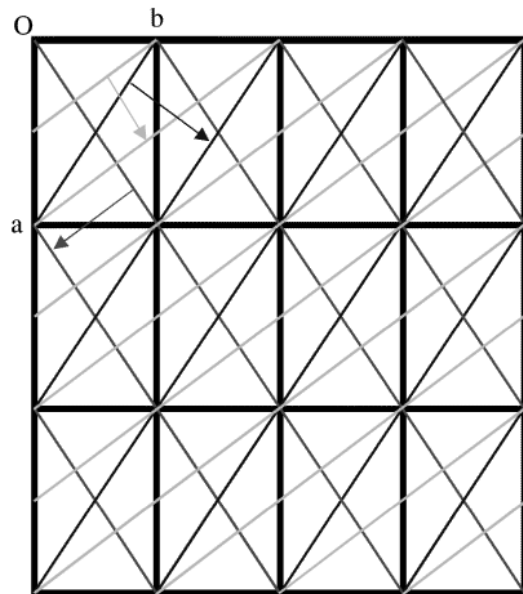
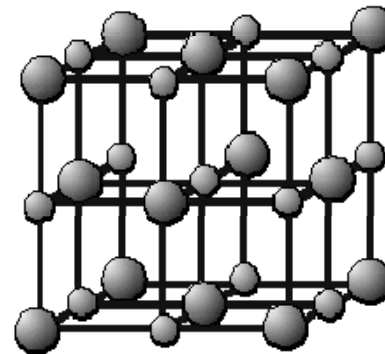


Diffrazione di raggi X

I **cristalli** hanno la proprietà di diffrangere i raggi X.
Da esperimenti di diffrazione X si hanno informazioni sulla struttura fine dei minerali

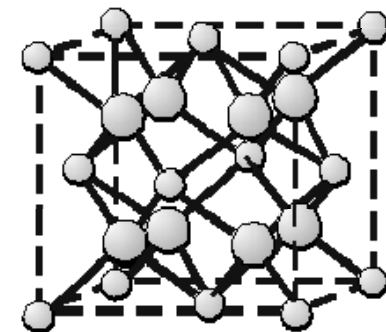


Halite structure



● Na ● Cl

Fluorite structure



● Ca ● F

Metodo diagnostico e Studio delle proprietà cristallografiche di un minerale.

In un cristallo la distribuzione omogenea periodica di atomi è descrivibile da un

reticolo di ripetizione

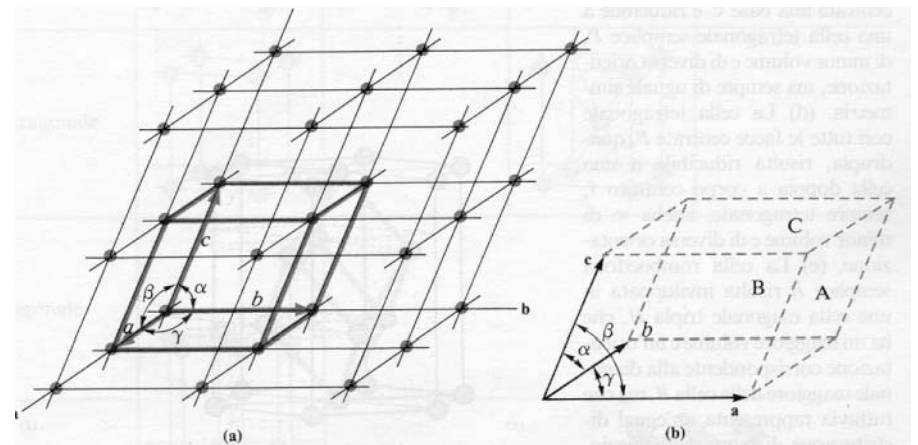
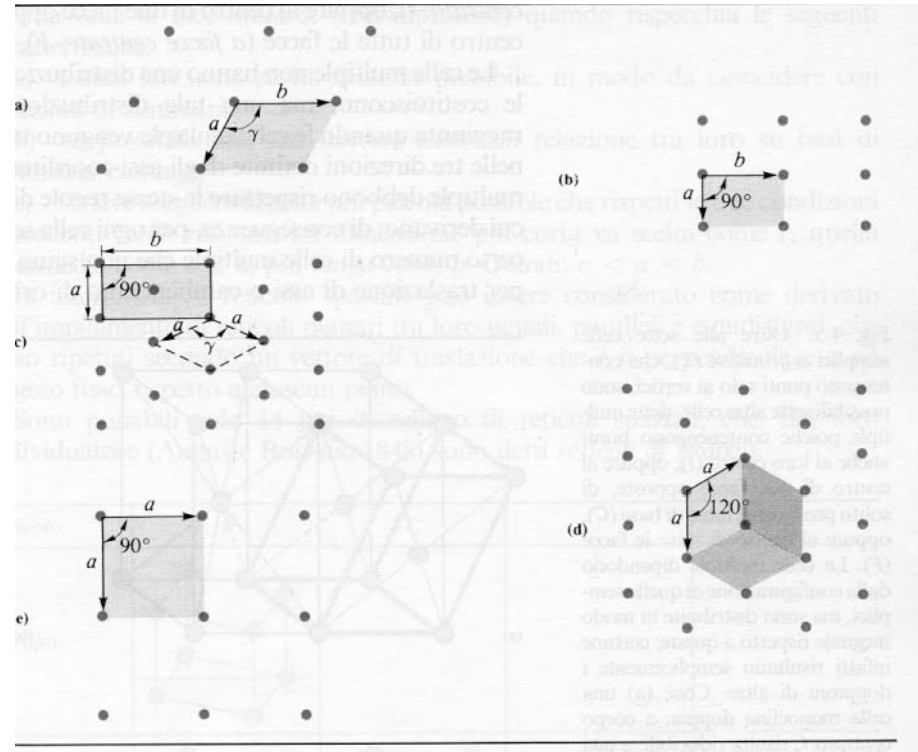
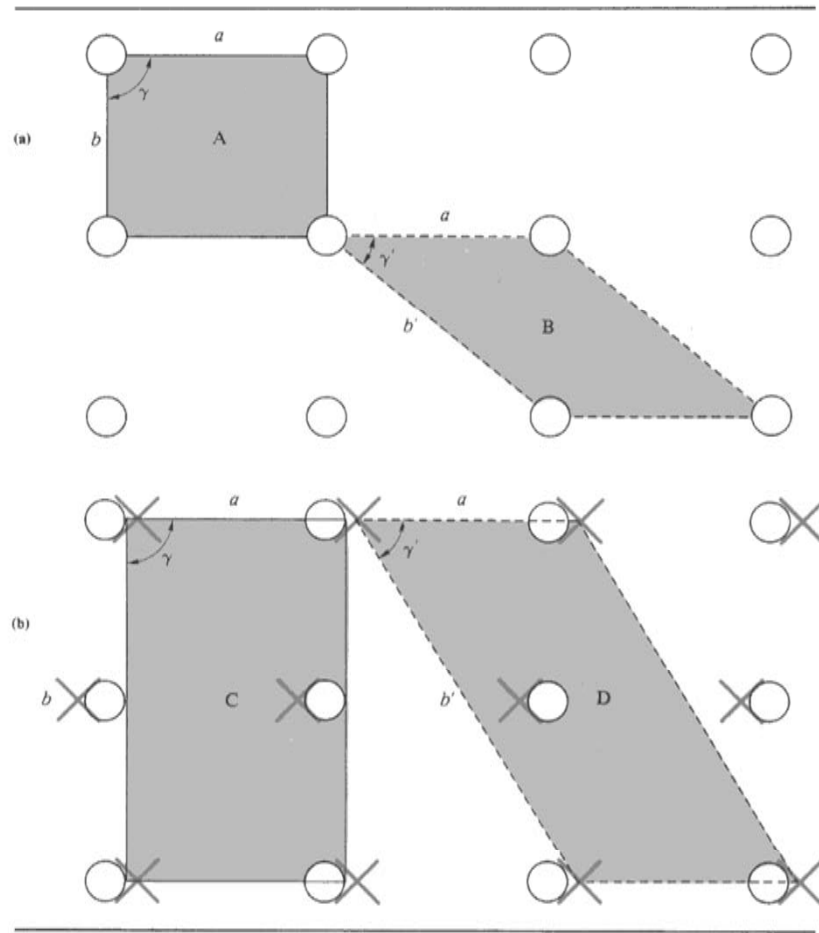
=

insieme di punti ciascuno dei quali ha lo stesso intorno vettoriale.

$a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ = parametri fondamentali, definiscono un parallelepipedo detto cella elementare.

Dalla cella elementare per sola traslazione si può generare l'intero reticolo di ripetizione.

- ◆ **Un qualunque nodo può essere scelto come origine del reticolo.**
- ◆ **La scelta delle traslazioni fondamentali è arbitraria.**
- ◆ **In un reticolo non interessa il motivo che viene ripetuto ma la geometria di ripetizione.**



Proprietà dei reticoli

Filare reticolare = retta definita da due punti reticolari.

- ◆ Su ogni filare esistono infiniti punti ugualmente intervallati.
- ◆ In un reticolo esistono infiniti filari paralleli e con lo stesso periodo di ripetizione.

Simbolo di un filare: **[hkl]** (indici di Miller).

Piano reticolare = ogni piano definito da tre punti del reticolo.

- ◆ Ogni piano contiene infiniti punti reticolari.
- ◆ Dato un piano ne esistono infiniti altri ad esso paralleli con la stessa densità reticolare



successione di piani.

- ◆ Distanza fra piani di una successione (d_{hkl}) = costante.

Simbolo di un piano: **(hkl)** (indici di Miller). Intercette sugli assi a, b, c del primo piano non passante per l'origine : a/h , b/k , c/l .

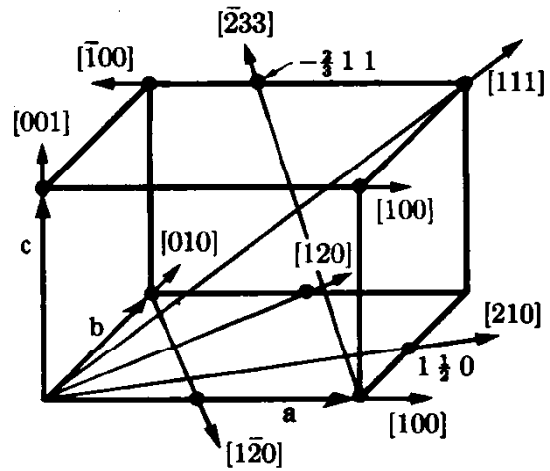


Fig. 2-8 Indices of directions.

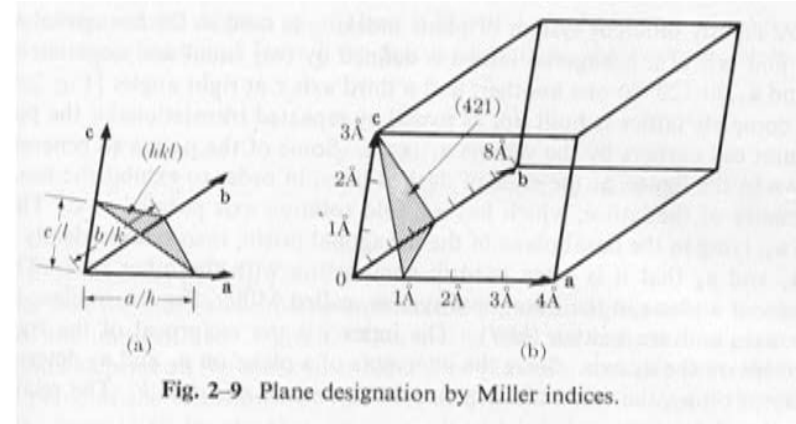


Fig. 2-9 Plane designation by Miller indices.

Filari reticolari

Piani reticolari

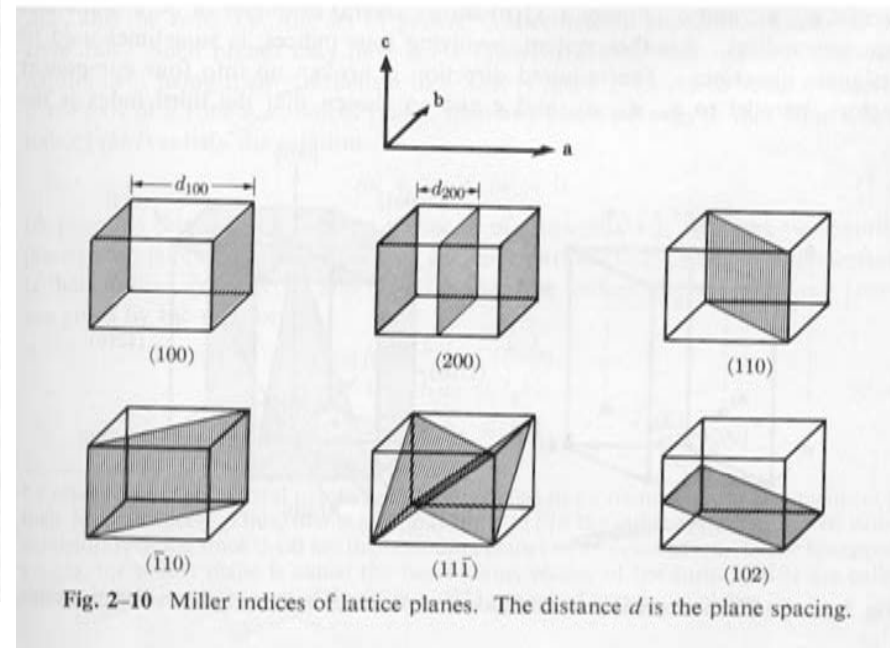
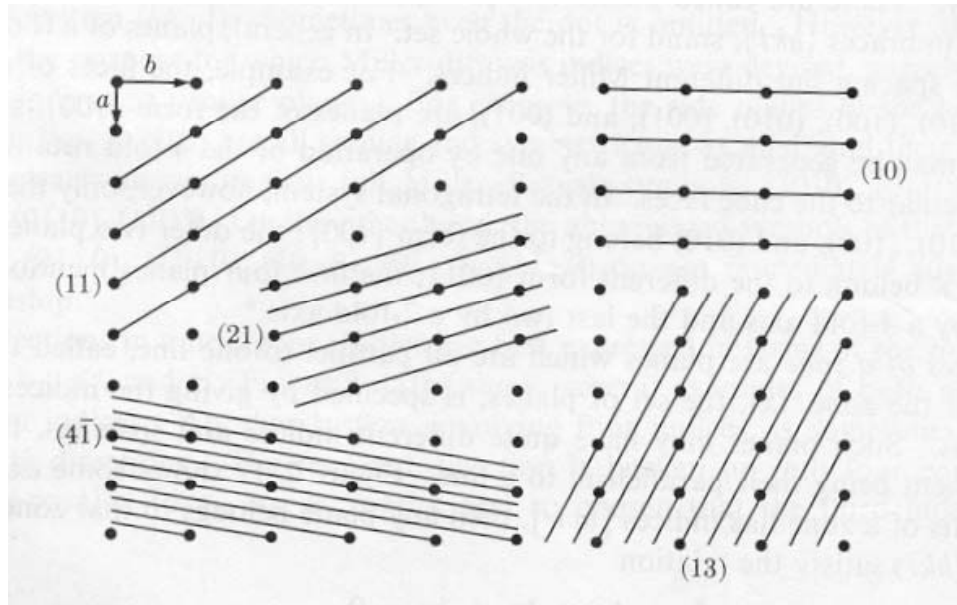



Fig. 2-10 Miller indices of lattice planes. The distance d is the plane spacing.

