

Analisi Mineralogiche

INTRODUZIONE

INTERAZIONE ONDE-MATERIA

I raggi X interagiscono con la materia attraverso urti elastici e anelastici o generando fluorescenza. Nel primo caso non avviene cessione di energia ma solo una deviazione del raggio. L'onda deviata ha la stessa lunghezza d'onda (λ) della incidente: si parla di *radiazione coerente* o *effetto Thompson*. Nel secondo caso viene ceduta una parte dell'energia e le onde diffuse hanno λ differenti: si parla di *radiazione incoerente* o *effetto Compton*. La *fluorescenza* nasce invece a causa della totale cessione di energia agli elettroni del materiale, che sono costretti a compiere un salto quantico verso stati maggiormente energetici (certi elettroni possono perfino essere rimossi). Tale situazione non è stabile e, per tornare alla condizione iniziale, gli elettroni devono compiere un salto

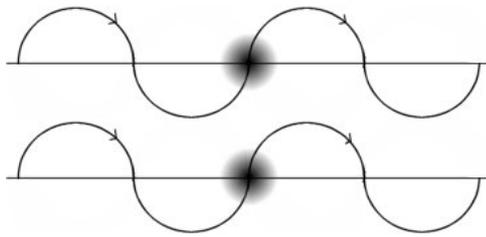


Figura 1 Onde in fase

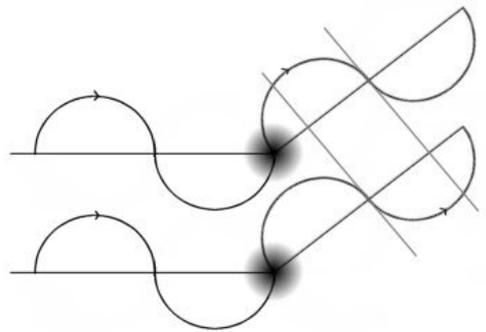


Figura 2 Onde non in fase

quanticamente inverso emettendo una radiazione, detta di fluorescenza, caratteristica del salto quantico e dell'elemento. Per gli studi cristallografici si usa la radiazione coerente.

Immaginiamo di avere un elettrone isolato che viene colpito dai RX. L'elettrone si comporta come una sorgente secondaria di radiazioni, diffondendole in tutte le direzioni.

Immaginiamo ora un atomo, ad esempio con 2 elettroni. Notiamo che le due onde incidenti rimangono in fase solo nella direzione di diffusione corrispondente a quella di incidenza. Per qualsiasi altra direzione, le due onde non saranno più in fase. Tale fenomeno è espresso dal *potere di diffusione atomico*, come si può vedere dal grafico. Notiamo anche che il valore della diffusione aumenta con l'aumentare del numero atomico Z . Questo perché sarà maggiore il numero di elettroni che potranno diffondere raggi X in fase.

Infine, se consideriamo gli atomi entro la struttura del minerale, la diffusione dipende sia dal fattore di diffusione atomico che dalla differenza di fase fra le onde diffuse dai vari atomi.

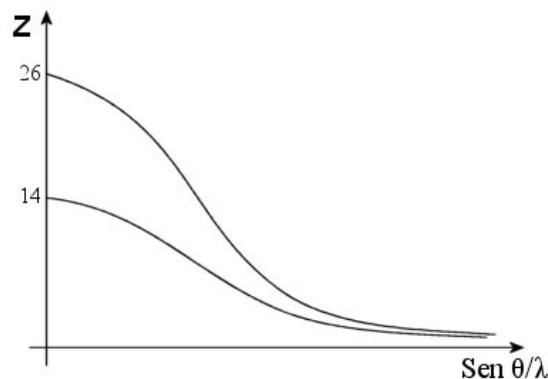


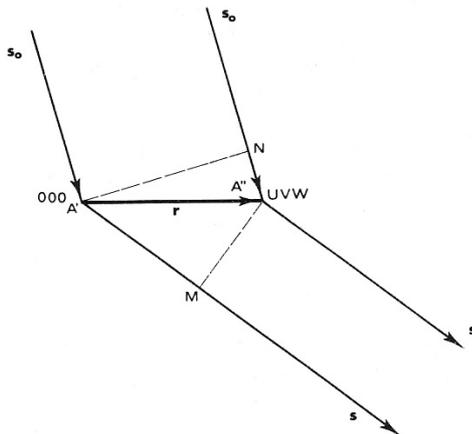
Figura 3 Potere di diffusione atomico

LA TEORIA DELLA DIFFRAZIONE DEI RAGGI X

Esistono 3 modi diversi per descrivere la diffrazione dei raggi X ad opera dei cristalli. Per ora ci limiteremo a considerare solo la geometria della diffrazione, per la quale conta solo la periodicità della struttura cristallina, e non l'intensità, che considereremo in seguito.

a) Equazioni di Laue

Consideriamo un filare reticolare i cui atomi (che ovviamente sono tutti uguali) vengono colpiti dai raggi X. Nel filare, il vettore r che lega due atomi è dato da:



$$r = ua + vb + wc$$

dove u, v e w sono numeri interi corrispondenti agli indici $[uvw]$ del filare reticolare e a, b e c sono i periodi di traslazione. Affinché nella direzione di s vi sia diffusione dei RX, è necessario che le onde diffuse da tutti gli atomi del filare in quella direzione siano in fase. Ciò avviene quando la differenza di cammino tra i due raggi è uguale ad un numero intero di lunghezze d'onda, ossia, se s_0 è la direzione del raggio incidente e s è quella del raggio diffratto, si avrà che:

$$r \times s - r \times s_0 = r \times (s - s_0) = r \times S = n\lambda$$

Figura 4 Le condizioni di Laue

con $S = s - s_0$ (ricordare che il prodotto scalare di un vettore per un versore equivale alla proiezione del vettore nella direzione del versore). Siccome $S = ua + vb + wc$, si avrà che:

$$ua \times S + vb \times S + wc \times S = n\lambda$$

Se tale relazione risulta valida per qualsiasi valore dei numeri u, v e w (in quanto si ha il massimo rafforzamento del raggio diffratto solo quando la radiazione emessa da tutti i nodi è in fase) è possibile scindere tale equazione in tre nuove equazioni:

$$\begin{cases} ua \times S = n\lambda \\ vb \times S = n\lambda \\ wc \times S = n\lambda \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a \times S = h\lambda \\ b \times S = k\lambda \\ c \times S = l\lambda \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{con } h = n/u \\ \text{con } k = n/v \\ \text{con } l = n/w \end{array}$$

