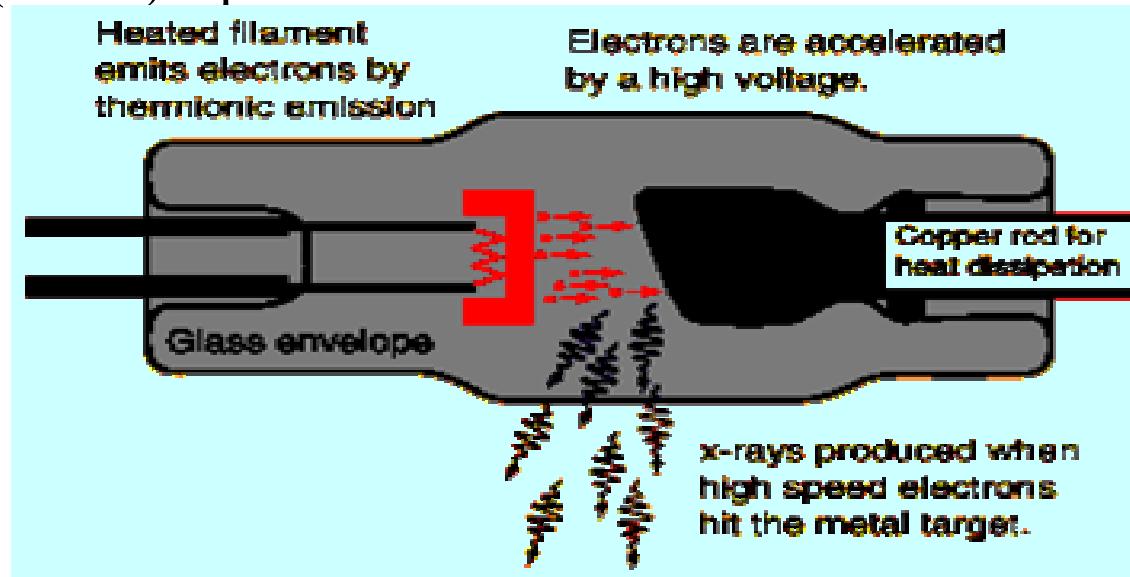


# Origine dei raggi X

I raggi X sono una radiazione elettromagnetica di elevata energia ( $>1$  keV) ottenuta bombardando, in condizione di vuoto spinto, un bersaglio (*target*) metallico con elettroni veloci emessi per emissione termoionica da un *catodo* riscaldato ed accelerati verso un anodo positivo (target).

In seguito ai processi di interazione tra gli elettroni veloci e gli atomi del materiale costituente il target, una parte dell'energia elettronica ( $<1\%$ ) si trasforma in radiazione X, il resto ( $\approx 99\%$ ) è persa sotto forma di calore.