I piani reticolari a grande spaziatura hanno indici piccoli e alta densità reticolare. Viceversa per quelli a piccola spaziatura.

Le distanze interplanari d_{hkl} di ogni successione di piani di indici (hkl) sono funzione soltanto dei parametri di cella $(a,b,c,\alpha,\beta,\gamma)$ e di hkl, quindi sono caratteristici di ogni fase cristallina  metodo diagnostico.

Vantaggi della diffrazione X nello studio dei materiali

- Metodi di diffrazione X dal 1910.
- Uno dei metodi più importanti per la caratterizzazione di materiali cristallini.
- Può misurare le caratteristiche di una fase anche in presenza di altre.
- Sensibili al “totale” non a parti (come i metodi spettroscopici)
- Analisi mineralogica qualitativa, quantitativa, strutturale, microstrutturale.

Raggi X diffratti

La diffusione coerente può essere spiegata in termini di effetto Thomson. Essa è generata dagli elettroni che, colpiti da un'onda elettromagnetica (Raggi X), vengono accelerati e diventano a loro volta sorgenti di radiazione elettromagnetica (Raggi X) in tutte le direzioni.

Un'onda elettromagnetica (RX) con una certa E_i ed una certa frequenza ν incide su una particella (elettrone) con una certa massa m e carica e^- .

La particella a sua volta diviene sorgente di RX in quanto l'onda esercita su di essa una $F = e^- \cdot E_i$

$$a = F/m$$

Quindi la particella comincia ad essere accelerata con

$$a = \frac{e \cdot E_i}{m}$$

→ Particelle cariche in movimento esercitano un campo elettromagnetico la cui intensità è inversamente proporzionale alla distanza in cui viene esercitato, proporzionale alla carica della particella e inversamente proporzionale alla sua massa:

→ ecco perché la diffusione coerente di RX si esercita esclusivamente a livello degli elettroni.

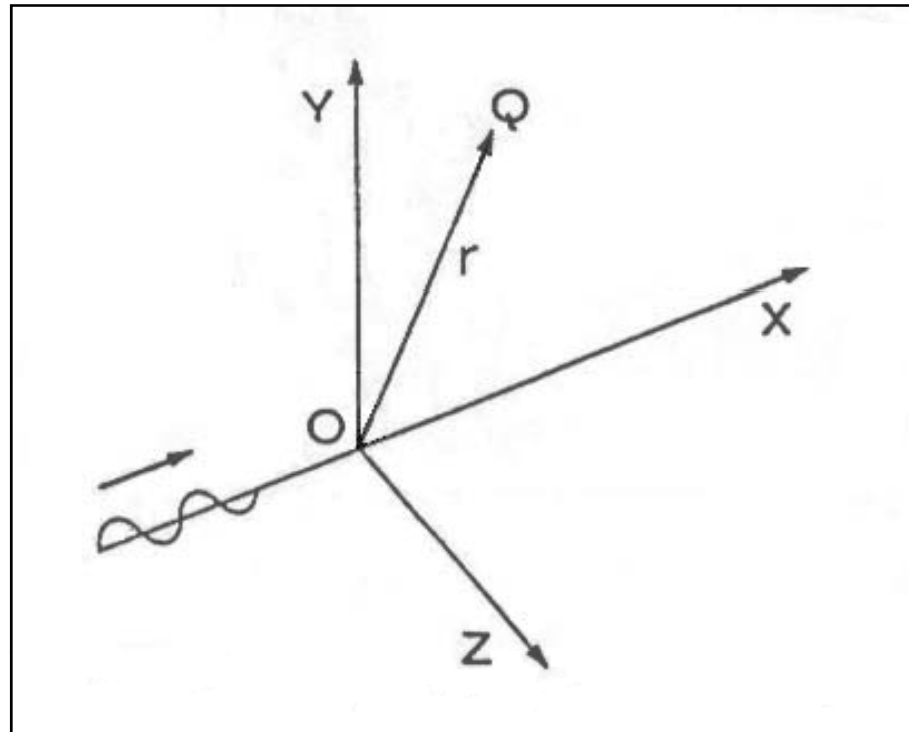
Diffusione Thomson da un elettrone

Consideriamo una particella in O , di massa m e carica e . Lungo l'asse x si propaga un'onda di frequenza ν ed ampiezza E_i .

La particella è soggetta alla forza F_i e quindi ad una accelerazione a , inoltre si muove con frequenza ν



quindi, è a sua volta sorgente di radiazione!



Diffusione da parte di atomi

E' un fenomeno che nasce dall'interferenza tra le radiazioni diffuse in modo coerente dagli elettroni che, colpiti da un'onda elettromagnetica X, vengono accelerati e diventano a loro volta sorgenti di radiazione elettromagnetica in tutte le direzioni (effetto Rayleigh: urto elastico, senza cambiamento di λ).

In prima approssimazione:

- **i raggi diffratti da un atomo sono la somma dei raggi diffratti dai singoli elettroni**
- **gli atomi si considerano distribuiti in modo periodico, ordinato ed infinito (RETICOLO CRISTALLINO)**
- **gli elettroni si considerano solidali con il nucleo atomico**
- **la densità elettronica viene trattata come una funzione periodica¹⁰.**

Assumendo che gli elettroni siano raggruppati attorno ai nuclei a formare gli atomi, la diffusione da parte di un atomo può essere espressa dal

FATTORE DI DIFFUSIONE ATOMICO f :

f = intensità della radiazione diffratta da parte di un atomo rispetto a quella diffratta da un elettrone e avviene in tutte le direzioni.

Se l'atomo fosse puntiforme (elettroni concentrati in un punto) f sarebbe uguale a Z (numero atomico), ma dato che gli elettroni occupano un volume, le radiazioni diffuse dai singoli elettroni sono in fase solo nella direzione del fascio incidente, nelle altre direzioni sono sfasate.

Lo sfasamento è funzione di $\sin\theta/\lambda \rightarrow f$ è funzione di $\sin\theta/\lambda$

❖ Le onde diffratte sotto un determinato angolo θ in punti diversi della nuvola elettronica non saranno tra loro in piena concordanza di fase, perché presentano una differenza di cammino ottico.

❖ A parità di differenza di cammino tra due raggi diffusi, la discordanza di fase è tanto maggiore quanto più λ è piccola.

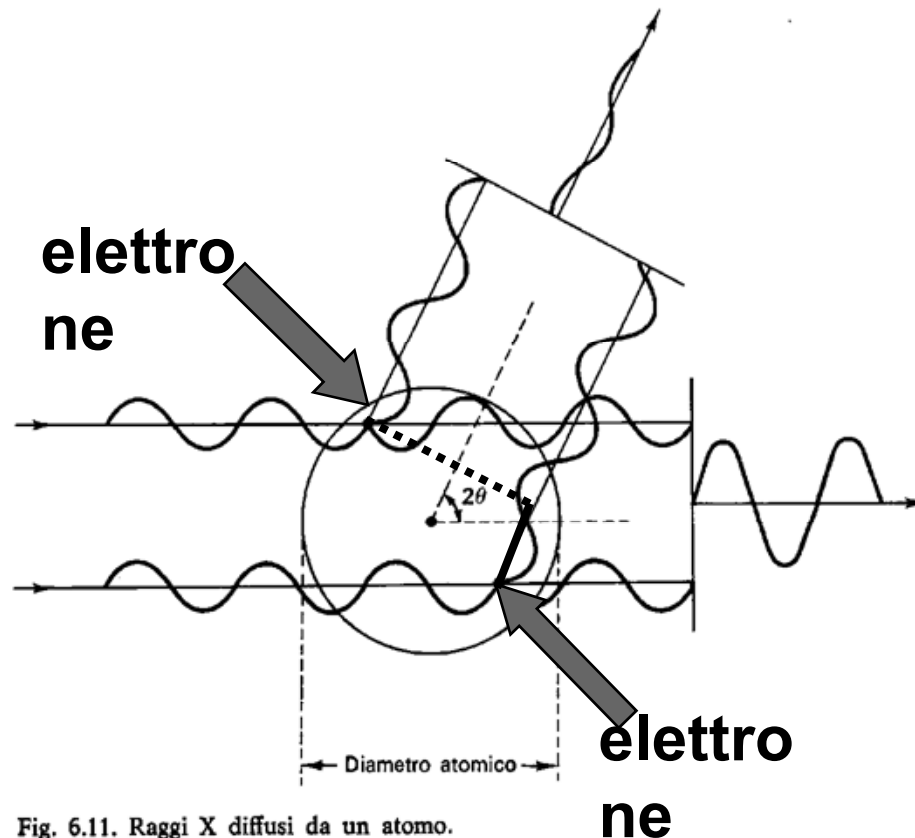
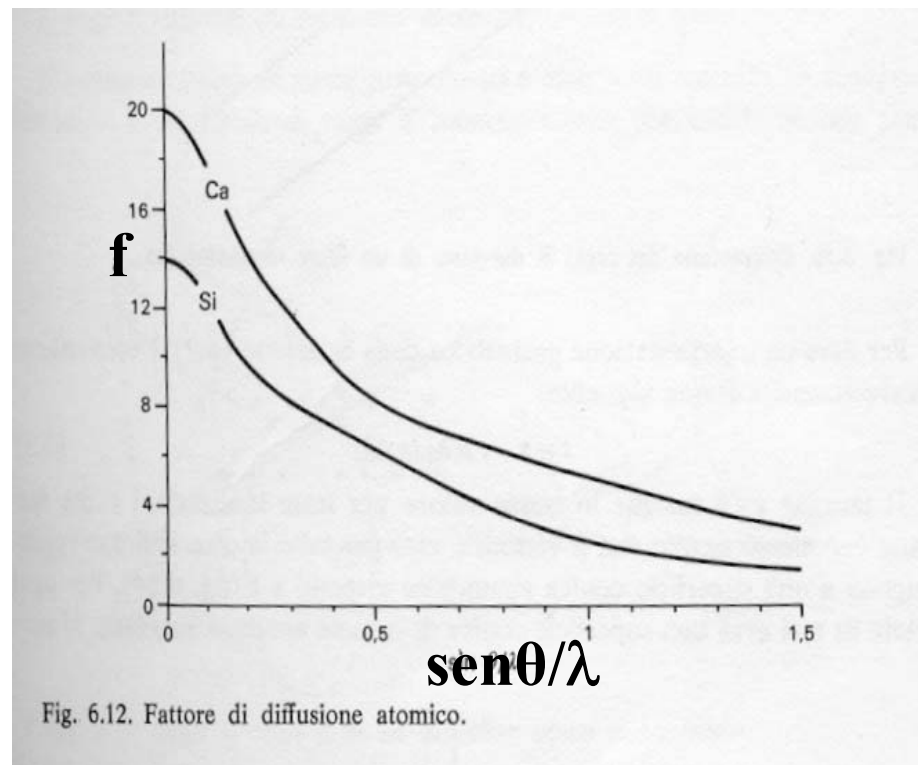


Fig. 6.11. Raggi X diffusi da un atomo.

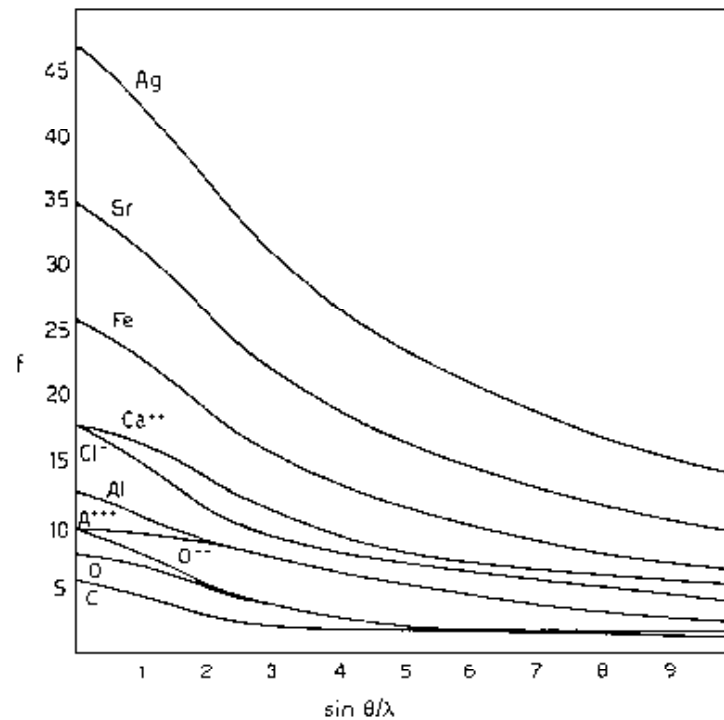
Il valore massimo di f , corrispondente con $\text{sen}\theta=0$, cioè $\theta=180^\circ$, coincide con il numero atomico dell'elemento.

Questo spiega la cruciale dipendenza del fattore di diffusione atomico dal tipo di atomo e la quasi “trasparenza” ai raggi X degli atomi leggeri (es. H, $Z=1$)




Nella diffrazione neutronica, lo scattering avviene ad opera del nucleo, che possiamo considerare puntiforme. In questo caso il fattore di diffusione è funzione solo del tipo di nucleo e **NON VARIA con $\sin\theta/\lambda$.**

Nel caso dei raggi X, la diminuzione di f con $\sin\theta/\lambda$ è tanto più rapida quanto più è estesa la nuvola elettronica



Raggi X diffratti:

direzione  parametri della cella elementare
(a, b, c, α , β , γ)



**ANALISI QUALITATIVA=
METODO DIAGNOSTICO**

intensità  Z, numero e posizione degli
atomi nella cella elementare



**ANALISI STRUTTURALE
ANALISI QUANTITATIVA DI
MISCELE**

DIFFRAZIONE DA UN ATOMO

I RX incidenti colpiscono gli elettroni (Vd. Sopra) ogni elettrone diventa centro di riemissione → solo nella direzione dei Rx incidenti ho la massima diffusione, in tutte le altre direzioni ho uno sfasamento di proporzionale a θ .