Queste equazioni sono le *Equazioni di Laue*.

b) Equazione di Bragg

Bragg considera la diffusione dei raggi X come una riflessione degli stessi sui piani reticolari.

Considerando il diverso cammino delle onde riflesse da piani paralleli si ha che:

$$EB + BG = 2d \sin \theta$$

e quindi

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

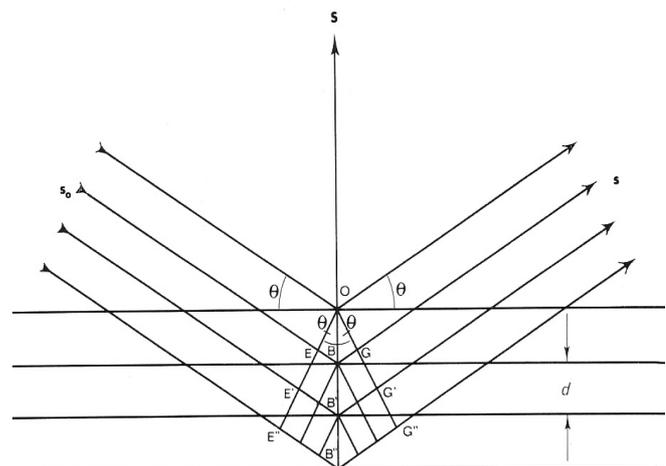


Figura 5 Dimostrazione dell'equazione di Bragg

che è l'Equazione di Bragg, con $n =$ ordine di riflessione. In pratica, una famiglia di piani reticolari caratterizzata da una determinata distanza interplanare "d", rifletterà i raggi X solo per un determinato angolo di incidenza "θ".

C) Reticolo Reciproco

Possiamo vedere la riflessione anche associando al reticolo di traslazione del cristallo (*reticolo diretto*) un nuovo reticolo detto *reciproco* i cui nodi rappresentano ognuno una famiglia di piani reticolari (hkl).

Possiamo riscrivere l'equazione di Bragg nel seguente modo:

$$\sin \vartheta = \frac{n\lambda}{2} \cdot \frac{1}{d} = \frac{n\lambda}{2} \cdot S$$

con $S = 1/d$ *vettore reticolo reciproco* che è perpendicolare ai piani reticolari.

Tutti i vettori **S** vengono applicati ad un punto detto *origine* del reticolo reciproco, mentre sull'altra estremità del vettore è posto il *nodo*. I nodi del reticolo reciproco si ripetono a distanze regolari. Il reticolo reciproco non è però un reticolo periodico, dato che i nodi sono tutti diversi in quanto rappresentativi di diverse famiglie di piani reticolari. Riscrivendo la legge di Bragg nel seguente modo:

$$\sin \vartheta = \frac{\lambda}{2} \cdot (n S_{hkl})$$

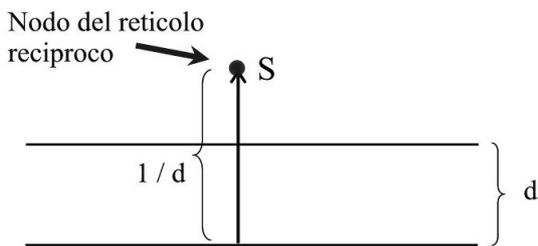


Figura 7 Nodo del reticolo reciproco con la famiglia di piani corrispondenti

Da questa formula si può notare che il valore di S_{hkl} può assumere valori diversi e tra loro multipli, in funzione del valore di n .

Si hanno così un insieme di nodi allineati tutti derivanti dalla stessa famiglia di piani reticolari, dove evidentemente la d è divisa per n .

- $n = 1$ rappresenta i piani del reticolo diretto caratterizzati da d_{hkl} ,
- $n = 2$ rappresenta i piani $d_{hkl}/2$,
- $n = 3$ rappresenta i piani $d_{hkl}/3$, etc.

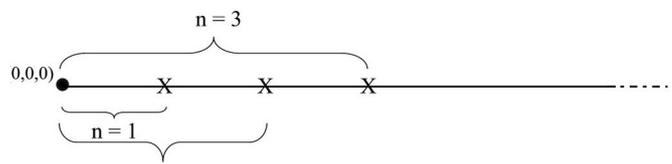


Figura 8 Nodi di ordine diverso

Si possono così rappresentare piani con indici n_h, n_k, n_l non più primi tra loro.

Riassumendo, fra reticolo reciproco e reticolo diretto abbiamo le seguenti differenze:

- I nodi del reticolo reciproco sono tutti diversi fra loro; ciò implica che non possiamo più considerare il reticolo reciproco periodico nel senso dato per il reticolo diretto; periodico, per quest'ultimo indica che i nodi, non solo si ripetono a distanze regolari, ma sono anche tutti uguali, mentre per il reticolo reciproco significa solo che i nodi si ripetono a distanze regolari;

- L'origine del reticolo reciproco è fissa mentre non lo è per il diretto;
- L'origine del reticolo reciproco è centro simmetrico, caratteristica che viene espressa dalla *Legge di Fridel*.

