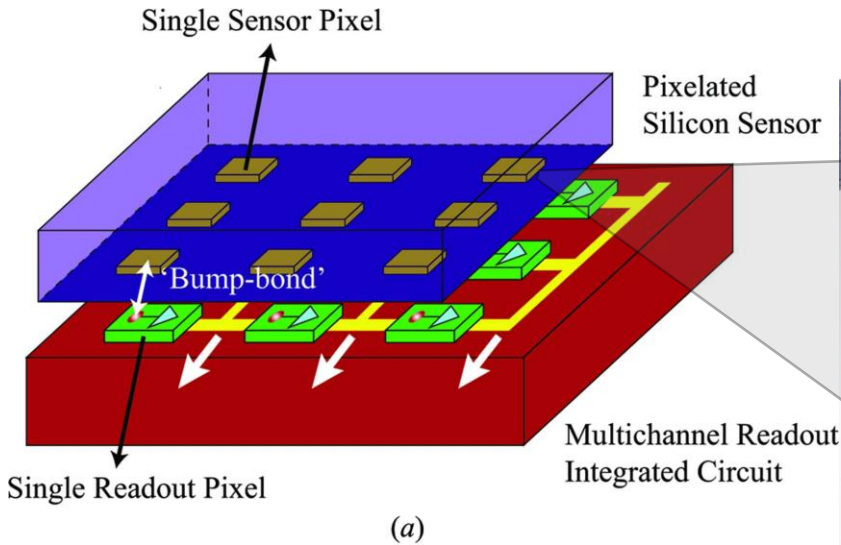
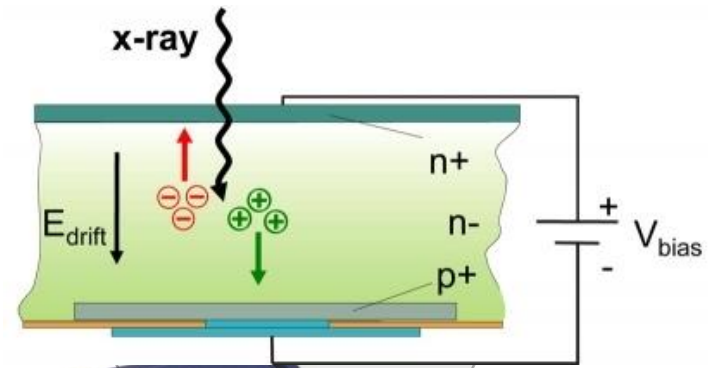
# Detectors – Charge Coupled Device (CCD)



- Nel CCD i fotoni del visibile eccitano gli elettroni di un semiconduttore nella banda di valenza e questi elettroni vengono contati da un sistema elettronico
- Questi fotoni sono prodotti a loro volta da dei fosfori che assorbono i raggi-X convertendoli a fotoni del visibile.
- CCD sono normalmente molto piccole e necessitano di un accoppiamento mediante fibre ottiche ad uno schermo di dimensioni maggiori.
- Hanno una ottima sensibilità, un ampio range dinamico e un ridottissimo tempo morto
- Sono più piccoli e più cari dei IP ed hanno una corrente di fondo più alta

# Hybrid pixel array detector

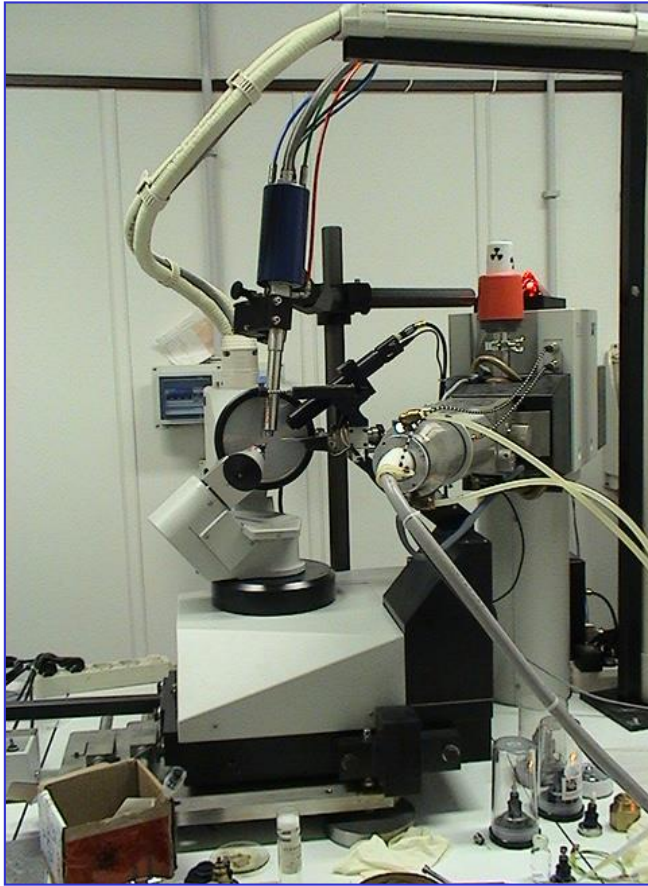
PILATUS, from Paul Scherrer Institute & SLS  
operating in single-photon counting mode