Per essere in fase:
Differenza di cammino
Deve essere uguale a un numero intero di λ

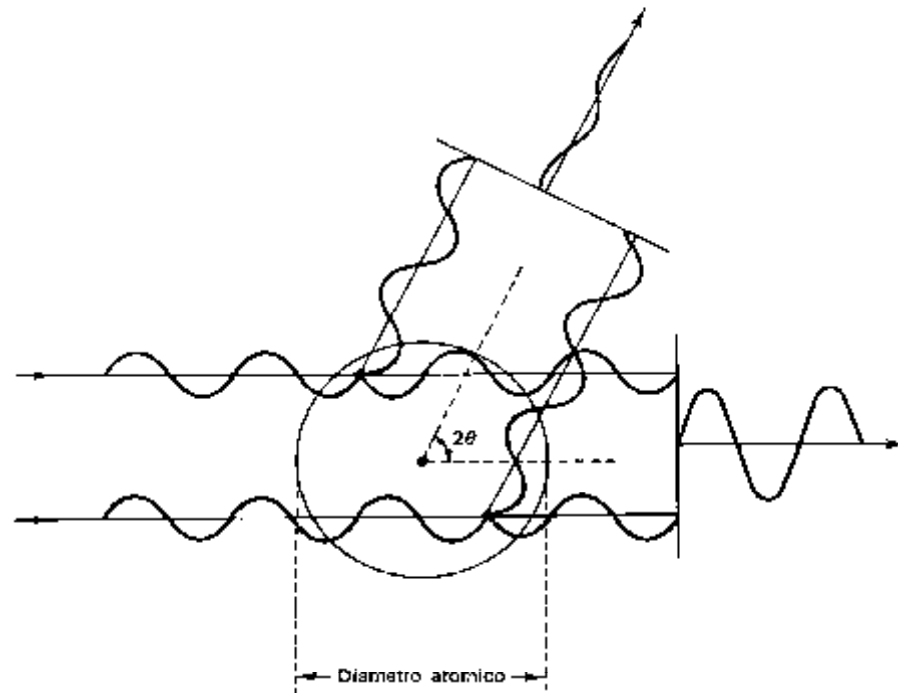


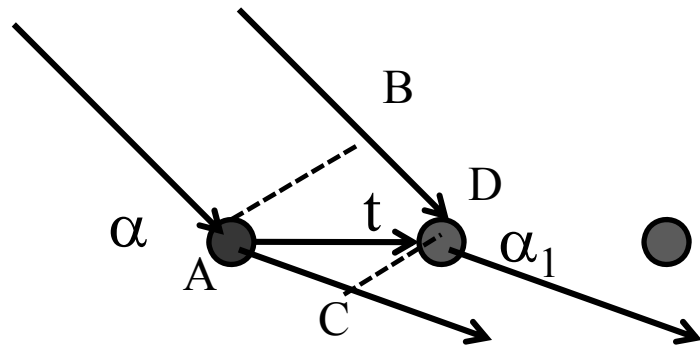
Fig. 6.11. Raggi X diffusi da un atomo.

•In una sostanza cristallina gli atomi sono disposti in modo ordinato e periodico (descrivibile da un reticolo di ripetizione, piani reticolari ecc.).

•Quindi, anche se la diffusione da parte di atomi isolati avviene in tutte le direzioni, in un cristallo i raggi X diffratti saranno in fase e si rafforzeranno solo in alcune direzioni, mentre in altre si sottrarranno o si annulleranno.

DIFFRAZIONE DA UN FILARE DI ATOMI

Rx monocromatici con lunghezza d'onda λ incidono con un angolo α su un filare di atomi con periodo t



$$BD = t \cdot \cos \alpha$$

$$AC = t \cdot \cos \alpha_1$$

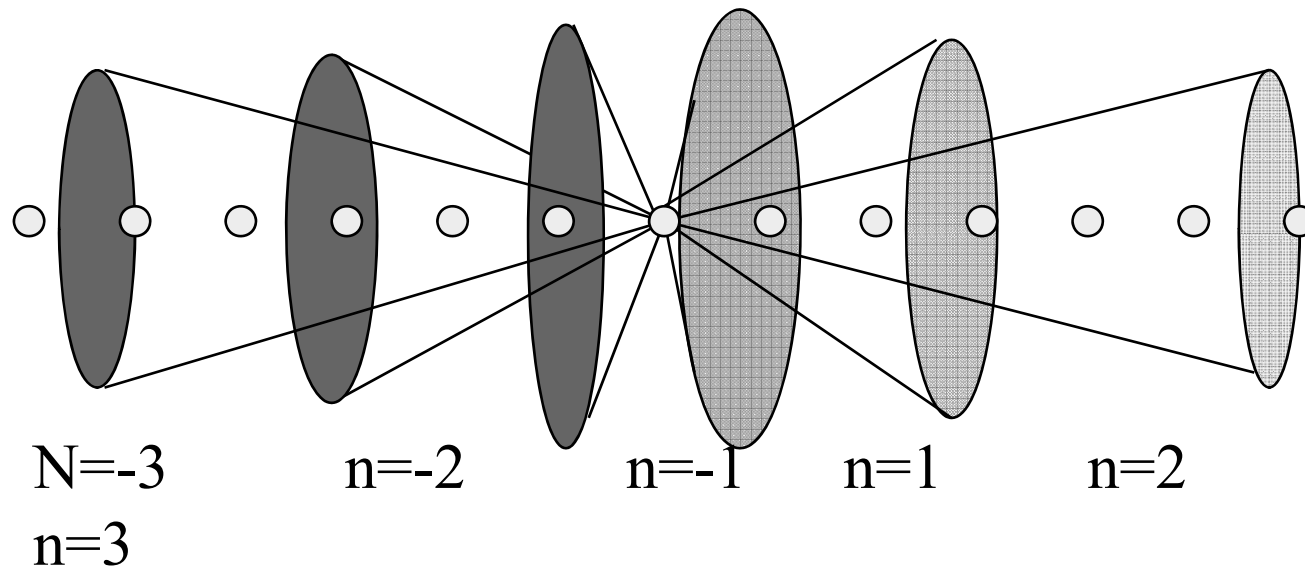
$$BD - AC = \text{differenza di cammino} = t (\cos \alpha - \cos \alpha_1)$$

Avremo diffrazione per ogni angolo α_1 per cui sia soddisfatta la relazione $t (\cos \alpha - \cos \alpha_1) = n \lambda$ (**LAUE**)



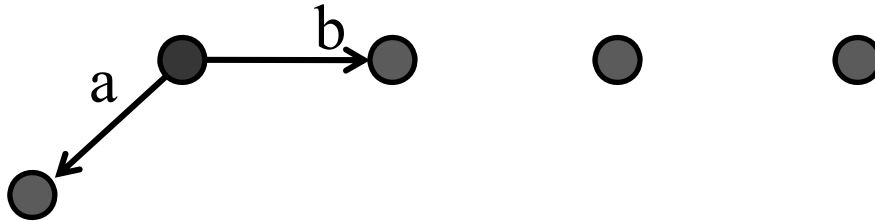
cono di diffrazione intorno al filare

In tutte le direzioni in cui è soddisfatta la **EQUAZIONE DI LAUE** si hanno raggi X diffratti, nelle altre direzioni si verificano fenomeni di interferenza distruttiva.



DIFFRAZIONE DA UN PIANO DI ATOMI

Rx monocromatici con lunghezza d'onda λ incidono con un angolo α su un piano di atomi



- Stessa cosa di un filare, ma le relazioni da soddisfare sono 2 per le 2 direzioni:

$$a (\cos\alpha - \cos\alpha_1) = n\lambda \quad \rightarrow \quad a \times (s - s_0)$$

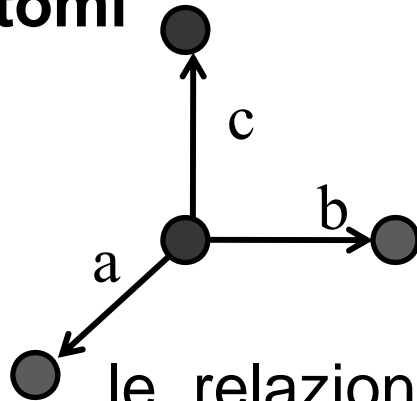
$$b (\cos\beta - \cos\beta_1) = m\lambda$$



diffrazione per 2 direzioni, intersezioni di due coni intorno ai filare

DIFFRAZIONE DA UN RETICOLO TRIDIMENSIONALE

Rx monocromatici con lunghezza d'onda λ incidono con un angolo α su un reticolo tridimensionale di atomi



le relazioni da soddisfare sono 3 :

$$a (\cos\alpha - \cos\alpha_1) = h\lambda$$

$$b (\cos\beta - \cos\beta_1) = k\lambda$$

$$c (\cos\gamma - \cos\gamma_1) = l\lambda$$

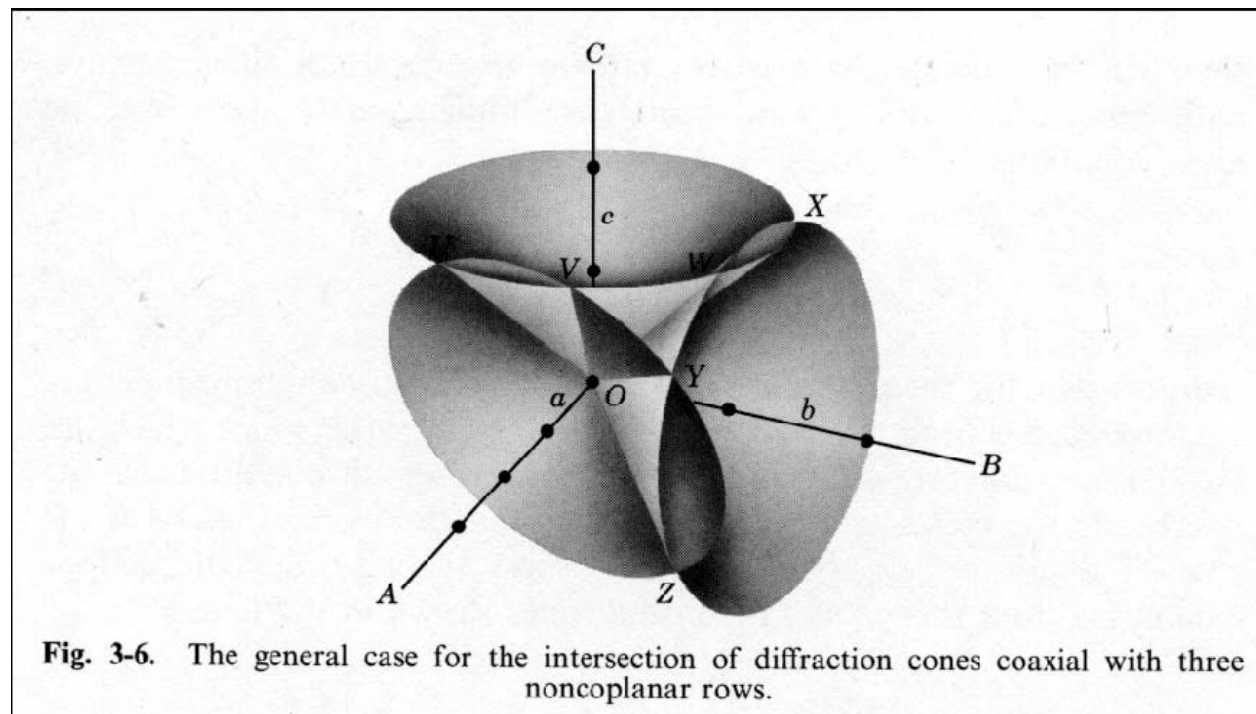


diffrazione la direzione comune all'intersezione dei 3 coni.

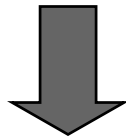
Dal punto di vista geometrico, ognuna delle tre equazioni di Laue rappresenta una famiglia di coni simmetrica rispetto a una delle tre traslazioni del reticolo.

Sarà direzione di diffrazione, ogni direzione che sia comune a tre superfici coniche. Ogni diffrazione sarà univocamente individuata, in prefissate condizioni sperimentali, dai tre valori h, k, l .

AD OGNI TERNA h, k, l CORRISPONDE UN'UNICA DIREZIONE DEI RAGGI X DIFFRATTI



- **Differenze di cammino portano a differenze di fase, λ è l'una λ è l'altra.**
- **Una differenza di fase introduce un cambiamento in ampiezza nell'onda risultante.**

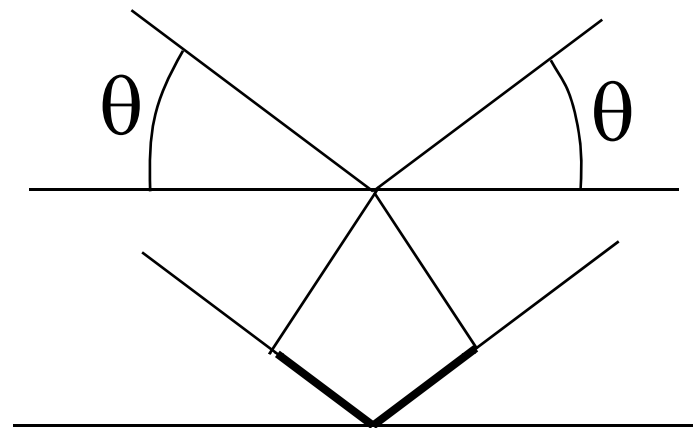


Il solo raggio diffratto è quello che forma un angolo θ con i piani reticolari = angolo di incidenza, ovvero quello che si comporta come riflesso dai piani reticolari.

Trattazione di Bragg

Un omogeneo periodico tridimensionale si può interpretare in termini di fasci di piani reticolari identici tra loro e ugualmente spazati. Ogni terna di numeri hkl interi definisce un fascio di tali piani, con distanza reticolare d_{hkl} .