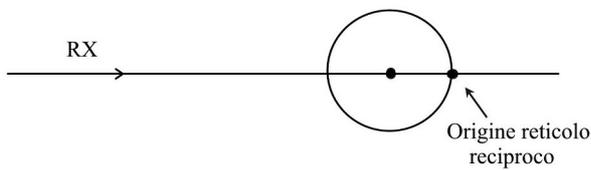


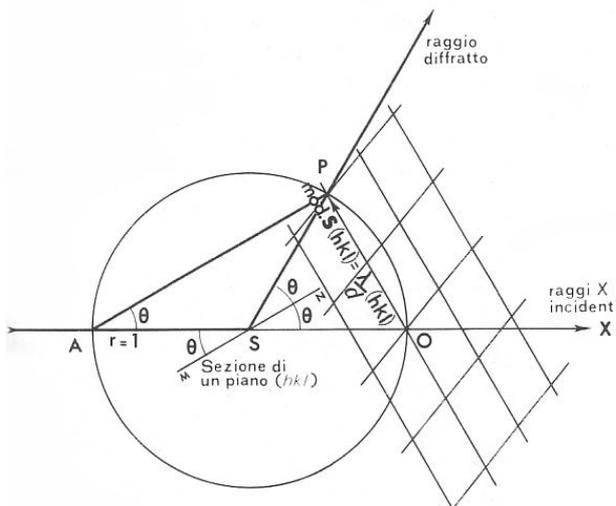
Figura 9 Sfera di riflessione

Vediamo ora, in pratica, come si applica il reticolo reciproco alla diffrazione dei raggi X.

Quando un cristallo viene colpito dai RX, ad esso viene associata una *sfera di riflessione* con il cristallo posto al suo centro e con raggio proporzionale all'inverso della lunghezza d'onda dei RX.

Diametralmente opposto rispetto all'entrata dei raggi, si trova l'origine del reticolo reciproco:

Quando un nodo del reticolo reciproco è tangente alla sfera di riflessione, si ha emissione di RX nella direzione definita dal centro della sfera e dal punto di tangenza.



L'angolo PŜO vale 2θ e viene detto *angolo di diffrazione*. In tal modo risulta soddisfatta l'equazione di Bragg, infatti:

$$OP = AO \cdot \sin \vartheta = \frac{2}{\lambda} \sin \vartheta$$

e poiché $OP = 1/d$, avremo che:

$$\frac{1}{d} = \frac{2}{\lambda} \sin \vartheta \Rightarrow \lambda = 2d \sin \vartheta$$

che è proprio la legge di Bragg.

Figura 10 Geometria della diffrazione dei raggi X

In tale equazione non compare il termine n perché, nel reticolo reciproco, ogni nodo (che per $n > 1$ sarà ovviamente più lontano dall'origine) comporta una diffrazione di primo ordine. Bisogna inoltre notare che non tutti i nodi del reticolo reciproco daranno diffrazione in quanto quelli il cui $S = 1/d$ sarà maggiore del diametro della sfera di riflessione ($2/\lambda$) non potranno mai essere tangenti alla stessa. Quindi le famiglie di piani reticolari che possono dare diffrazione devono avere una distanza interplanare maggiore o uguale alla metà della lunghezza d'onda dei raggi X, in quanto:

$$S = \frac{1}{d} \leq \frac{2}{\lambda} \Rightarrow d \geq \frac{\lambda}{2}$$

Possiamo così costruire la sfera, centrata nell'origine del reticolo reciproco, contenente tutti i nodi che potranno dare luogo a diffrazione: e chiameremo questa sfera "*sfera limite*".

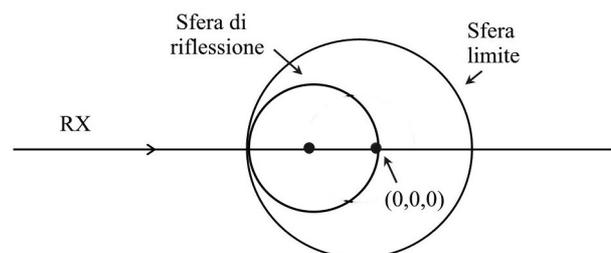


Figura 11 Sfera di riflessione e sfera limite

INTENSITA' DI DIFFRAZIONE

L'intensità della diffrazione è espressa dalla seguente relazione:

$$I_{hkl} = K \cdot LP \cdot A \cdot m \cdot F_{hkl}^2$$

dove K è una costante, che dipende dalla superficie investita dai RX, dalla massa dell'elettrone, etc.; LP è l'effetto di *Lorentz-polarizzazione*, che dipende da fattori strumentali che implicano la polarizzazione dell'onda riflessa; A è l'assorbimento dei RX da parte del materiale; m è la *molteplicità* in base alla quale è possibile che si sommino gli effetti di più famiglie di piani reticolari caratterizzate dalla stessa distanza interplanare, ed F_{hkl}^2 rappresenta l'ampiezza dell'onda emessa in una determinata direzione dagli atomi presenti.

STRUMENTAZIONE

Le analisi ai RX possono essere realizzate sfruttando due diverse metodologie:

- Metodo delle polveri
- Metodo del cristallo singolo.