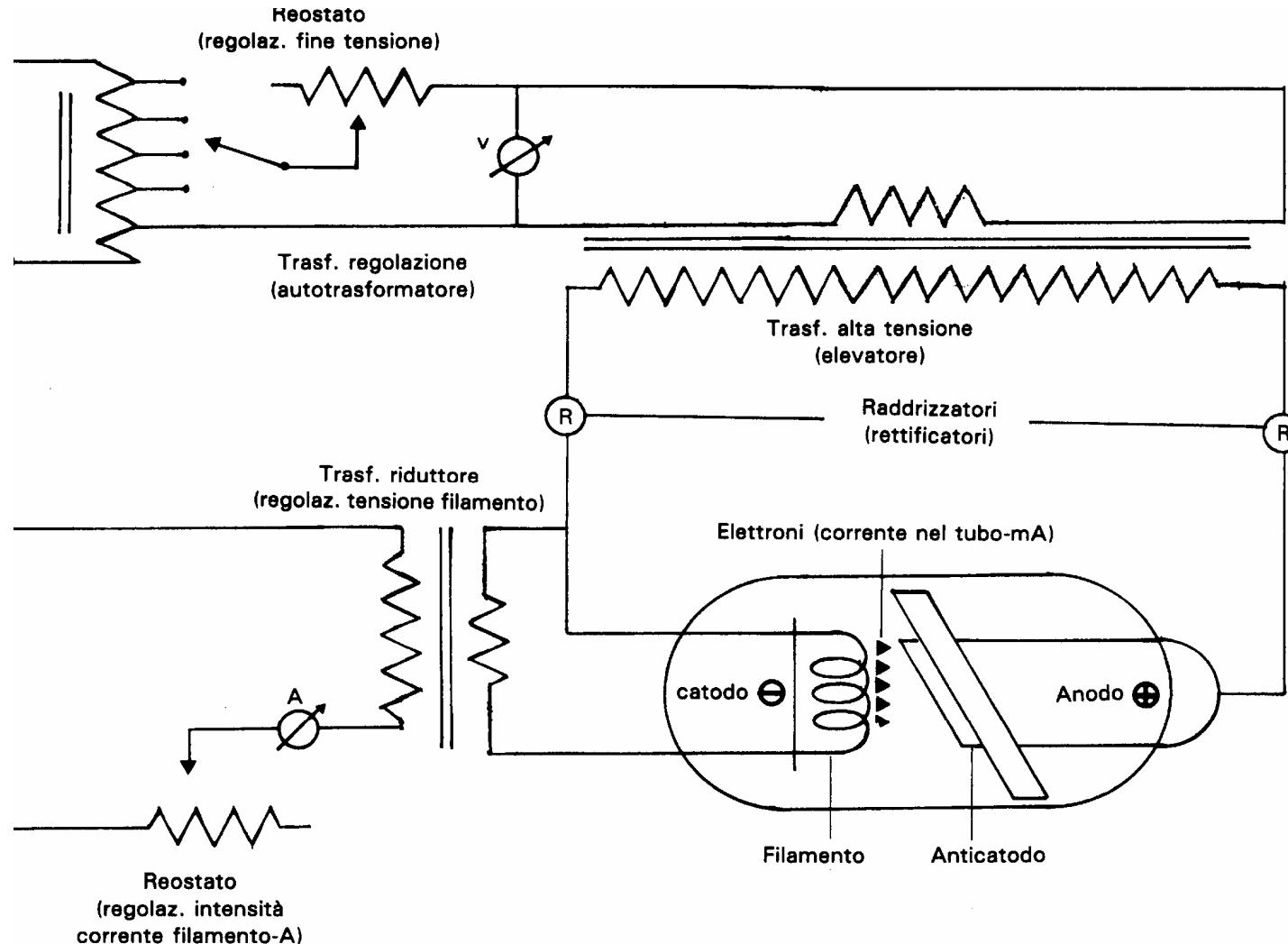
## Interazione con le microonde

Una sorgente di raggi X (o **tubo di Coolidge**) può essere considerata costituita essenzialmente da tre parti fondamentali:

- La *sorgente di elettroni*, rappresentata da un **filamento**, collegato al catodo e dotato di circuito autonomo di alimentazione;
- Il *sistema di accelerazione* degli elettroni che rappresenta il circuito principale di alimentazione del tubo (**alta tensione**), collegato con gli elettrodi del tubo stesso attraverso particolari sistemi di raddrizzamento della corrente;
- Il **bersaglio** contro il quale gli elettroni vengono accelerati e convogliati (anodo).

# Tubo di Coolidge

Una sorgente di raggi X (o **tubo di Coolidge**) può essere considerata costituita essenzialmente da tre parti fondamentali

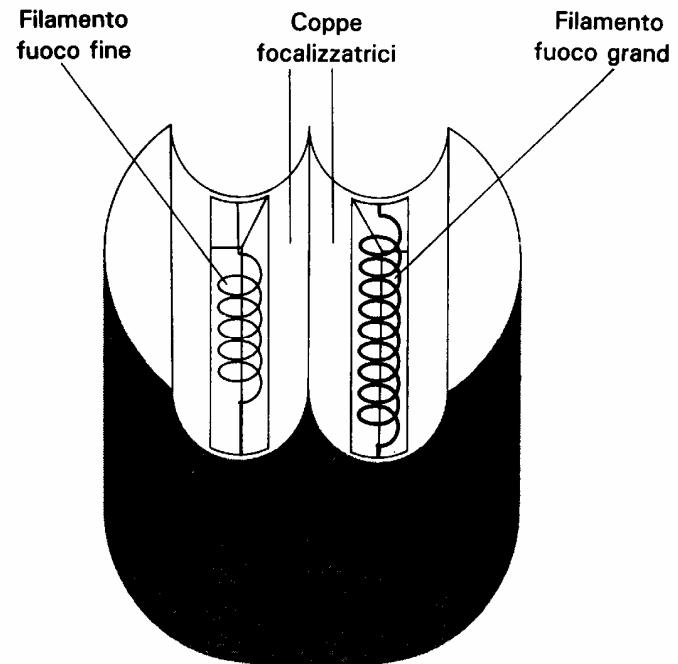


# Catodo e Filamento catodico

Il filamento catodico usualmente impiegato ha la forma di una spiralina.