Consideriamo un fascio di raggi X paralleli e monocromatici che incide con un angolo θ su un fascio di piani reticolari. La differenza di cammino tra i raggi incidenti/diffratti da due piani reticolari paralleli è rappresentata dai segmenti gialli:



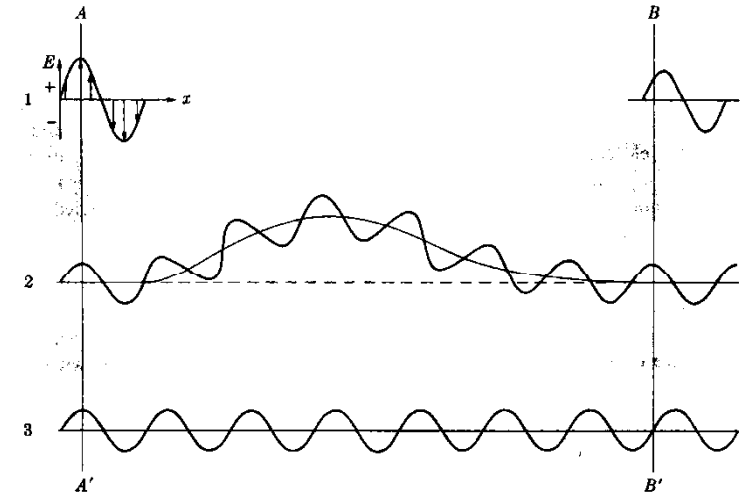
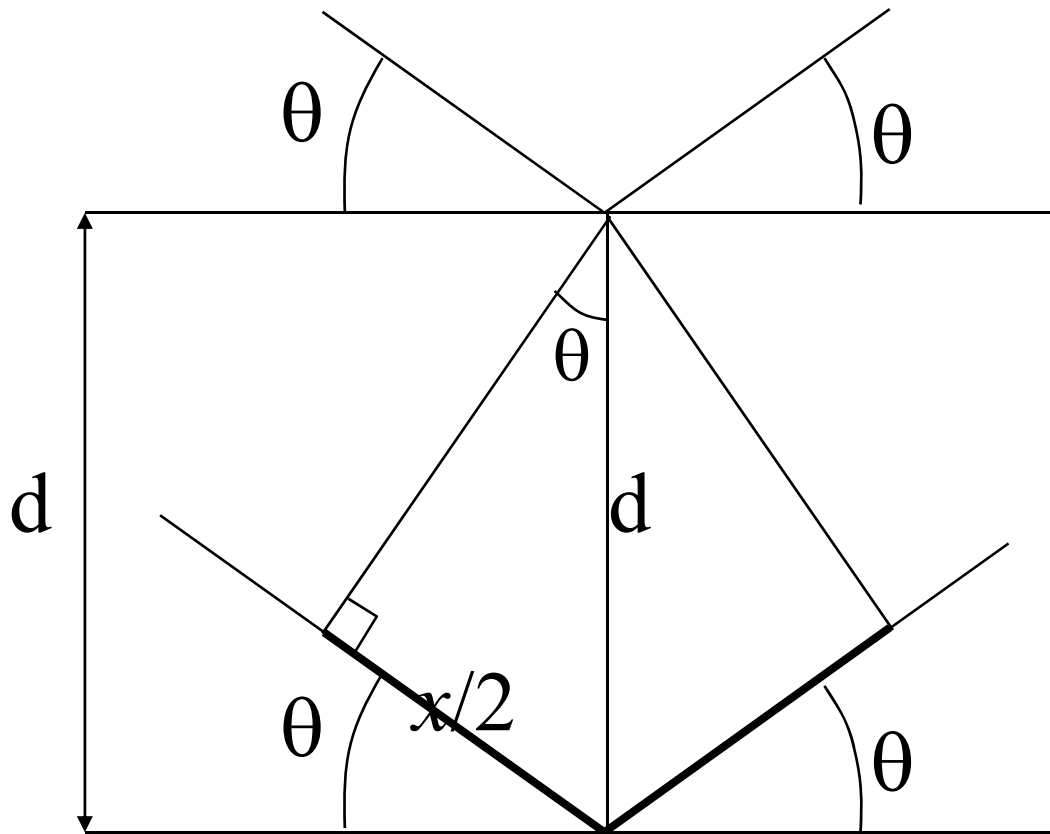
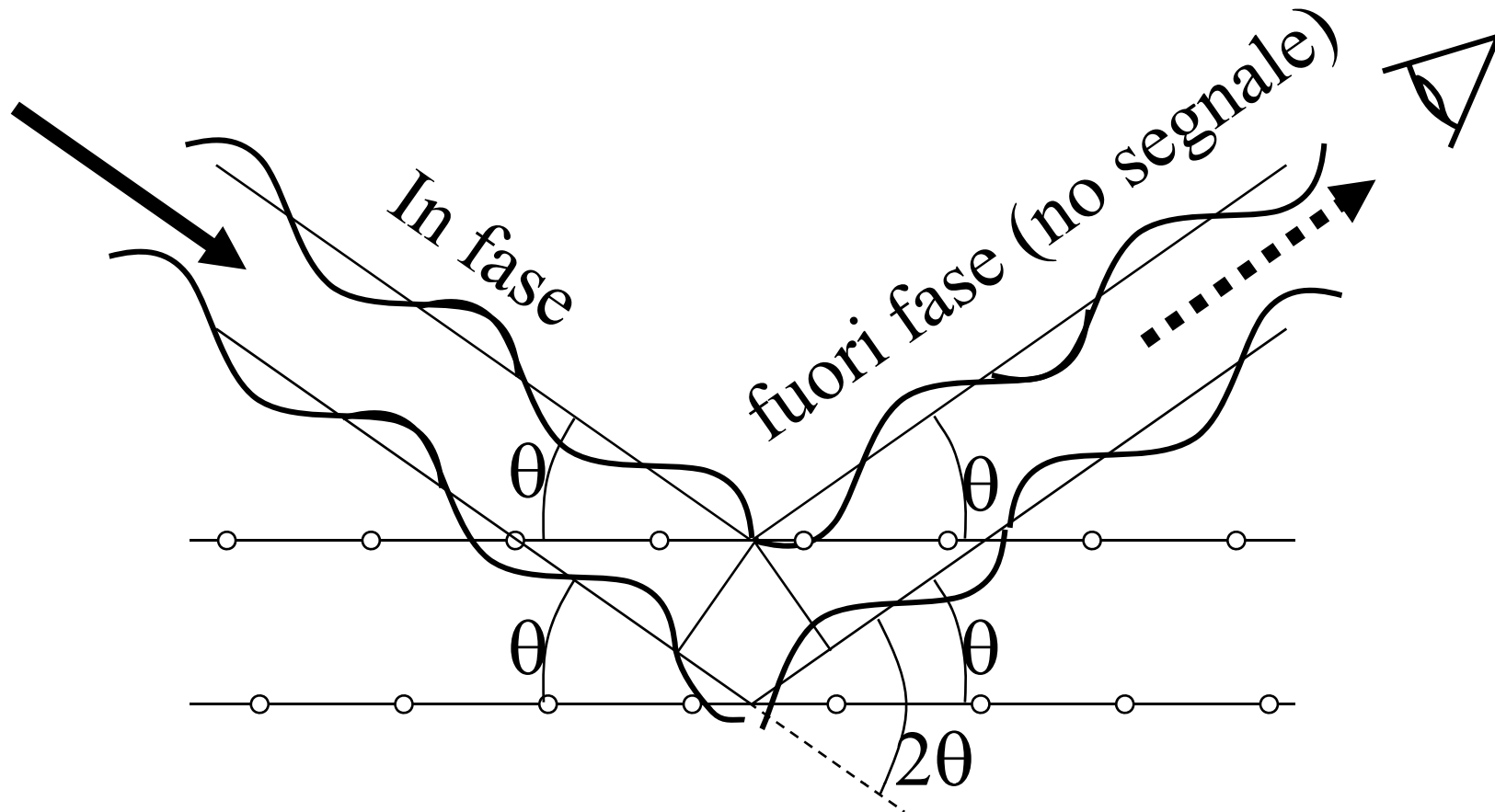


Fig. 3-1 Effect of path difference on relative phase.

- $x = \text{cammino extra} ; d \sin\theta = (x/2)$
- per avere segnale: $x = n \lambda$
- quindi: $d \sin\theta = (n\lambda/2) \longrightarrow 2d \sin\theta = n\lambda$

Cambiando d , θ , o λ il segnale scompare perchè le onde uscenti non sono più in fase



Riassunto:

$$AB+BC= 2 d \operatorname{sen}\theta =$$

diff. cammino

$$2d_{(hkl)}\operatorname{sen}\theta = n\lambda$$

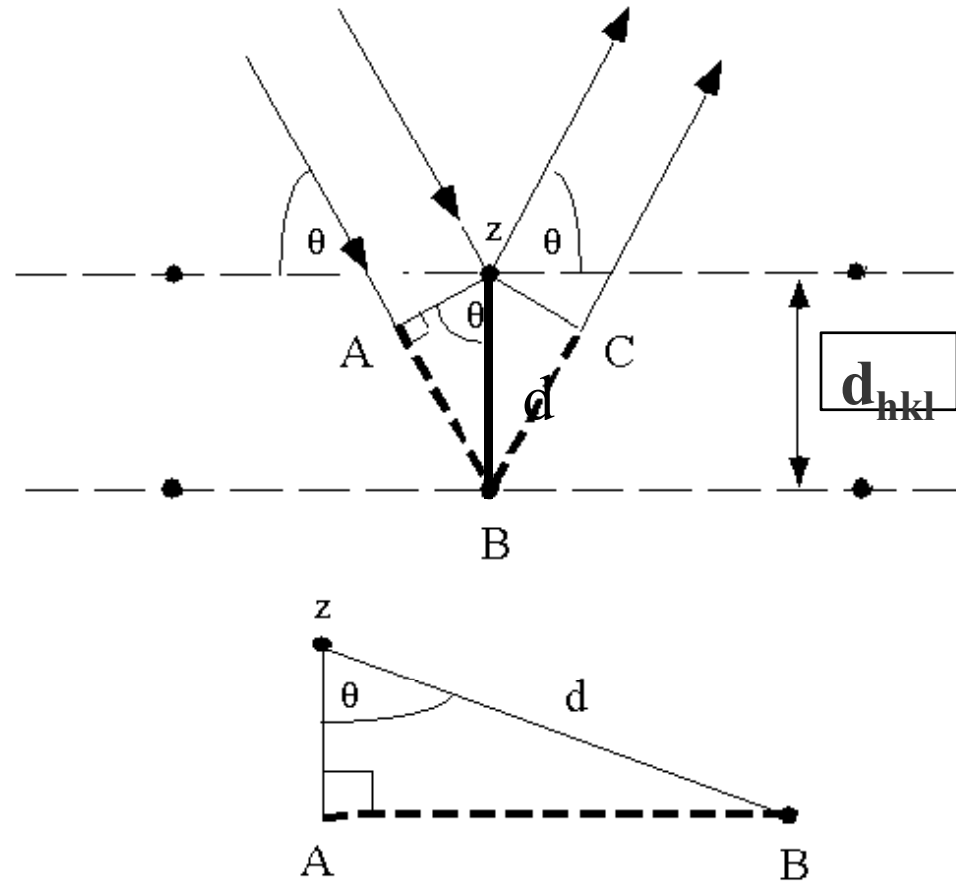
$n = \text{numero intero}$



*Condizione di interferenza
positiva*

Misurando θ si possono ricavare le distanze fra i piani reticolari di una sostanza cristallina e da queste i parametri di cella. Es, per un sistema cubico:

$$d_{(hkl)}^2 = a^2/(h^2+k^2+l^2)$$

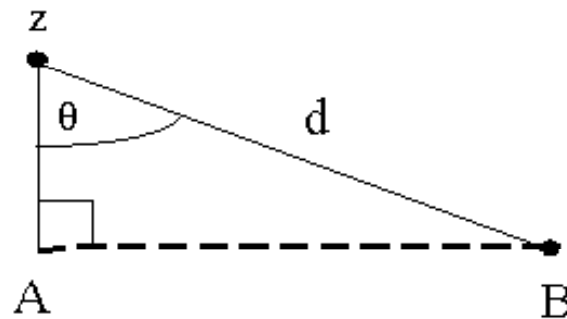
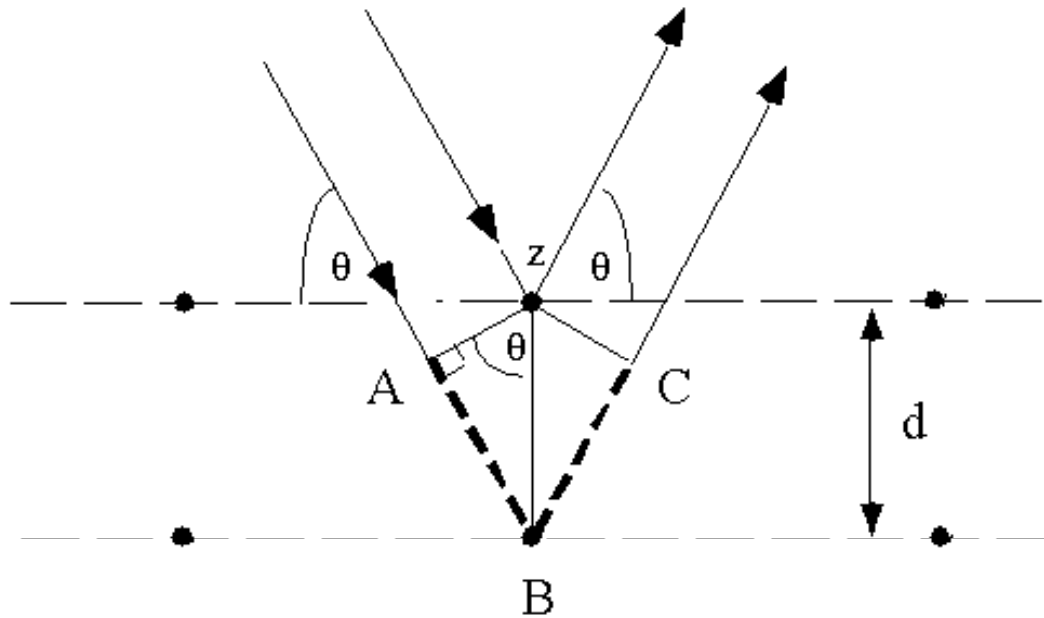


$$2d_{(hkl)} \sin\theta = n\lambda$$

$n =$ numero intero

Legge di Bragg

Misurando θ si possono ricavare le distanze fra i piani reticolari di una sostanza cristallina e da queste i parametri di cella.



$$d_{(hkl)}^2 = a^2 / (h^2 + k^2 + l^2)$$

(per sistema cubico)

Diffusione da atomi disposti periodicamente in un cristallo in poche direzioni che rispettano la legge di Bragg ho un forte raggio diffratto, nella maggior parte delle direzioni non c'è diffrazione.