Innanzitutto vediamo come si producono i raggi X

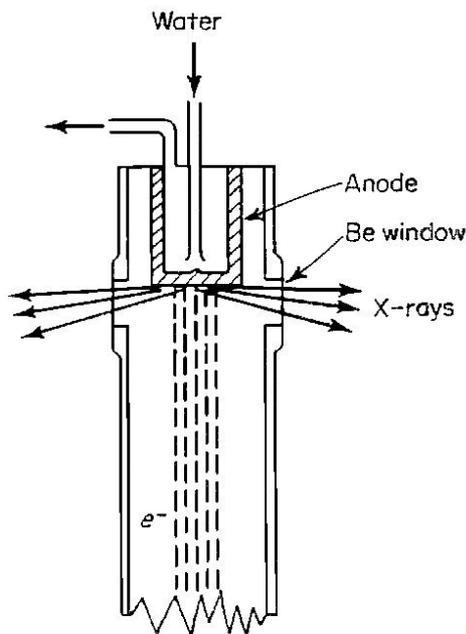


Figura 17 Sezione del tubo per la produzione dei raggi X

La produzione dei RX è ottenuta grazie al frenamento degli elettroni, prodotti da un filamento percorso da corrente elettrica, da parte di una placca metallica. Gli elettroni possono essere fermati per urti successivi ed, in questo modo, cedono gradualmente energia provocando l'emissione di una radiazione continua cioè con lunghezza d'onda variabile.

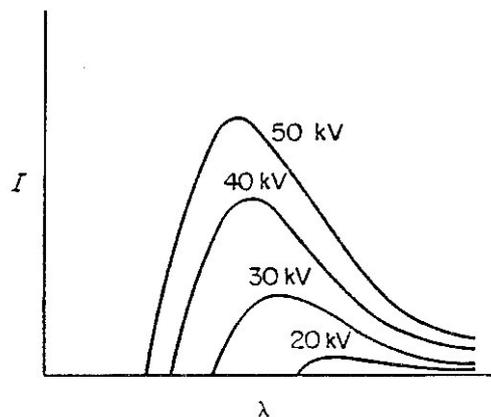


Figura 18 Spettro continuo dei raggi X

Notiamo che maggiore è la d.d.p. applicata, minore sarà la λ minima prodotta. Infatti vale la seguente:

$$\lambda_{\min} = 12398/V_{\text{acc}}$$

dove per V_{acc} si intende la velocità di accelerazione che dipende dalla d.d.p..

Se la cessione di energia da parte dell'elettrone è totale e non avviene per urti successivi, anche gli elettroni più interni degli atomi della placchetta metallica vengono rimossi dagli orbitali. Per ritornare al loro livello energetico originario, emettono energia, producendo raggi X con λ caratteristica dell'elemento di cui è costituita la placchetta metallica e del salto quantico compiuto. Lo spettro caratteristico, presenta vari picchi, tra i quali i principali, o meglio i più intensi sono detti K_{α} e K_{β} , con K_{α} più intenso e con λ maggiore di K_{β} .

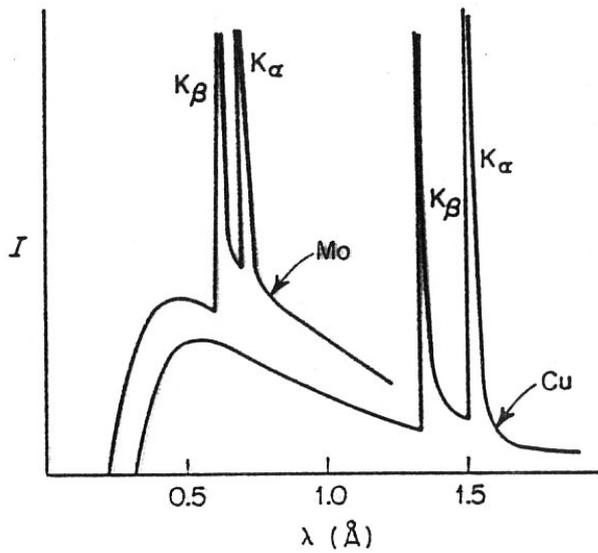


Figura 19 Picchi nello spettro continuo

La legge di Bragg prevede l'uso di una radiazione monocromatica, mentre i RX

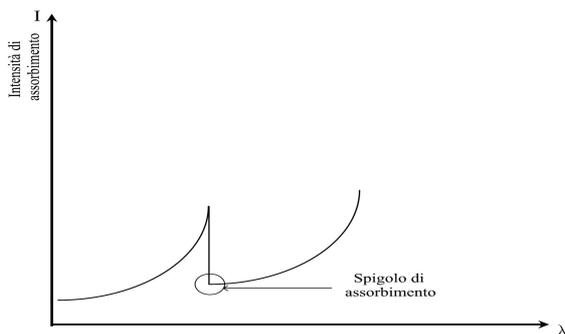
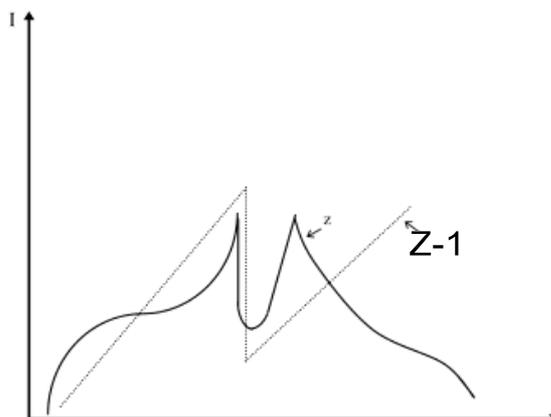


Figura 21 Lo spigolo di assorbimento

I filtri si interpongono fra il generatore di RX e il campione. Ogni filtro presenta il massimo assorbimento in corrispondenza dello spigolo di assorbimento che corrisponde ad una λ diversa a seconda dell'elemento usato



Il picco K_α corrisponde al salto quantico dal livello L a quello K, mentre K_β corrisponde al salto quantico dal livello M a K.