- Maximum dynamic range
- Excellent Point Spread Function (PSF)
- High Detector Quantum Efficiency (DQE)
- No dark-current and readout noise
- Readout time < 6.7ms
- Allows to collect fine  $\phi$  sliced data

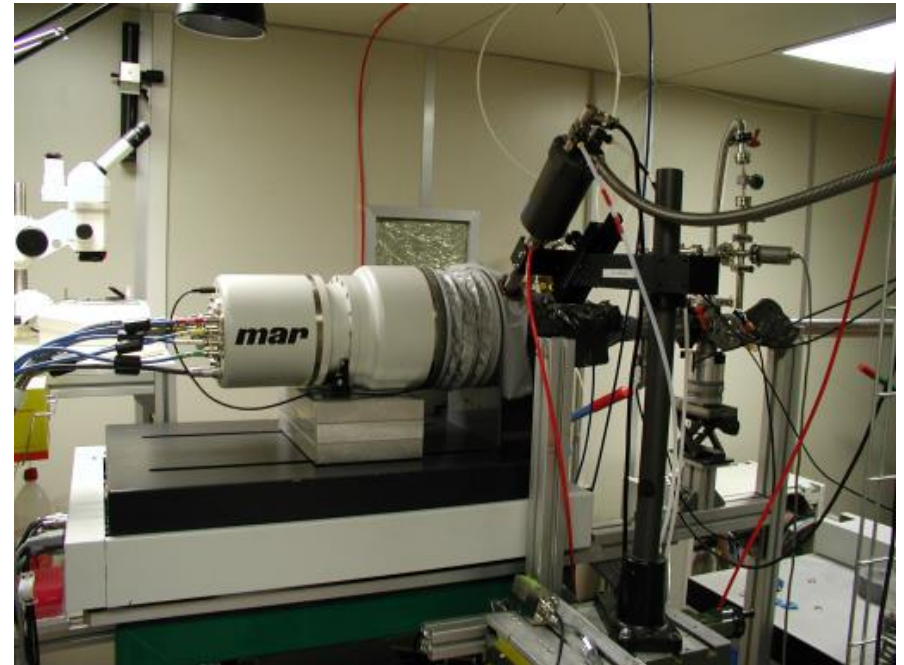
# Diffrattometri

CEB



Bruker-Nonius Kappa-CCD

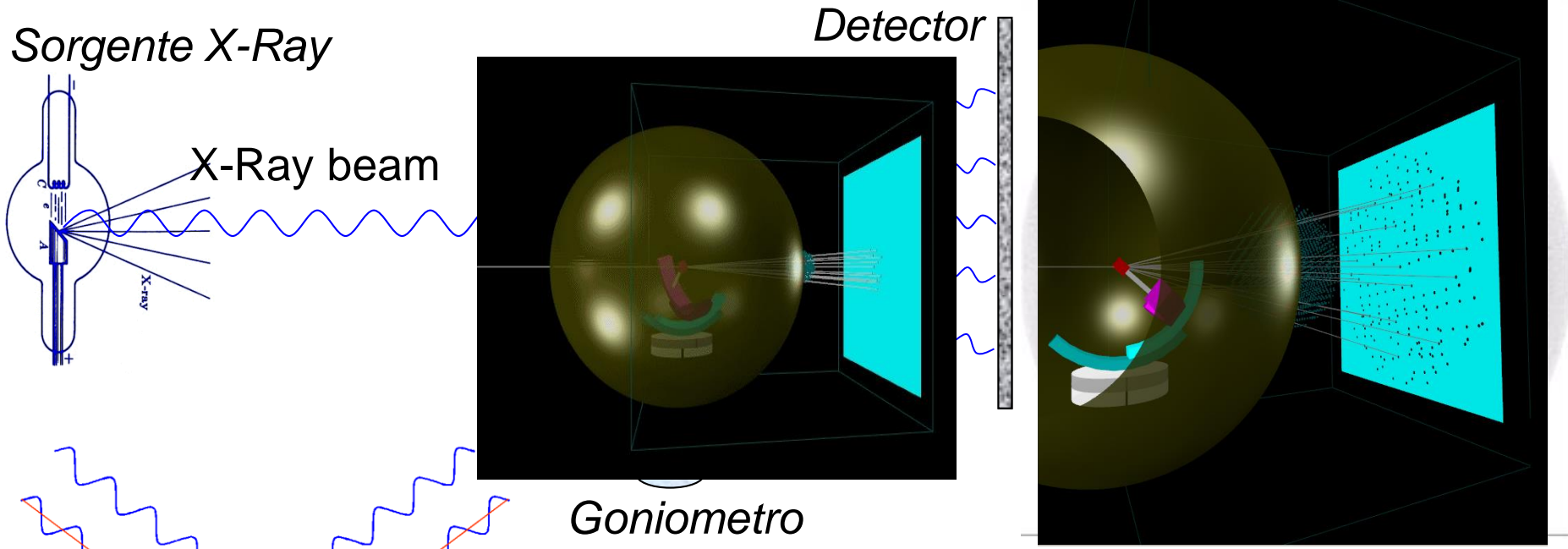
Elettra