La diffrazione X è un fenomeno di interazione raggi X-elettroni e anche se è vista da Bragg come una riflessione ma:

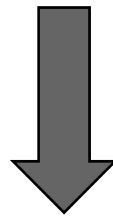
1. I raggi X sono diffratti da tutti gli atomi incontrati sul loro cammino, la riflessione interessa solo lo strato superficiale
2. La riflessione avviene sotto qualunque angolo, la diffrazione no.
3. La riflessione da parte di un buono specchio ha il 100% di efficienza, l'intensità diffratta è molto bassa rispetto rispetto a quella della radiazione incidente.

Relazione che predice, in una determinata fase cristallina, per ogni serie di piani reticolari di indici (hkl) l'angolo sotto cui avviene la diffrazione.

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

$$d_{(hkl)}^2 = a^2/(h^2+k^2+l^2)$$

$$\sin^2\theta = \lambda^2 (h^2+k^2+l^2)/4a^2$$



Le direzioni di diffrazione sono determinate solo dalla forma e dimensione della cella unitaria.

Ipotizziamo il caso di un cristallo costituito da due soli piani reticolari, chiamati 1 e 2, posti a distanza d .

Per ogni valore θ_p dell'angolo di incidenza, tale che l'espressione $2d \sin \theta_p$ assuma un valore uguale a un numero intero di lunghezze d'onda, i raggi riflessi dal piano 1 e dal piano 2 sono in interferenza positiva piena mentre per ogni valore θ_n tale che l'espressione $2d \sin \theta_n$ assuma un valore uguale a un numero dispari di mezze lunghezze d'onda, i due raggi sono in interferenza negativa piena.

Per ogni valore di θ intermedio tra θ_p e θ_n si realizzeranno condizioni di parziale interferenza positiva.

Quanto ora detto è illustrato graficamente dalla seguente figura nella quale in ordinata è riportata l'ampiezza dell'onda diffratta dai due piani in funzione dell'angolo θ di incidenza.

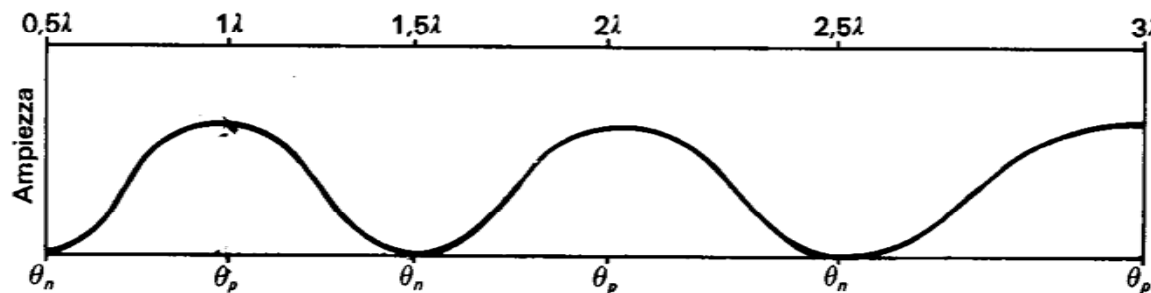


Fig. 6.20. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo costituito di due soli piani reticolari identici.

Passiamo ora al caso di un cristallo costituito da una serie infinita di piani reticolari.

Supponiamo che il valore dell'angolo θ sia tale da portare a una differenza di cammino, tra il raggio riflesso dal piano 1 e quello riflesso dal piano 2, uguale a $\lambda + (1/100) \lambda$. La differenza di cammino tra i raggi riflessi dal 1° e 3° piano sarà uguale a $2\lambda + (2/100) \lambda$, fra quelli riflessi dal 1° e dal 4° piano sarà uguale a $3\lambda + (3/100) \lambda$, fra quelli riflessi dal 1° e dal 51° piano sarà uguale a $50\lambda + (50/100) \lambda$, cioè $50\lambda + (1/2) \lambda$. Concludiamo quindi che il 51° piano annulla il raggio riflesso dal 1°, il 52° quello del 2° e così via.

E' evidente che se il cristallo è infinito, qualunque differenza di cammino, per quanto piccola, porterà ad una interferenza negativa tra il primo e un n -esimo piano. Si avrà quindi diffrazione solo nel caso che l'angolo θ sia esattamente quello previsto dalla legge di Bragg, come illustrato in figura:

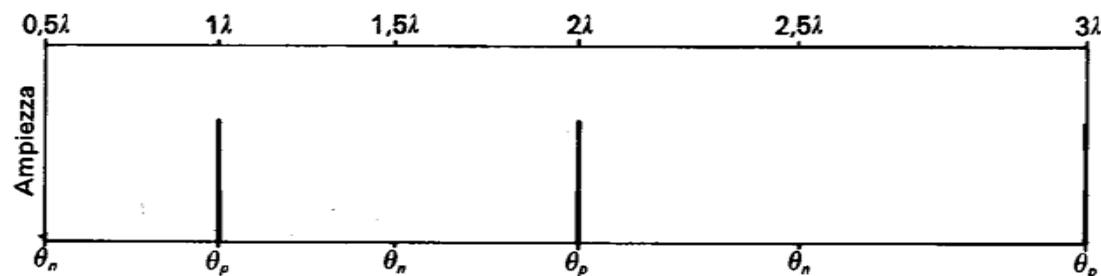


Fig. 6.21. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo costituito di un numero infinito di piani reticolari identici.

Le due situazioni appena descritte rappresentano due casi limite, nessuno dei quali si realizza nella realtà.

Nel caso di cristalli reali, la situazione sarà intermedia tra questi due casi limite:

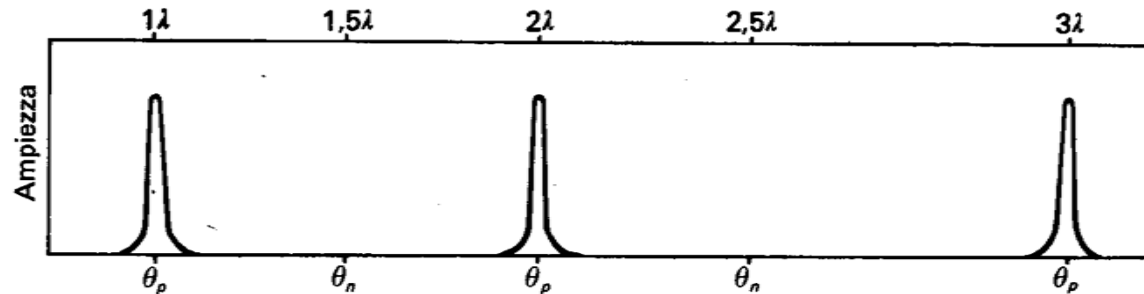


Fig. 6.22. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo reale.

A creare una situazione del genere contribuiscono il non perfetto parallelismo dei raggi X e la non perfetta monocromaticità, ma soprattutto la struttura “reale” del cristallo. I cristalli reali, infatti, hanno sempre delle imperfezioni reticolari, che fanno cadere in difetto l'omogeneo periodico tridimensionale. In pratica il cristallo reale è costituito da una serie di porzioni perfette, ma orientate in modo leggermente diversa l'una rispetto alle altre → STRUTTURA A MOSAICO

Un altro fattore che contribuisce all'allargamento dei picchi è la dimensione dei cristalliti che formano la polvere policristallina (vedi più avanti la trattazione della diffrazione da polveri)

La formula di Scherrer è utilizzata per la determinazione, tramite diffrazione di polveri, della dimensione media dei cristalliti (t)

$$t = \lambda / B \cos\theta_B$$

B = larghezza a metà altezza di un picco di diffrazione.

- Il massimo del picco di diffrazione si ha in corrispondenza di quell'angolo che soddisfa la legge di Bragg. Per una serie infinita di piani si ha diffrazione solo nel caso in cui la legge sia soddisfatta nel modo più preciso. (cristallo infinito)
- Se avessimo solo 2 piani avremmo interferenza massima per $n = \text{pari } (\lambda/2)$, massima negativa per $n = \text{dispari } (\lambda/2)$, e una via di mezzo per tutti gli altri valori.
- I cristalli reali sono una via di mezzo tra queste 2 situazioni: picchi di una certa larghezza.

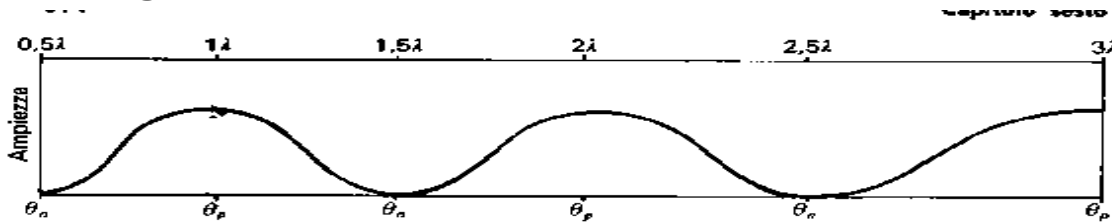


Fig. 6.20. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo costituito di due soli piani reticolari identici.

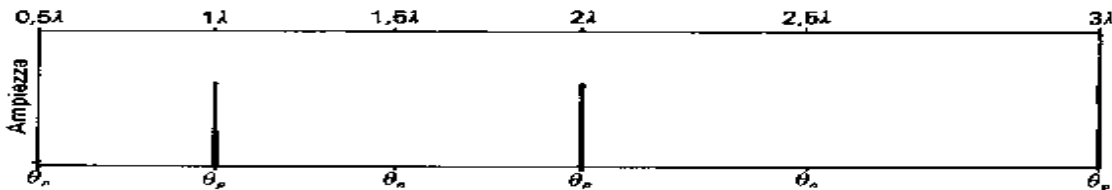


Fig. 6.21. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo costituito di un numero infinito di piani reticolari identici.

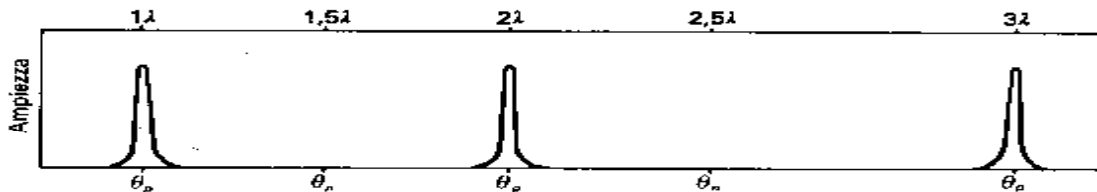


Fig. 6.22. Ampiezza dell'onda diffratta da un cristallo reale.

Formula di Scherrer
 (determinazione in diffrazione di polveri della dimensione media dei cristalliti = t)

$$t = \lambda / B \cos \theta_B$$

B = larghezza a metà altezza di un picco di diffrazione

Intensità dei raggi X diffratti

Le posizioni degli atomi nella cella unitaria influiscono sulla intensità della radiazione diffratta, ma non sulla sua direzione.

Intensità diffratta da piani reticolari diversi in una stessa fase

In fasi diverse

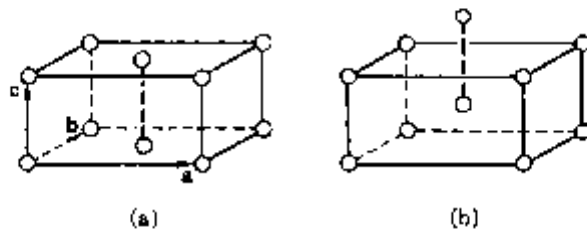
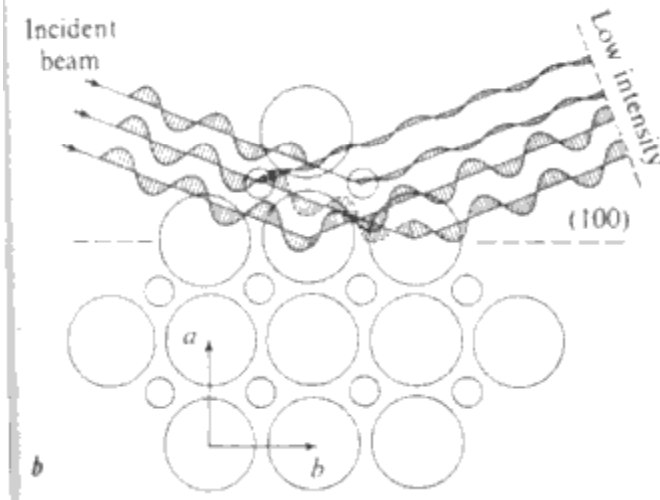
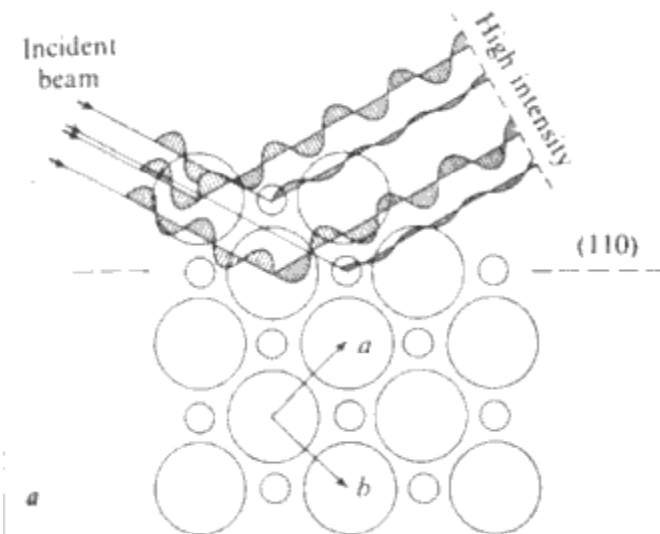
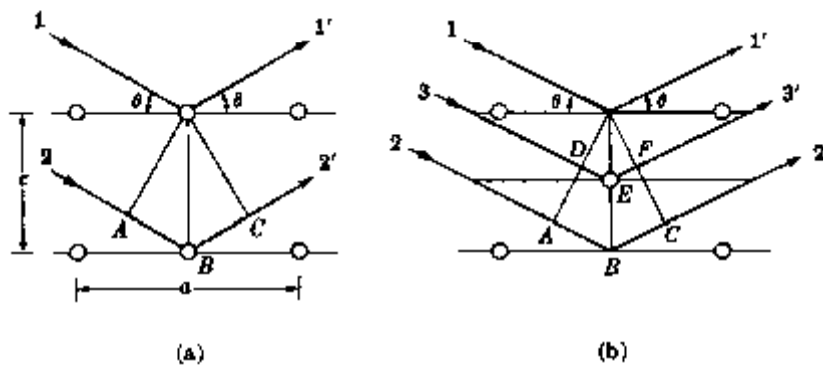


Fig. 4-1 (a) Base-centered and (b) body-centered orthorhombic unit cells.