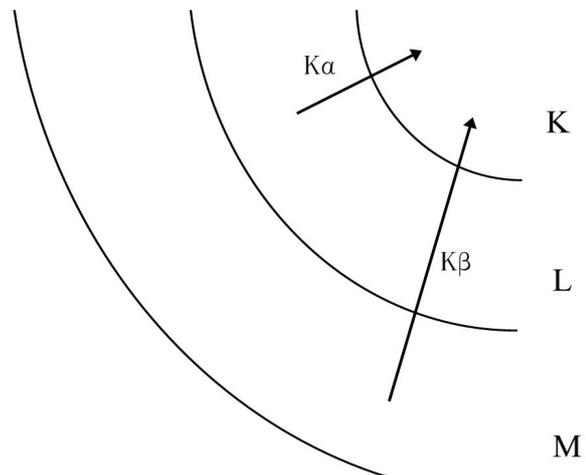


Figura 20 Diverse tipologie di salto quantico

prodotti presentano uno spettro pressoché continuo. Per selezionare una sola λ (si usa K_α perché ha una intensità maggiore) si possono usare due metodi:

- Quello dei *filtri*
- Quello del *monocromatore*.

In genere, se vogliamo eliminare la K_β di un elemento di numero atomico z , si usa un filtro costituito da un elemento con numero atomico $z - 1$. In tal modo lo spettro caratteristico di quest'ultimo avrà K_α e K_β spostati verso λ maggiori.

Pertanto il suo spigolo di assorbimento cadrà subito dopo la K_β da eliminare.

Figura 22 Spettro caratteristico del filtro sovrapposto a quello da filtrare

Il metodo del monocramatore sfrutta la legge di Bragg. Infatti, investendo con i RX un cristallo orientato in modo da mettere in riflessione una famiglia di piani reticolari a d_{hkl} nota, è possibile, selezionando un certo angolo di riflessione, ottenere la riflessione di una unica λ , quella che soddisfa la legge di Bragg. Per gli studi cristallografici si usano soprattutto le λ derivanti da tubi con anodo al rame (λ 1,542 Å) o al molibdeno (λ = 0,71Å).

Per la rilevazione degli effetti della diffrazione dei RX si usano le pellicole o i contatori. Le prime sono molto simili a quelle fotografiche ma presentano i sali d'argento su entrambi i lati (come quelle per le lastre mediche). La pellicola permette di registrare la posizione dei nodi (che danno indicazioni sulla geometria del cristallo) e l'intensità di diffrazione proporzionale all'annerimento. Quest'ultimo può essere misurato o per confronto con delle scale, o attraverso i *microdensitometri*. I contatori sono essenzialmente di due tipi diversi:

1. il *contatore GEIGER*
2. lo *scintillatore*.

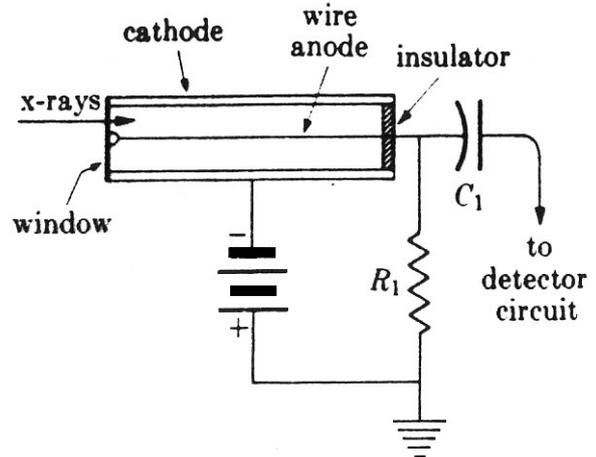


Figura 23 Contatore Geiger

Il contatore Geiger è costituito da un tubo contenente un gas inerte e un filamento. I RX entrando nel tubo ionizzano gli atomi del gas. Gli elettroni rimossi, vengono attratti dal filamento che funge da anodo, producendo nel percorso altre coppie ioniche. Il contatto con il filamento produce un passaggio di corrente elettrica che viene misurato.

Lo scintillatore è costituito da un cristallo fluorescente ai RX. Generalmente si usa NaCl drogato con Tallio. La luce emessa è molto bassa e deve essere amplificata tramite l'uso di un *fotomoltiplicatore*. Lo scintillatore viene usato soprattutto per il metodo del cristallo singolo. Poiché l'effetto di fluorescenza termina nel momento in cui il cristallo non viene più colpito dai RX, tale tipo di contatore risulta molto efficiente.

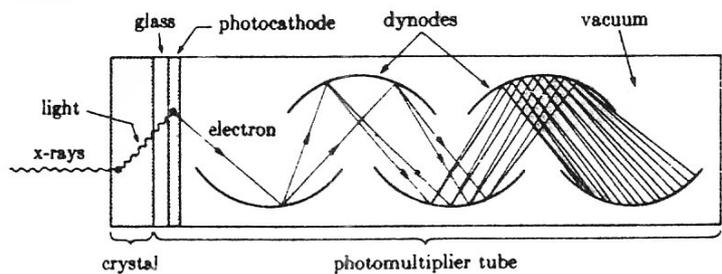


Figura 24 Contatore a scintillazione con fotomoltiplicatore

METODO DELLE POLVERI

Questa metodologia prevede il bombardamento con i RX di una polvere cristallina. Ai cristalli componenti la polvere sono associati i reticoli reciproci, tutti aventi la stessa origine, ma con orientazione casuale, proprio come i vari cristallini. Si può immaginare che ad ogni famiglia di piani reticolari, caratterizzati da una d_{hkl} , non si associ una singolo vettore S ma un insieme di vettori S tutti uguali e variamente orientati, di modo che la loro estremità libera, giace su una sfera, il cui raggio è proprio il modulo del vettore $S=1/d_{hkl}$.