Mar-CCD

# ...un tipico esperimento su XRD1: Diffrazione da cristallo singolo

Un cristallo viene analizzato esponendolo ai raggi X e raccogliendo tutti i segnali di diffrazione che può produrre, orientandolo opportunamente con un goniometro



Goniometro

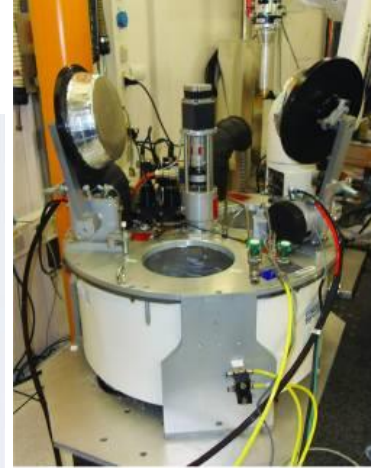
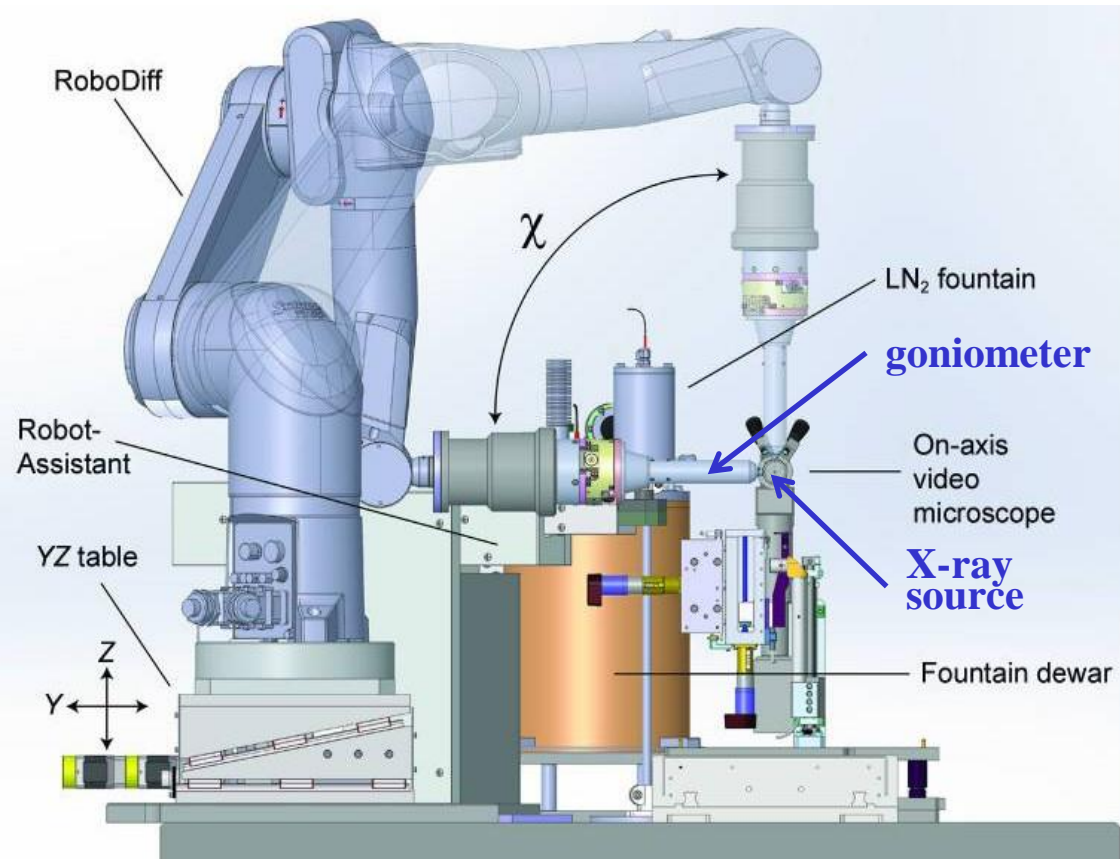
Diffrattogramma