I tubi di Coolidge sono provvisti di due spiraline di diversa lunghezza e dimensioni in modo da costituire due tipi di fuoco: ***fuoco fine*** e ***fuoco grosso***.

Il catodo e le spiraline sono caricate negativamente in modo tale che gli elettroni emessi per effetto termoelettronico vengono respinti dalle pareti della nicchia focalizzatrice e focalizzati verso l'anodo.



# Intensità di emissione del tubo a raggi X

L'Intensità di emissione dipende da:

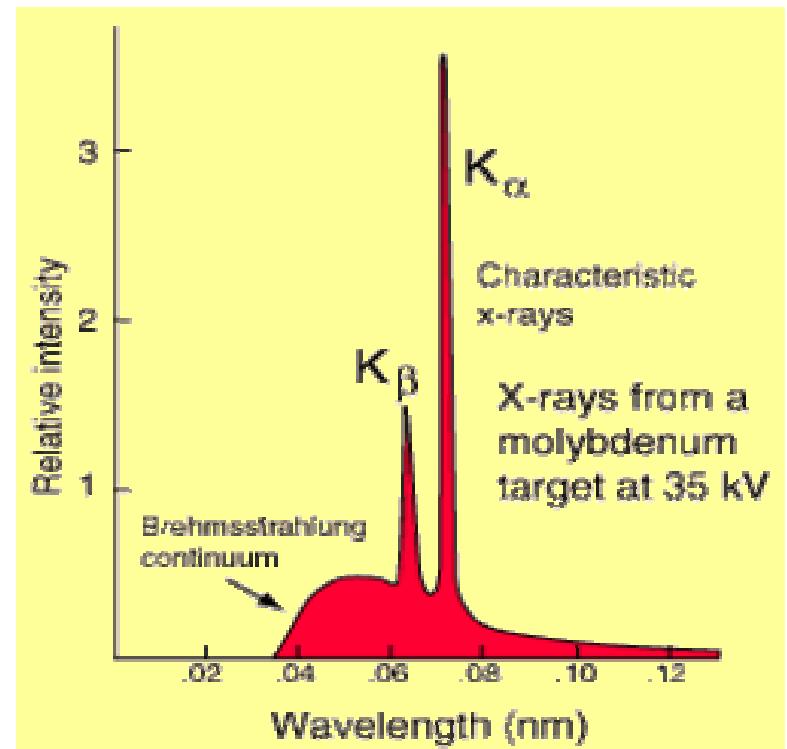
- *temperatura raggiunta dal filamento* (per temperature maggiori a 2000°C si ottengono tipiche correnti di 8÷10A);
- *natura del materiale costituente il filamento* (la probabilità del fenomeno termoelettronico cresce con il numero atomico Z: materiale tipico per le sue proprietà è il tungsteno con Z pari a 74);
- *dimensioni del filamento*: lunghezza e spessore (maggiore sono le dimensioni del filamento maggiore è il numero di atomi e quindi di elettroni).

# Anodo

L'anodo è costituito nella sua struttura tradizionale da un blocco metallico abitualmente di rame collegato al capo positivo del trasformatore; sulla sua superficie contrapposta al catodo è applicato un disco (piatto anodico) rappresentato di solito da una pastiglia di tungsteno (anticatodo).

Gli elettroni provenienti dal catodo ed accelerati dall'elevata d.d.p. interagiscono con gli atomi che costituiscono l'anticatodo mediante due differenti processi:

- *Frenamento*
- *Collisioni con  $e^-$  atomici*



## Anodo

Il materiale costituente l'anticatodo deve essere caratterizzato da un **alto punto di fusione**, da una **buona conducibilità termica** e un **elevato numero atomico Z**.

Il **tungsteno** presenta un punto di fusione di circa 3300°C ed una elevata conducibilità termica. Altri dischi anodici possono essere costituiti da altro materiale come ad esempio il **molibdeno** caratterizzato da un valore basso di Z (pari a 42), ma da uno *spettro di emissione quasi monocromatico.*

## Macchia focale

La zona dell'anticatodo ove avviene l'urto del fascio di elettroni e quindi ove avviene la produzione di fotoni X è detta **macchia focale (fuoco, bersaglio o target)**.