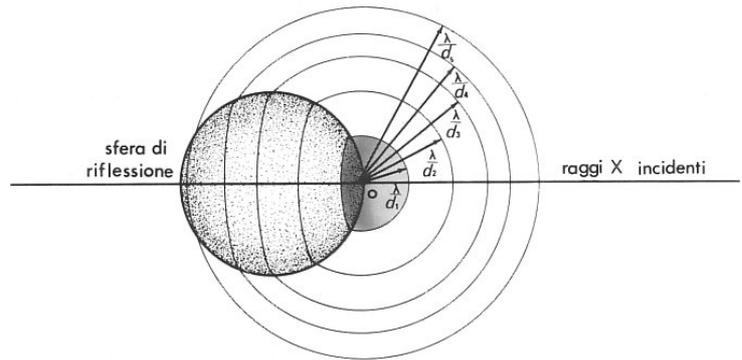


Figura 25 Sfere concentriche create dal vettore S

Ognuna di queste sfere interseca la sfera di riflessione secondo una circonferenza e pertanto i RX diffratti non andranno in una sola direzione, ma formeranno un cono.

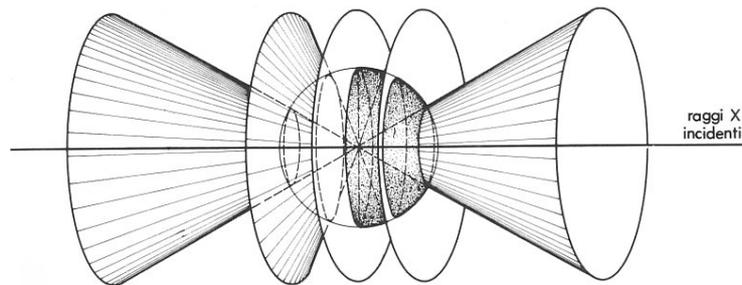


Figura 26 Coni di diffrazione

Ogni cono presenta un angolo di apertura pari a 4θ . Se $4\theta = 180^\circ$ il cono degenera in un piano, mentre se $4\theta > 180^\circ$ il cono si apre nella direzione dei RX. Per registrare gli effetti della diffrazione con tale tecnica, si possono usare sia le pellicole che i contatori. L'uso della pellicola prevede l'avvolgimento della stessa attorno al campione: in tal modo si possono "fotografare" i coni di diffrazione.

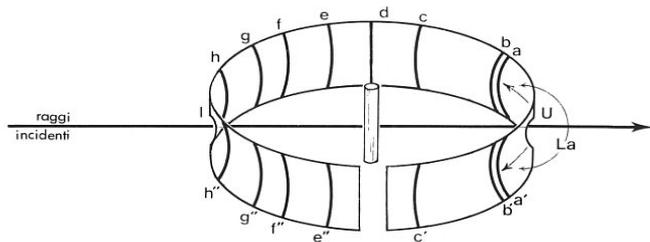


Figura 27 Avvolgimento della pellicola

L'avvolgimento della pellicola può essere simmetrico (metodo *Debye*) o asimmetrico (metodo *Straumanis*). Solitamente si sceglie una pellicola di dimensioni precise in modo che, misurando la distanza dei coni dal punto di uscita dei raggi X, è possibile ottenere direttamente il valore corrispondente

dell'angolo di Bragg. Infatti:

$$2\pi R : 360 = 2L : 4\theta$$

con $2L$ = apertura del cono in mm. Quindi:

$$\theta = \frac{360 \cdot 2L}{2\pi R \cdot 4} = \frac{90 \cdot L}{\pi R}$$

Quindi si avrà che $\theta = L$ (e quindi, come già detto, sarà possibile leggere θ misurando L) quando:

$$\frac{90}{\pi R} = 1 \quad \text{cioè} \quad R = \frac{90}{\pi} = 28,65 \text{ mm}$$

Calcolato θ , con la legge di Bragg, è possibile anche determinare la distanza interplanare dei piani che hanno generato la diffrazione. E' inoltre possibile valutare l'intensità di diffrazione studiando l'annerimento della pellicola e confrontandolo con una scala:

FF → F → M → D → DD
 Fortissimo Forte Medio Debole Debolissimo

Nel fare le misurazioni sulla pellicola, è necessario, inoltre, valutare la possibile deformazione della pellicola che può nascere, ad esempio, in fase di sviluppo. Si deve quindi calcolare un fattore di correzione:

$$\frac{90 \text{ mm}}{U - E}$$

dove U = punto d'uscita ed E = punto d'entrata e con U - E che, teoricamente, dovrebbe essere 90 mm.



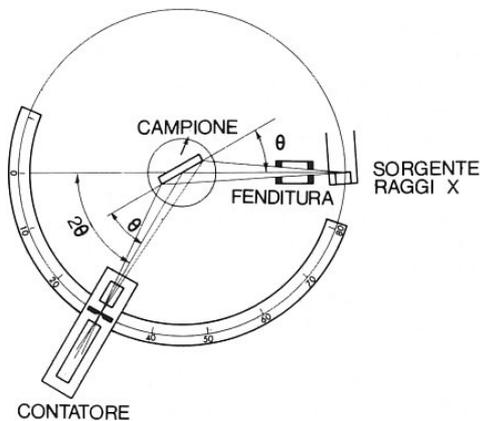
Figura 28 Strumento per il metodo delle polveri con pellicola



Figura 29 Strumento per il metodo delle polveri con pellicola



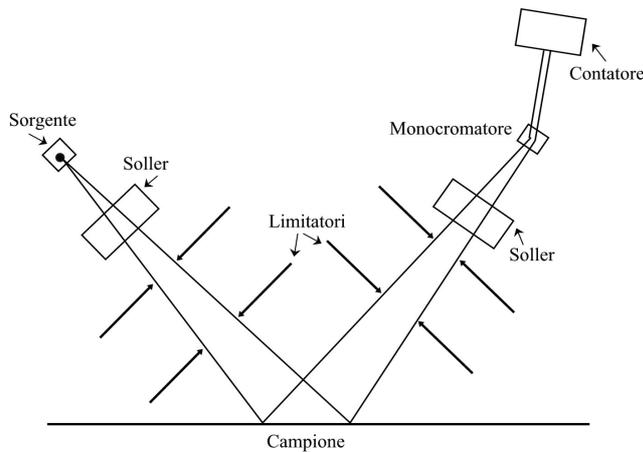
Figura 30 Strumento per la misurazione delle distanze dei coni sulla pellicola



La stessa tecnica può essere impiegata con l'uso dei contatori. Per registrare gli effetti della diffrazione, il contatore viene fatto ruotare attorno al campione delle polveri. Anche quest'ultimo ruota, ma, mentre il contatore ruota di 2θ , il campione ruota di θ mandando in diffrazione i diversi piani reticolari.