***hkl***

Le direzioni in cui si ha diffrazione sono legate alla metrica del reticolo (e quindi della cella elementare) secondo la “Legge di Bragg”

**Legge di Bragg:**  
$$2d_{hkl} \cdot \text{sen}(\theta_{hkl}) = n \cdot \lambda$$

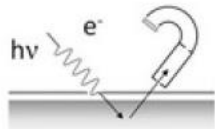
# Automazione



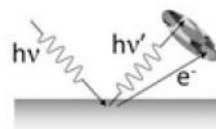
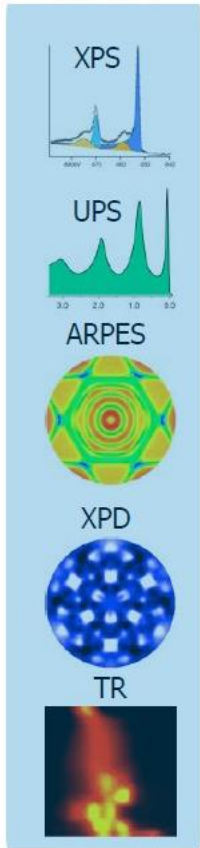
- **Cryo-cooling e cryo-preservation dei campioni:** mantenere i cristalli a 100K ed evitare la formazione di ghiaccio
- **Sistema Automatico di trasferimento del campione:** robotic sample changer & remote control
- **Procedure di Centrazione del campione:** protocolli 2- or 3-click centering
- **VideoCamera:** controllo remote delle operazioni



# Varie tecniche presenti ad Elettra

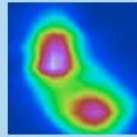


**Photoelectron emission**



**Imaging**

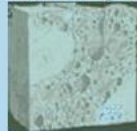
IR microscopy



X ray microscopy



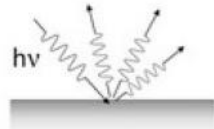
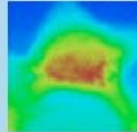
X ray tomography



Photoelectron Mic.

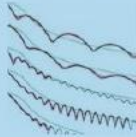


Fluorescent Img.

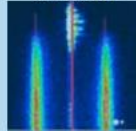


**Scattering**

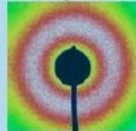
Elastic



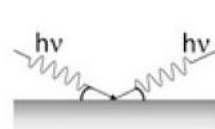
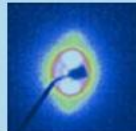
Inelastic



Magnetic

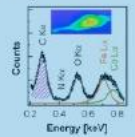


SAXS / WAXS



**Reflection/ Emission**

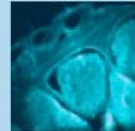
X ray fluorescence



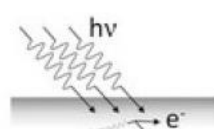
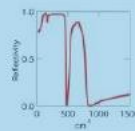
Reflectometry