LE POSIZIONI ATOMICHE SI POSSONO DETERMINARE DALLA MISURA DELLE INTENSITA' DIFFRATTE

$I \cong F^2$ Fattore di struttura

$$F_{hkl} = \sum f_n e^{2\pi i(hu_n + kv_n + lw_n)}$$

Σ estesa a tutti gli atomi della cella elementare

f_n = fattore di diffusione atomico

u, v, w = coordinate frazionarie dell'atomo ennesimo

Metodologie sperimentali nella cristallografia a raggi X

Obiettivo dell'esperimento: portare in condizioni di diffrazione (riflessione) più piani reticolari possibile.

Questo obiettivo può essere raggiunto:

a) Orientando sotto il fascio di raggi X in tutti i modi possibili un crystallo singolo

b) Operando su una polvere microcristallina, cioè su un vasto insieme di piccoli xli orientati statisticamente in tutte le direzioni.

Le varie tecniche di indagine diffrattometrica si differenziano per:

- 1- tipologia del campione
- 2 - uso di radiazione poli- o mono-cromatica
- 3- geometria dell'apparecchiatura
- 4- mezzo di rivelazione

Metodologie sperimentali della cristallografia a raggi X

Dallo studio diffrattometrico di un monocristallo o di una polvere microcristallina si possono ottenere le seguenti informazioni:

- Valori delle costanti reticolari**
- Valori delle distanze interplanari**
- Gruppo spaziale**
- Intensità diffratte dai vari piani**
- Disposizione degli atomi nello spazio: STRUTTURA CRISTALLINA**

Oltre alla determinazione strutturale, la diffrazione a raggi X può esser usata per :

- Analisi mineralogica qualitativa**
- Analisi mineralogica quantitativa**
- Analisi della tessitura cristallina**

Metodologie sperimentali della cristallografia a raggi X

Generazione dei raggi X:

TUBO A RAGGI X

ANODO ROTANTE

SINCROTRONE

Rivelazione:

PELLICOLA FOTOGRAFICA

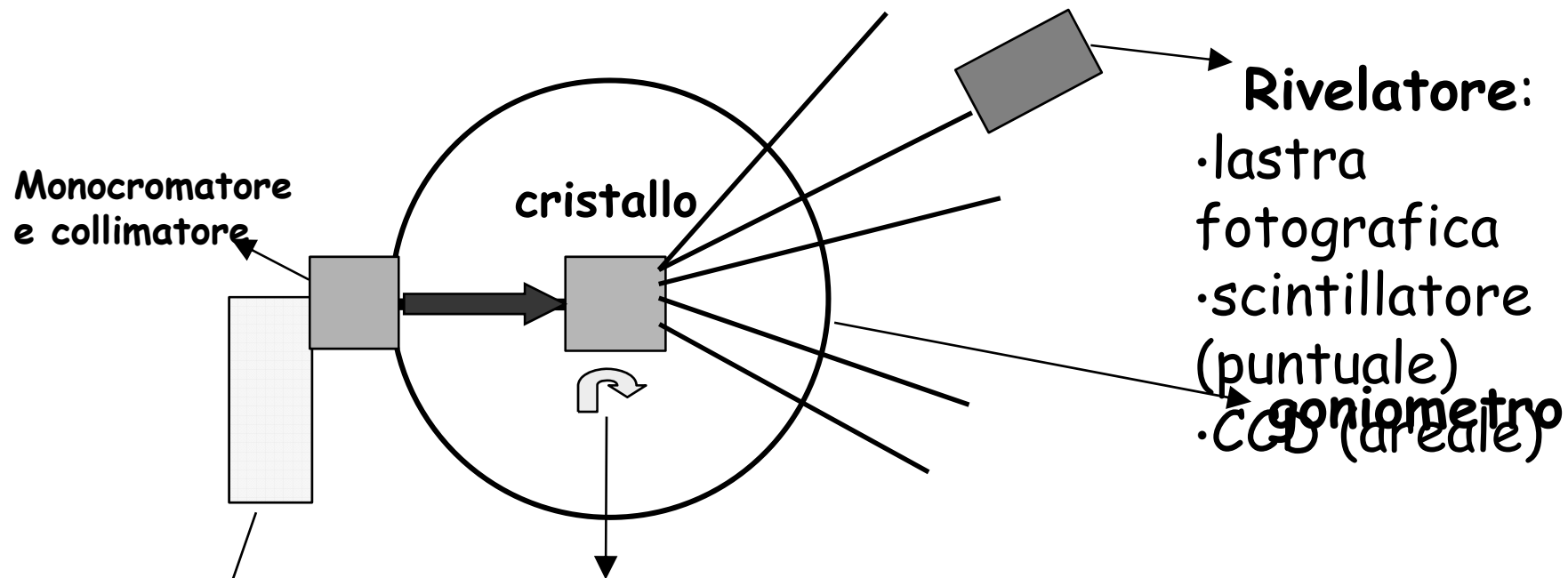
CONTATORI PROPORZIONALI A GAS

CONTATORI A SCINTILLAZIONE

RIVELATORI A SEMICONDUCTORE

	RADIAZIONE POLICROMATICA	RADIAZIONE MONOCROMATICA
POLVERI		
CRISTALO SINGOLO		

Apparato sperimentale per diffrazione a raggi X su monocristallo

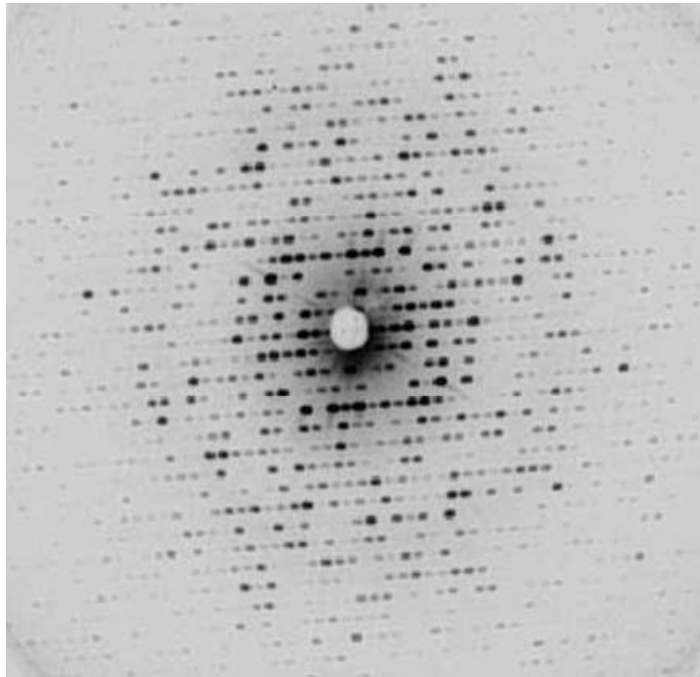


rotazioni del cristallo generate dal goniometro, con l'obiettivo di portare in condizioni di diffrazione il maggior numero di piani reticolari

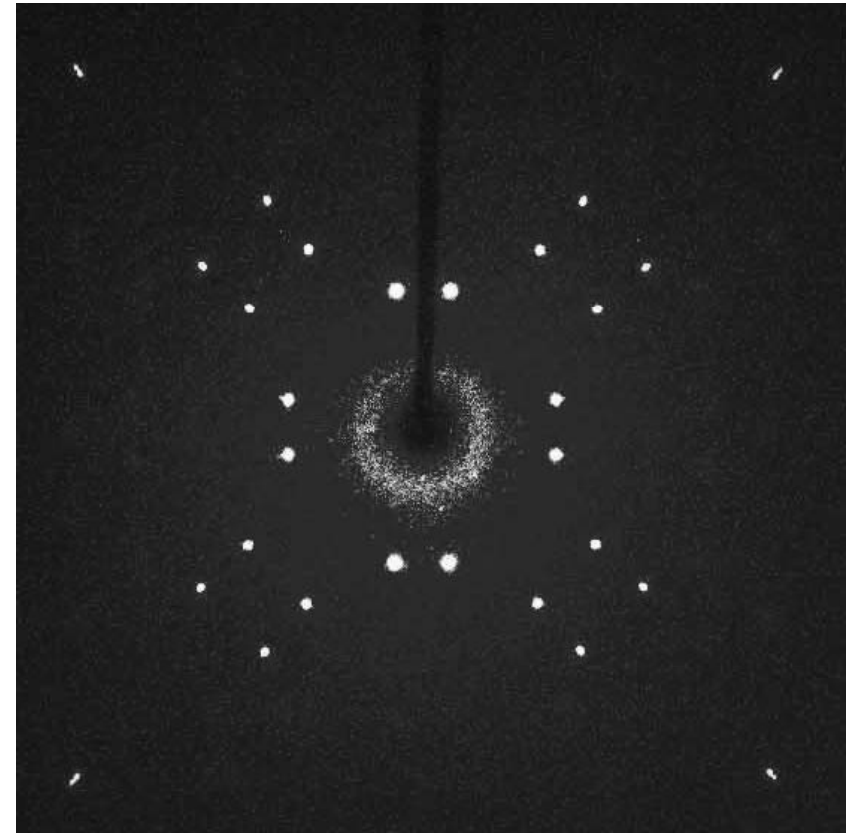
Sorgente:

- tubo a raggi X (elettroni accelerati su un anodo metallico (Cu, Mo, Cr, Co, Ag ecc.) da cui dipende λ)
- radiazione da sincrotrone (prodotta dall'accelerazione di elettroni in un anello)

Intensità diffratte da un cristallo singolo

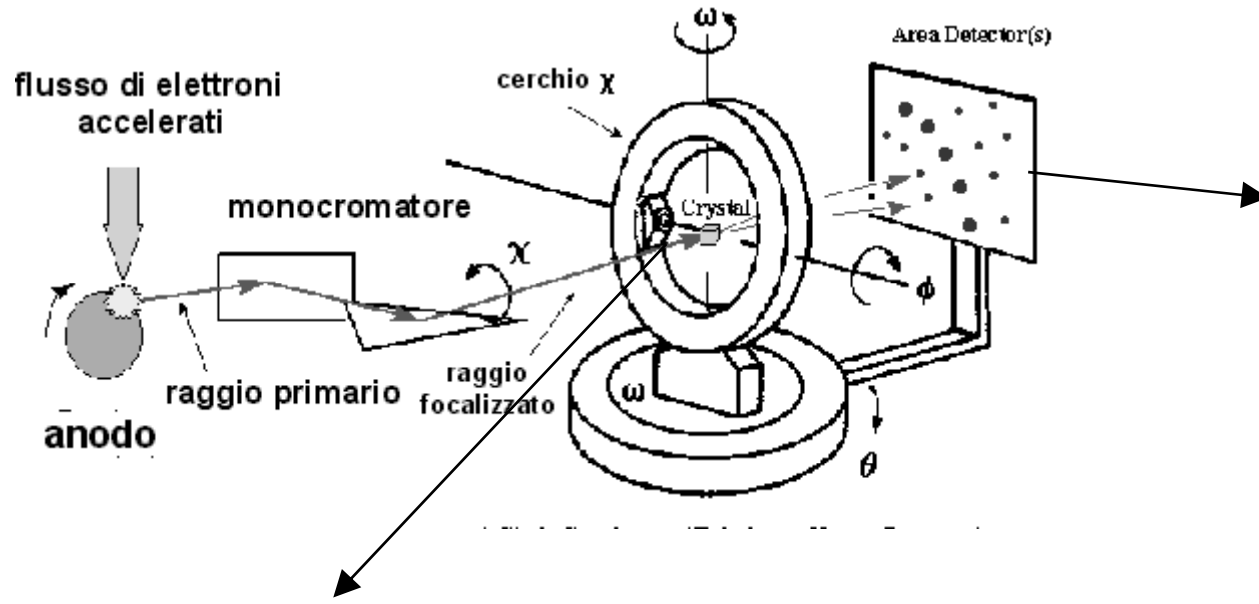


lastra fotografica

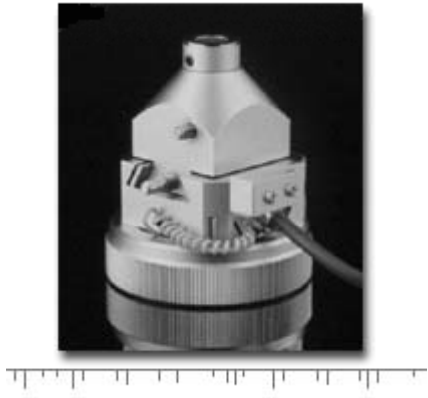


camera digitale

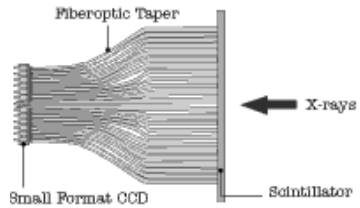




Il cristallo è montato su una testina goniometrica

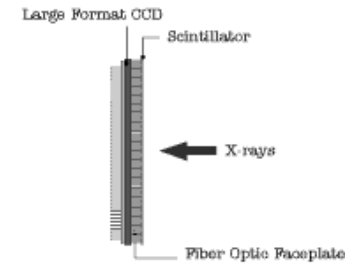


Conventional CCD Detector



Transmission of fiber optic taper 1/m²
Typical transmission < 10%

SMART APEX



Transmission of fiber optic faceplate (unity gain) >70%



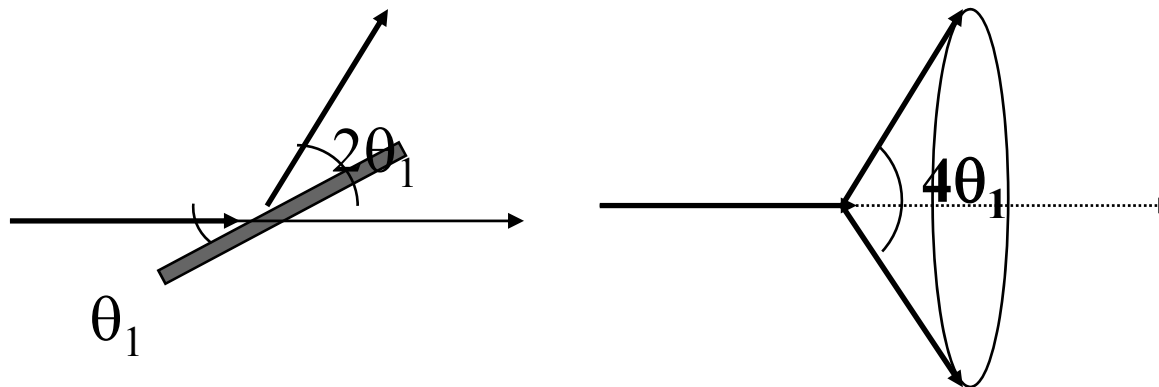
Area-detector (CCD camera): molto veloce ed accurato nelle misure; minore risoluzione rispetto alla lastra fotografica

In altre parole:

Ogni cristallino possiede in sé tutte le serie di piani reticolari con distanze $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ caratteristiche del reticolo di traslazione della sostanza in esame.