La macchia focale è soggetta a due opposte esigenze: una superficie di impatto ampia per aumentare la dispersione termica (*fuoco termico*), viceversa una macchia focale piccola per ridurre i fenomeni di sfumatura o penombra dell'immagine radiografica (*fuoco ottico*).

## Spettro della radiazione X

Il fascio di radiazioni emesse da un tubo a raggi X è **policromatico** ovvero è composto da radiazioni di differente lunghezza d'onda (o di diversa frequenza) che costituiscono nel loro insieme lo *spettro X*.

La distribuzione spettrale dei fotoni mostra un fondo continuo in cui si distinguono gruppi di righe corrispondenti a radiazioni X monocromatiche (radiazione X caratteristica).

## Spettro della radiazione X: componente continua

La ***componente continua*** è il risultato del processo di decelerazione degli elettroni all'interno del target e conseguente trasferimento di energia a singoli fotoni. Questi fotoni potranno avere una energia che varia con continuità da un valore minimo (0) ad un valore massimo corrispondente all'energia massima degli elettroni  $E_{\max}$  pari a:

$$0 < h\nu < E_{\max} = e V_p$$

essendo  $V_p$  la d.d.p tra catodo e anodo ed  $e$  la carica dell'elettrone.

## Spettro della radiazione X: componente monocromatica

La *componente monocromatica* dello spettro (*spettro caratteristico*) dipende strettamente dalla natura del materiale costituente l'anodo, risultando indipendente dalla d.d.p. stabilita tra gli elettrodi.

*Tale spettro ha origine dall'interazione tra gli elettroni veloci e quelli orbitali più interni degli atomi anodici.*

Gli elettroni veloci cedono parte della loro energia scalzando gli elettroni atomici dalle loro orbite eccitando o ionizzando l'atomo.

## Spettro della radiazione X: componente monocromatica

Per riportare l'atomo alla condizione di stabilità energetica, il vuoto lasciato deve essere immediatamente riempito o da un elettrone delle orbite più esterne (effetto a cascata) o da un elettrone “libero” con conseguente emissione di energia sotto forma di fotoni.

L'energia emessa è pari alla differenza di energia tra i livelli orbitali interessati, quindi a seconda del materiale costituente l'anodo (ovvero per un dato numero atomico Z) o meglio a seconda di come sono distribuiti i livelli energetici, i fotoni emessi saranno caratteristici di quel materiale: ***fotoni monocromatici***.

# Spettro della radiazione X: componente monocromatica

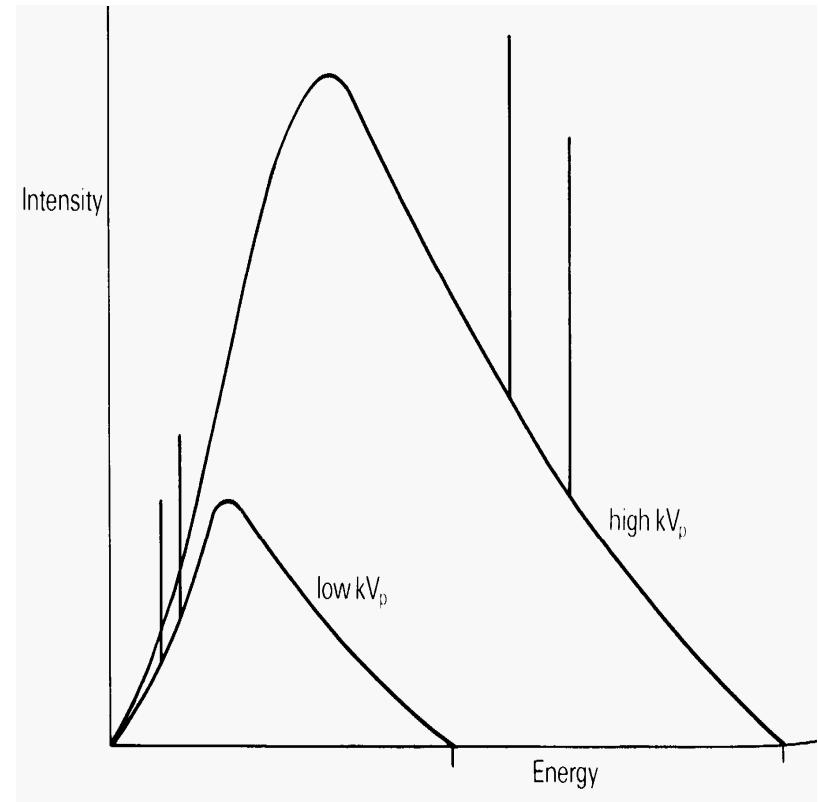
Esempio di transizioni possibili per gli atomi di Tungsteno e Molibdeno