Micro XRF

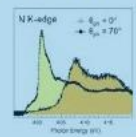


Reflectivity

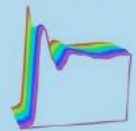


**Absorption**

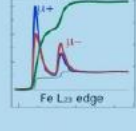
NEXAFS



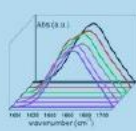
EXAFS



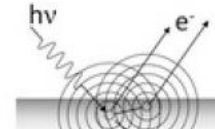
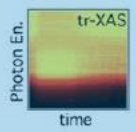
XMCD



Infrared



Time Resolved

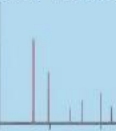


**Diffraction**

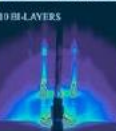
Cristallography



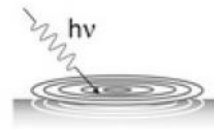
Powder Diffraction



Surface Diffraction



Time Resolved

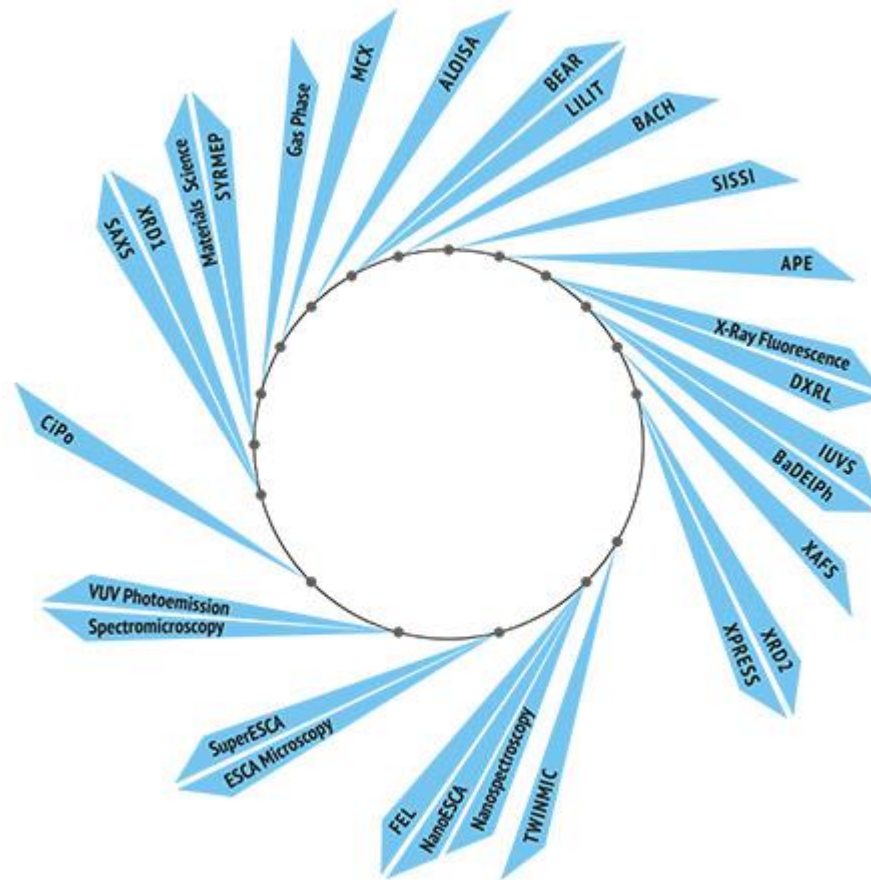


**Lithography**



# Linee di Luce presenti ad Elettra

1.1L	TwinMic
1.2L	Nanospectroscopy
1.2L	NanoESCA
1.2R	FEL
2.2L	ESCA Microscopy
2.2R	SuperESCA
3.2L	Spectromicroscopy
3.2R	VUV Photoemission
4.2	CiPo
5.2L	SAXS
5.2R	XRD1
6.1L	Materials Science
6.1R	SYRMEP
6.2R	GasPhase



MCX	7.1
ALOISA	7.2
BEAR	8.1L
LILIT	8.1R
BACH	8.2
SISSI	9.1
APE	9.2
XRF	10.1L
DXRL	10.1R
IUVS	10.2L
BaDEIPh	10.2R
XAFS	11.1R
XRD2	11.2C
Xpress	11.2R