Figura 31 Uso del contatore per il metodo delle polveri

La strumentazione usata con il metodo delle polveri e il contatore, è la seguente:



I raggi X emessi dalla sorgente vengono controllati per quanto riguarda la divergenza orizzontale mediante le *Lamine di Soller*, mentre per quella verticale mediante dei limitatori. Prima del contatore si trova il monocromatore che seleziona una precisa λ dei RX diffratti. Il contatore è collegato ad un registratore (che può essere sia analogico che digitale) che registra l'angolo di diffrazione 2θ e l'intensità della diffrazione.

Figura 32 Schema della strumentazione per il metodo delle polveri

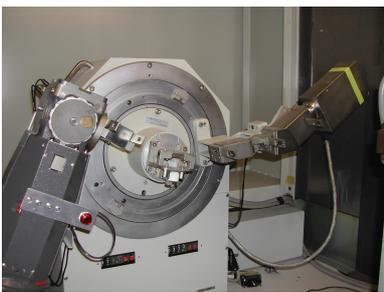


Figura 33 Diffrattometro delle polveri

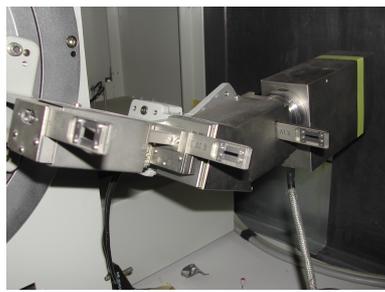


Figura 34 Lamine di Soller

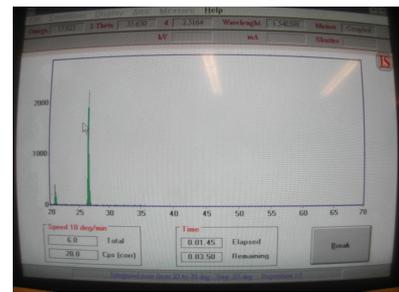


Figura 35 Diffrattogramma ottenuto al computer

Dalla registrazione dell'angolo 2θ relativo ai vari picchi di intensità nel diffrattogramma, è possibile calcolare la distanza interplanare corrispondente. Infine si passa al riconoscimento del minerale attraverso il *Manuale di Hanavalt* che presenta, per ogni minerale, le distanze interplanari corrispondenti agli effetti di diffrazione più intensi.

METODO DELLA FLUORESCENZA

Questo metodo sfrutta la fluorescenza prodotta da un minerale quando viene colpito dai RX. La radiazione prodotta dalla fluorescenza viene selezionata da un cristallo monocromatore, e raccolta da un contatore. Analizzando la lunghezza d'onda di tale radiazione si ottiene l'elemento chimico che ha prodotto la radiazione (analisi qualitativa del materiale analizzato), mentre misurando l'intensità della radiazione, si può calcolare la percentuale in peso dell'elemento (analisi quantitativa). Per fare questo, sono però necessarie delle opportune curve di taratura che mettano in relazione l'intensità della radiazione con la percentuale in peso dell'elemento.

METODO DEL CRISTALLO SINGOLO

Tale metodologia si basa sull'analisi di un singolo cristallo di dimensioni minori o prossime al decimo di millimetro. Si possono usare strumenti come il *diffratometro a 4 cerchi* che, permettendo la rotazione nello spazio del cristallo, riesce ad inviare verso un contatore i RX diffratti da ogni famiglia di piani reticolari.

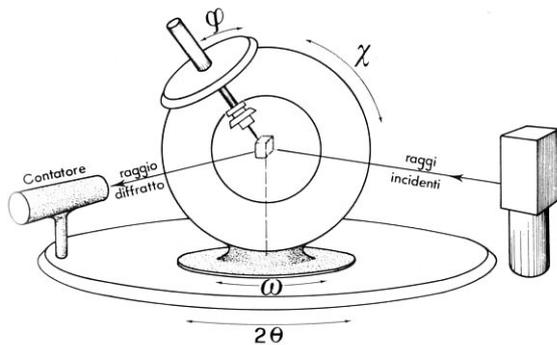


Figura 36 Diffratometro a 4 cerchi

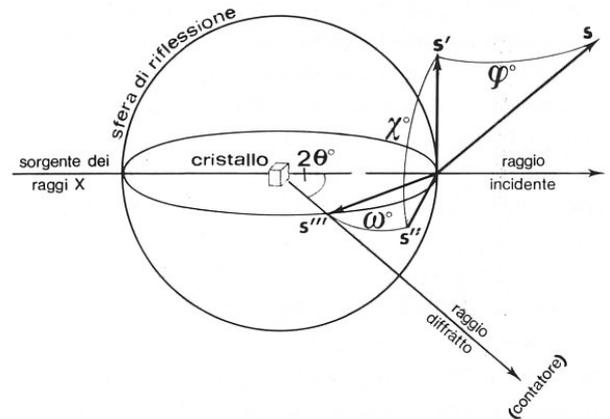


Figura 37 Schema diffratometro a 4 cerchi

Grazie ai 4 cerchi, ogni nodo del reticolo reciproco viene portato a contatto con la sfera di riflessione, ottenendo emissione dei RX. I 4 cerchi sono:

- Cerchio φ : ruota il cristallo portando il vettore S nel piano perpendicolare ai RX incidenti.
- Cerchio χ : porta il vettore S nel piano definito dalla direzione dei raggi X e dal contatore.
- Cerchio ω : porta il nodo del reticolo reciproco sulla sfera di riflessione.
- Cerchio 2θ : ruota il contatore nella direzione dei RX diffratti.