Linee K per il tungsteno			Linee L per il tungsteno		
transizione	Energia (keV)	n.relativo	transizione	Energia (keV)	n.relativo
K-NII	69.08	7	LI-NIII	11.67	10
K-MIII	67.24	21	LII-NIV	11.28	24
K-MII	66.95	11	LIII-NV	9.96	18
K-LIII	59.32	100	LI-MIII	9.82	37
K-LII	57.98	58	LII-MIV	9.67	127
Linee K per il molibdeno			LI-MII	9.52	29
K-M	19.60	24	LIII-MV	8.39	100
K-LIII	17.48	100	LIII-MIV	8.33	11
K-LII	17.37	52			

# Spettro della radiazione X: dipendenza dalla tensione V

La tensione applicata tra gli elettrodi del tubo determina la velocità con cui il fascio di elettroni viene accelerato dal catodo verso l'anodo, quindi l'energia cinetica degli elettroni stessi e l'energia dei fotoni X che ne derivano.

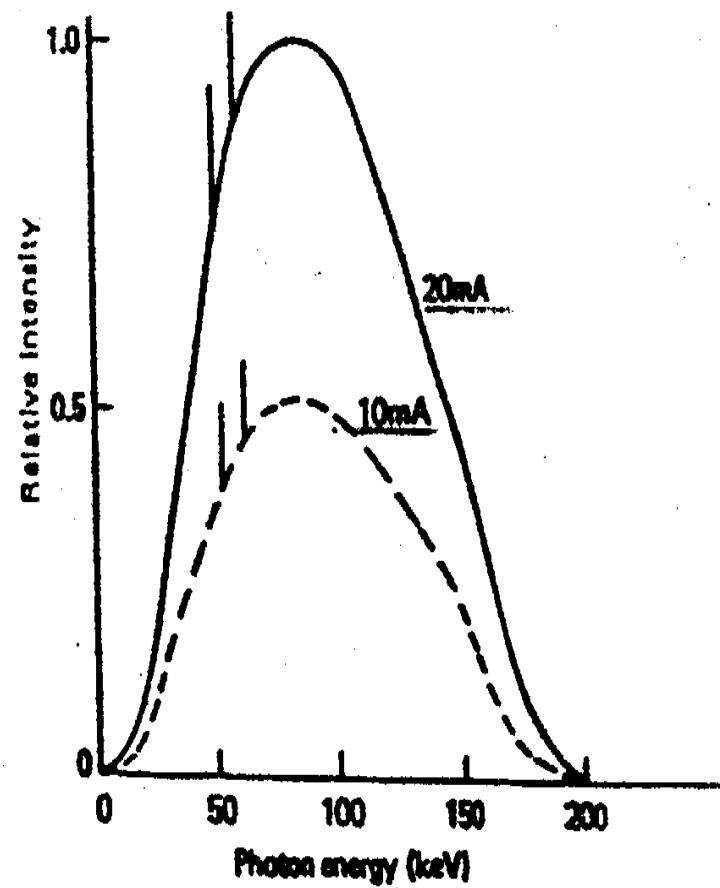
La tensione caratterizza qualitativamente il fascio di radiazione X ed è espressa in termini di **valore massimo** o **tensione di picco (kV<sub>p</sub>)**.



# Spettro della radiazione X: dipendenza dalla corrente I

L'intensità del fascio X è proporzionale all'intensità della corrente applicata al filamento catodico  $\Rightarrow$  alla temperatura raggiunta  $\Rightarrow$  al conseguente flusso elettronico.

L'intensità I caratterizza quantitativamente un fascio di radiazioni X; essa si indica in mA con riferimento all'intensità per unità di tempo del flusso elettronico.



# Spettro della radiazione X: materiale costituente il target

Un aumento del numero atomico  $Z$  del target comporta un aumento dell'intensità del fascio in quanto un valore più grande di massa, dimensione e carica comporta una maggiore probabilità di collisione degli elettroni. *L'intensità totale del fascio radiante risulta proporzionale al numero atomico  $Z$ .*