Figura 38 Diffratometro automatico
KUMA KM4



APPENDICE 1 SEPARAZIONE DEI MINERALI

Il primo passaggio per ottenere, da una roccia compatta, la separazione dei minerali consiste nell'uso del *frantoio a ganasce* per trasformare il campione in un frantumato. Solitamente, per gli studi, serve almeno 1,5 Kg di roccia.



Figura 39 Frantumato



Figura 40 Frantoio a ganasce

Si passa quindi alla separazione granulometrica che, per mezzo di due setacci, permette di separare i clasti troppo grandi o troppo piccoli, non utili per gli studi. Si usano tagli da 62,5 e da 177 micron perché generalmente questa è la frazione granulometrica in cui si concentrano i minerali pesanti. Quindi, si passa il campione nella vasca ad ultrasuoni che, mediante onde ad alta frequenza, disgrega il campione favorendo la scissione dei vari granuli. Tale procedimento viene ripetuto più volte al fine di ottenere una migliore pulizia del campione. Quindi il campione viene seccato in stufa.



Figura 41 Vasca ad ultrasuoni



Il campione così trattato viene inserito nel *separatore magnetico (Franz)* che permette di separare i minerali in funzione della loro suscettività magnetica. Il campione, inserito in un contenitore ad imbuto, viene fatto scorrere in due canali che passano all'interno di un campo magnetico creato da una bobina. Per tale ragione, i minerali magnetici scivolano in un canale diverso di quelli non magnetici e vengono raccolti in due

Figura 42 Separatore magnetico

contenitori diversi.

Questo sistema funziona naturalmente solo con i minerali magnetici. Se dobbiamo separare tra di loro minerali non magnetici, spesso si usano i *liquidi pesanti* che sfruttano diversità di densità per la separazione.



Figura 43 Separazione dei minerali magnetici e non magnetici

Si passa quindi all'analisi al microscopio. Il campione costituito da minerali non magnetici appare molto chiaro a causa dell'assenza del ferro. Contrariamente, tra i minerali ad alta suscettività magnetica è possibile trovare elementi chiari; infatti sia la calcite può contenere piccole percentuali di ferro, sia il feldspato può alterarsi in argille che possiedono anch'esse tale elemento. Viceversa la parte del campione altamente magnetica (quella che si attacca alla bobina durante la separazione) appare più scura, denotando una differenza più marcata.

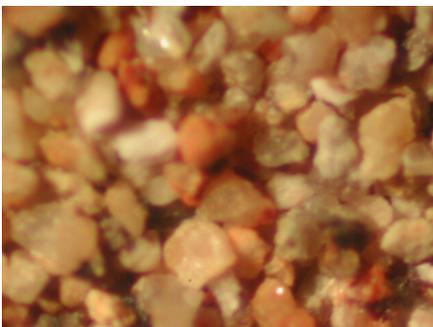


Figura 44 Minerali magnetici visti al microscopio



Figura 45 Minerali non magnetici visti al microscopio

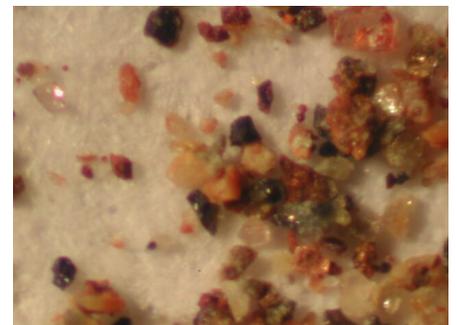


Figura 46 Minerali fortemente magnetici visti al microscopio

APPENDICE 2

PREPARAZIONE CAMPIONE PER METODO DELLA FLUORESCENZA E DELLE POLVERI



Figura 47 Mortaio in carburo di tungsteno nella macchina per la frantumazione

Per tali analisi, non occorre effettuare la separazione dei singoli cristalli ma basta trasformare il campione in polvere. Si frammenta grossolanamente il campione (ad esempio con il martello da geologo) e lo si pone in un mortaio in carburo di tungsteno. Si inserisce il mortaio in una macchina che provvede allo sbriciolamento tramite veloci movimenti circolari. Si ottiene così una polvere.



Figura 48 Mortaio in agata nella macchina per la frantumazione

Altro tipo di mortaio è quello in agata e viene usato in particolare per i carbonati che potrebbero incrostare il precedente strumento. Il campione viene posto in un mortaio insieme ad alcune sfere in agata e il contenitore viene fatto ruotare velocemente da una macchina fino alla completa polverizzazione. Tale procedimento è sufficiente per le analisi delle polveri che devono solo essere inserite in un portacampione.

Se invece si devono fare analisi chimiche con il metodo della fluorescenza si deve trasformare la polvere in una pastiglia. E' quindi necessario prima passare la polvere in un mortaio amalgamandola con la colla Moviol, poi porla in un contenitore insieme a acido borico e cera che servono da isolanti e, infine, inserirla nella pressa per ottenere la pastiglia.



Figura 49 Mortaio



Figura 50 Inserimento della polvere nel contenitore



Figura 51 Portacampione



Figura 53 Pastiglia per le analisi chimiche



Figura 52 Pressa