Ad ogni valore di d corrisponde un certo valore di θ che soddisfa le condizioni di Bragg.

Dato che nel campione di polveri sono rappresentate tutte le possibili orientazioni, vi sarà sempre un certo numero di cristalli che presentano al raggio incidente una serie di piani reticolari con intervallo di ripetizione d_1 sotto l'angolo θ_1 ; altri granuli presentano altre serie di piani reticolari con distanza d_2, d_3, \dots, d_n , sotto angoli $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$.



L'angolo θ_1 (e analogamente $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$) è in realtà verificato da innumerevoli piani analoghi, contenuti in altrettanti granuli. In particolare, sono valide tutte le direzioni di raggi diffratti appartenenti ad un cono di apertura angolare $4\theta_1, 4\theta_2, \dots, 4\theta_n$. Ciascuna serie di piani con diversa distanza interplanare darà origine ad un proprio **cono di diffrazione** di apertura crescente via via che d diminuisce.

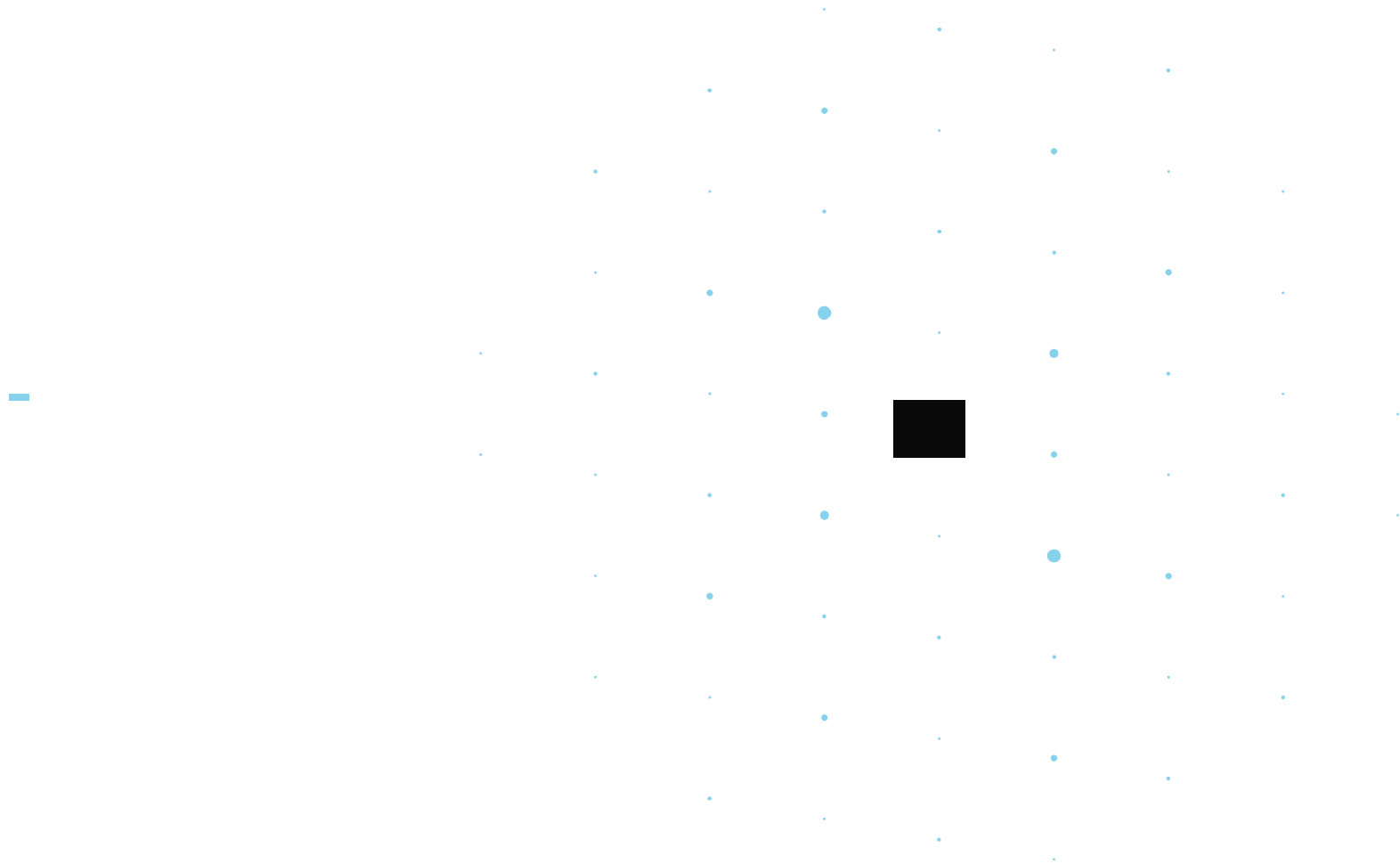
Diffrazione da cristallo singolo

$$V \sim 10^6 \mu\text{m}^3$$

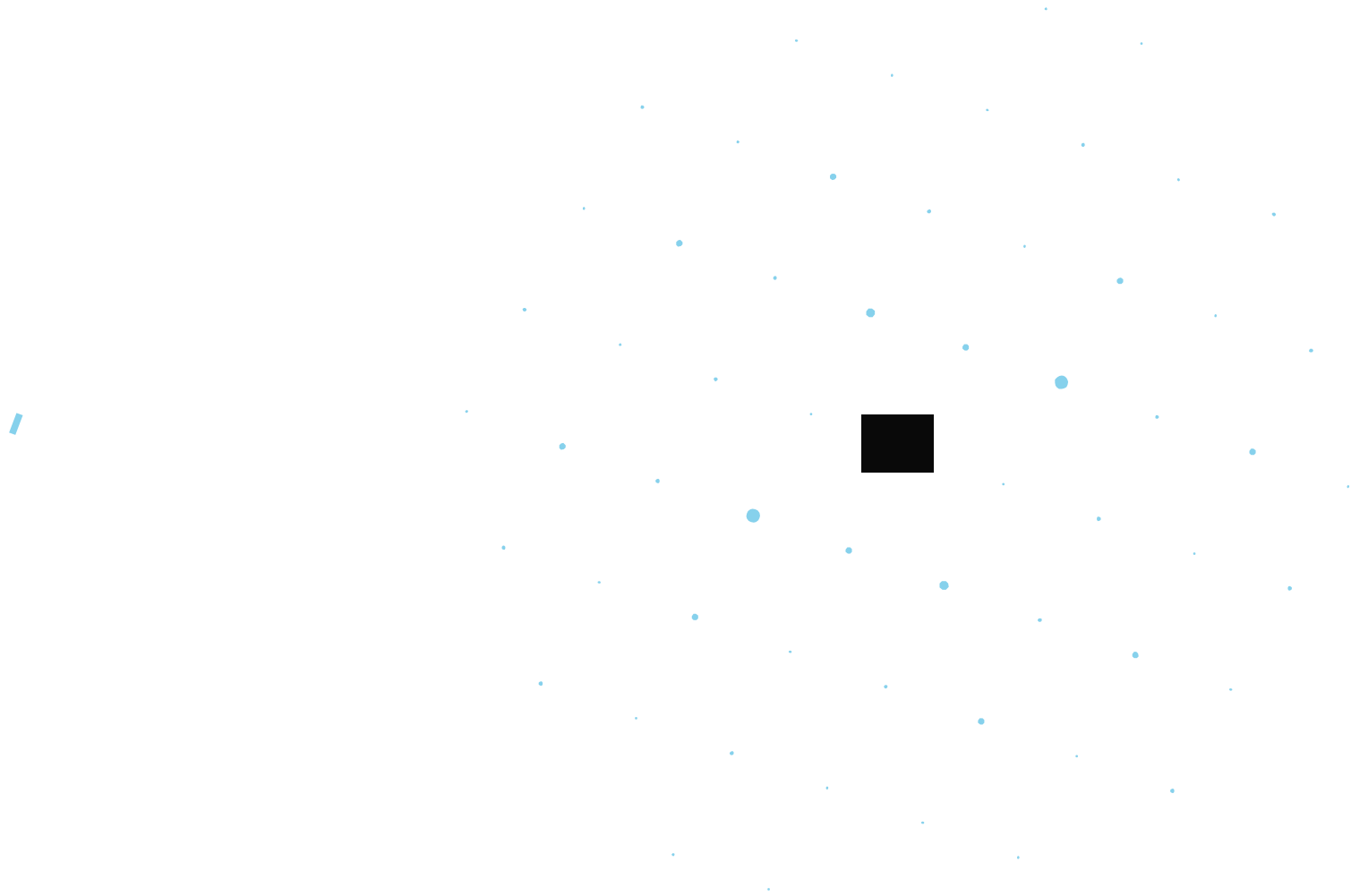
Diffrazione da cristallo singolo

$$V < 1\mu\text{m}^3$$

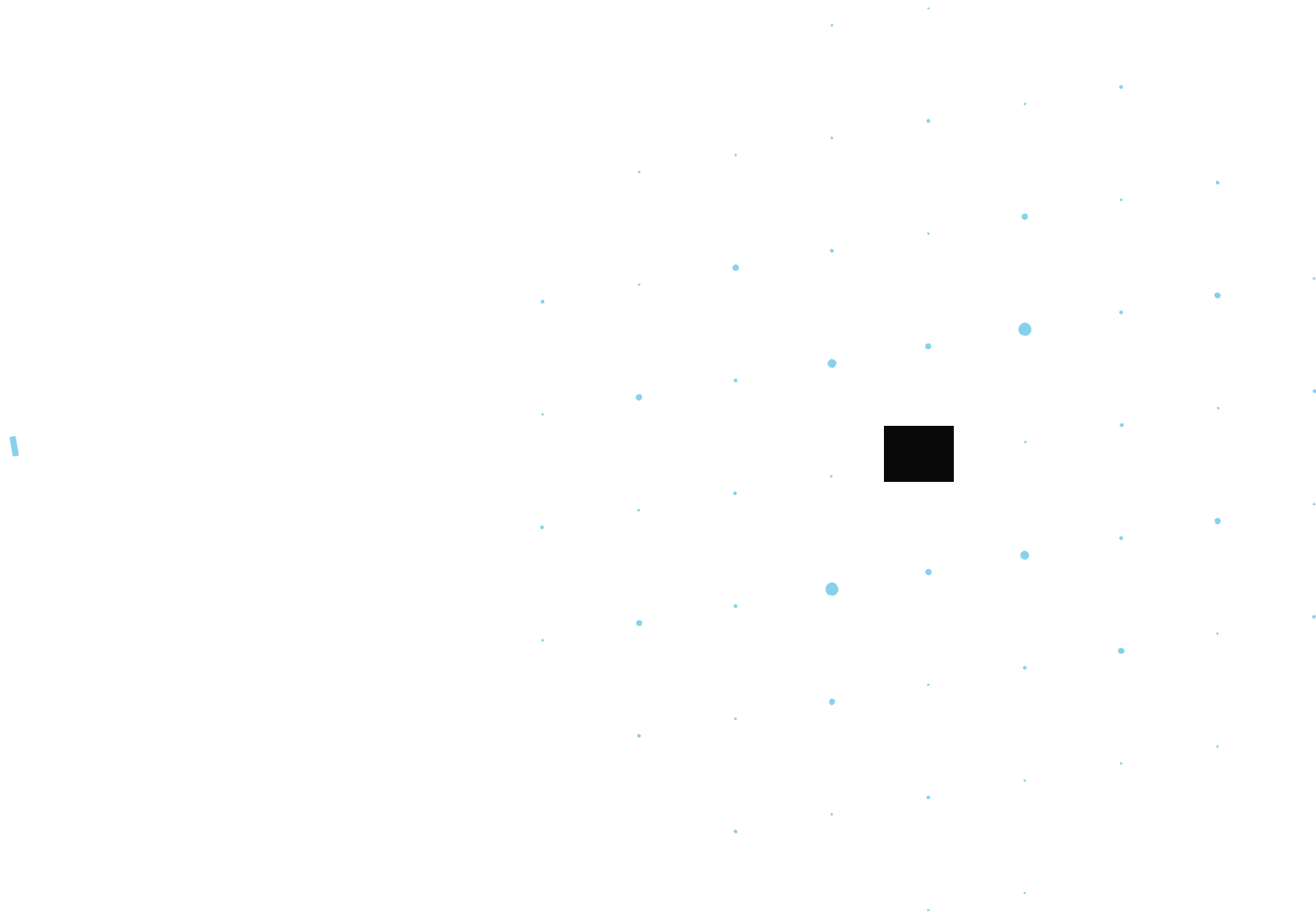
Diffrazione da polveri



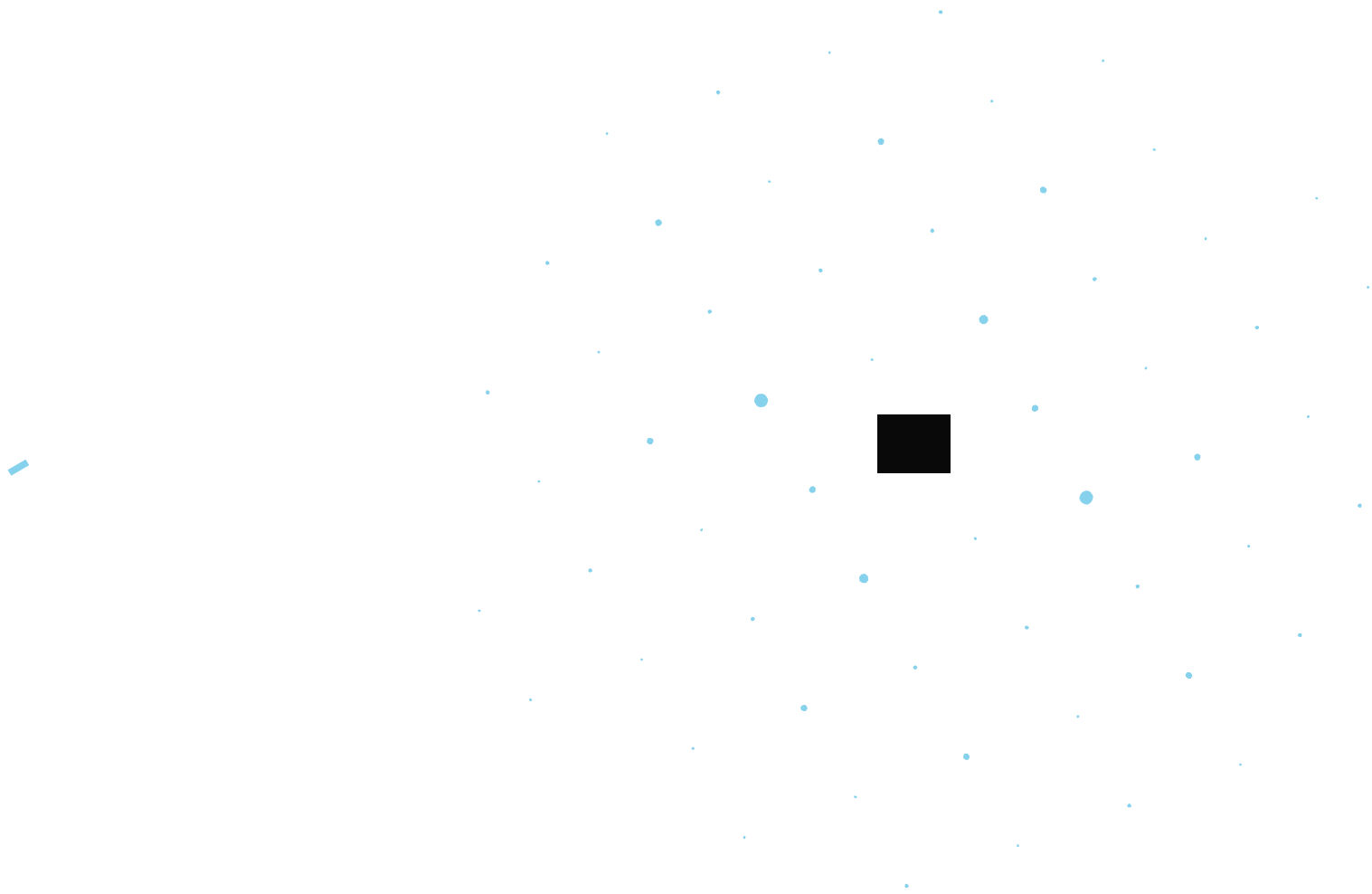
Diffrazione da polveri



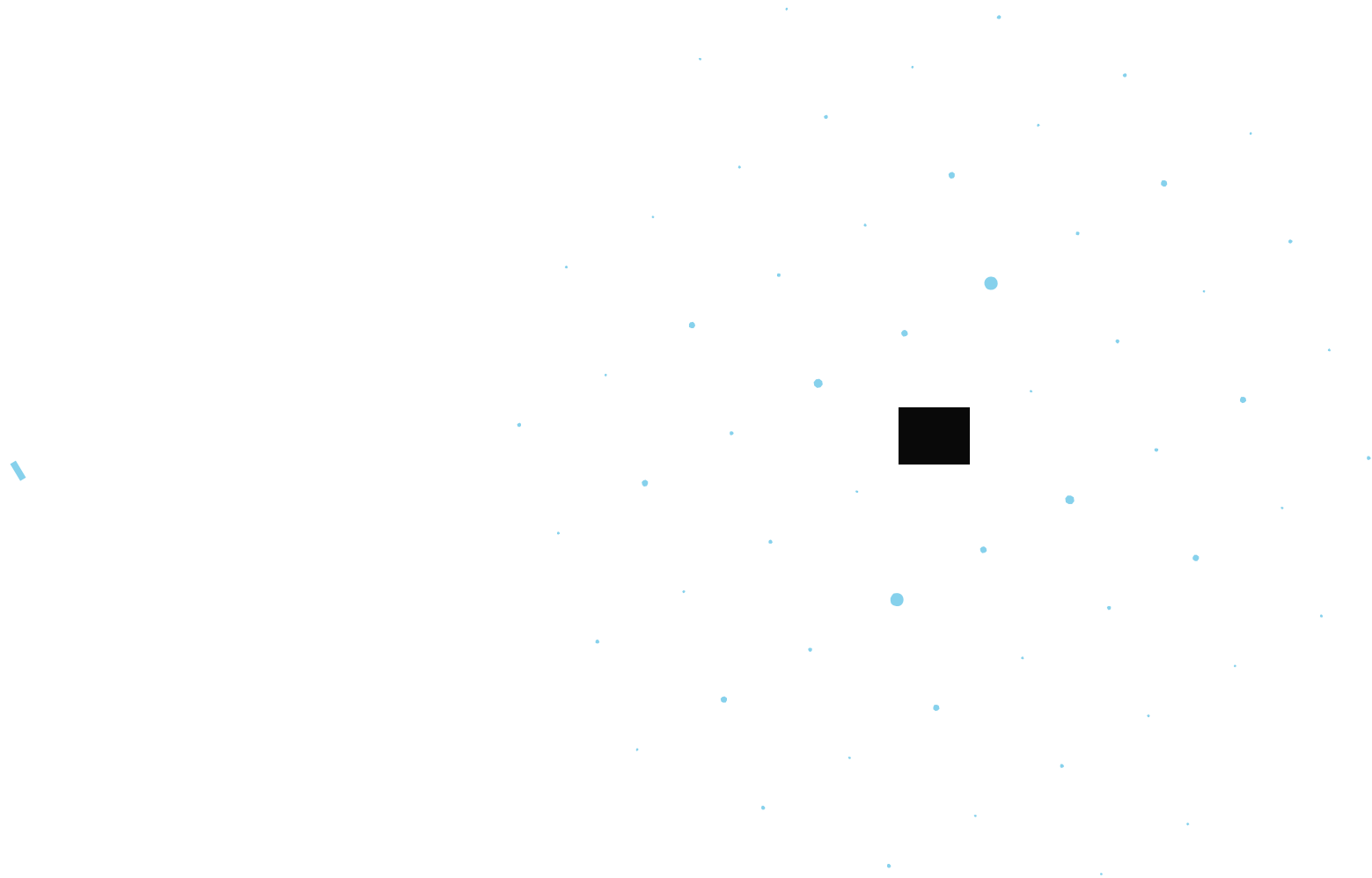
Diffrazione da polveri



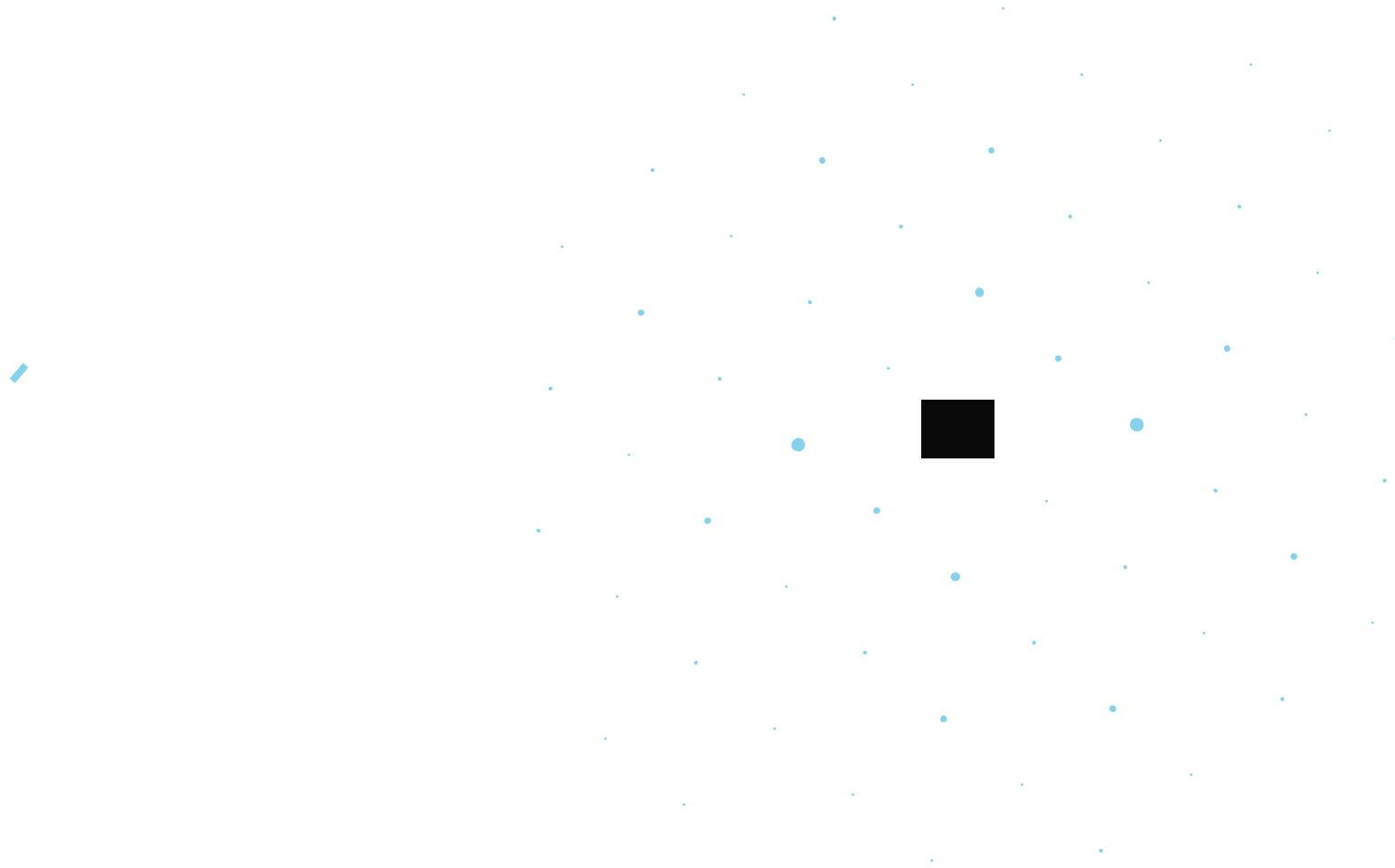
Diffrazione da polveri



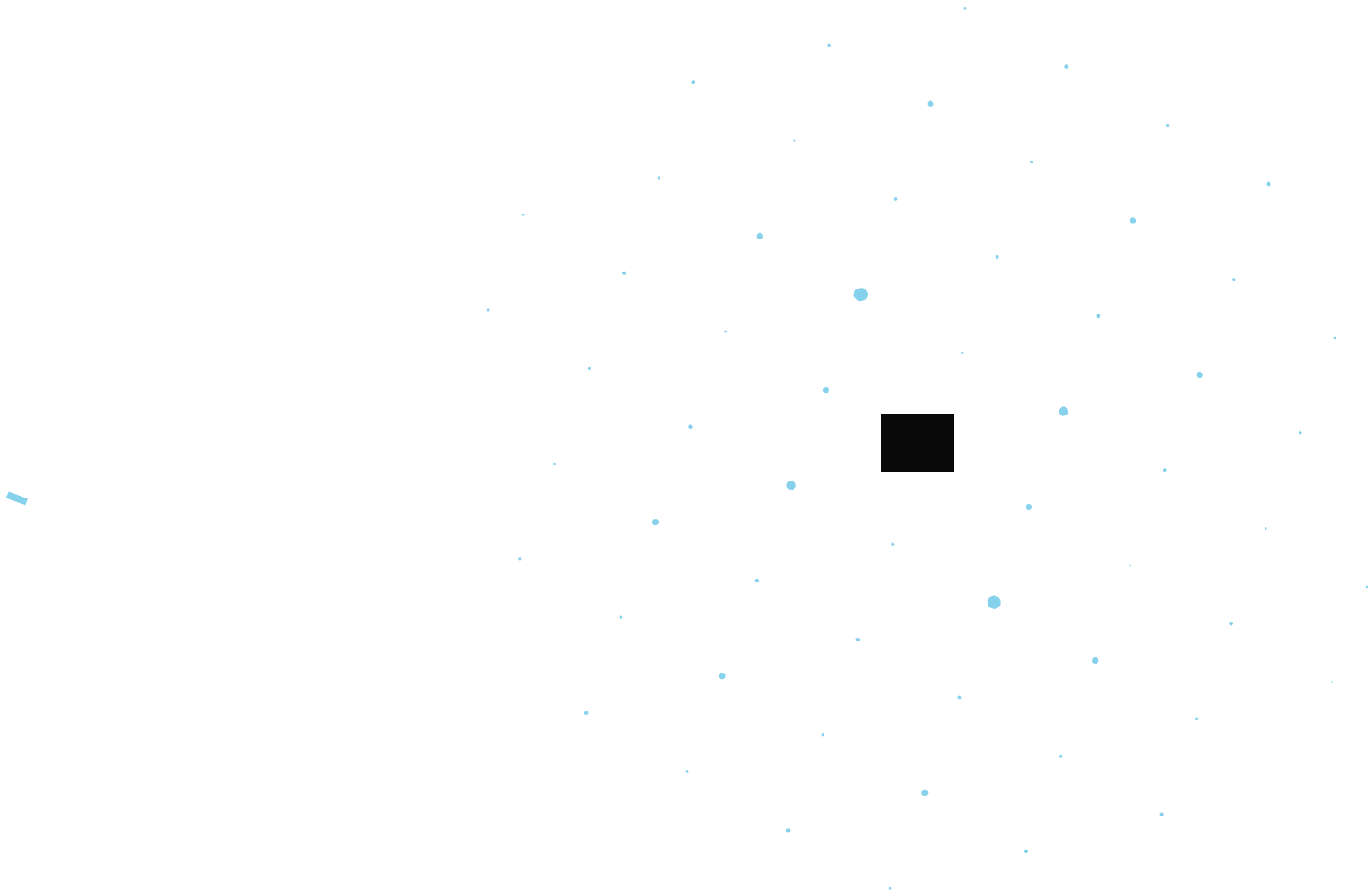
Diffrazione da polveri



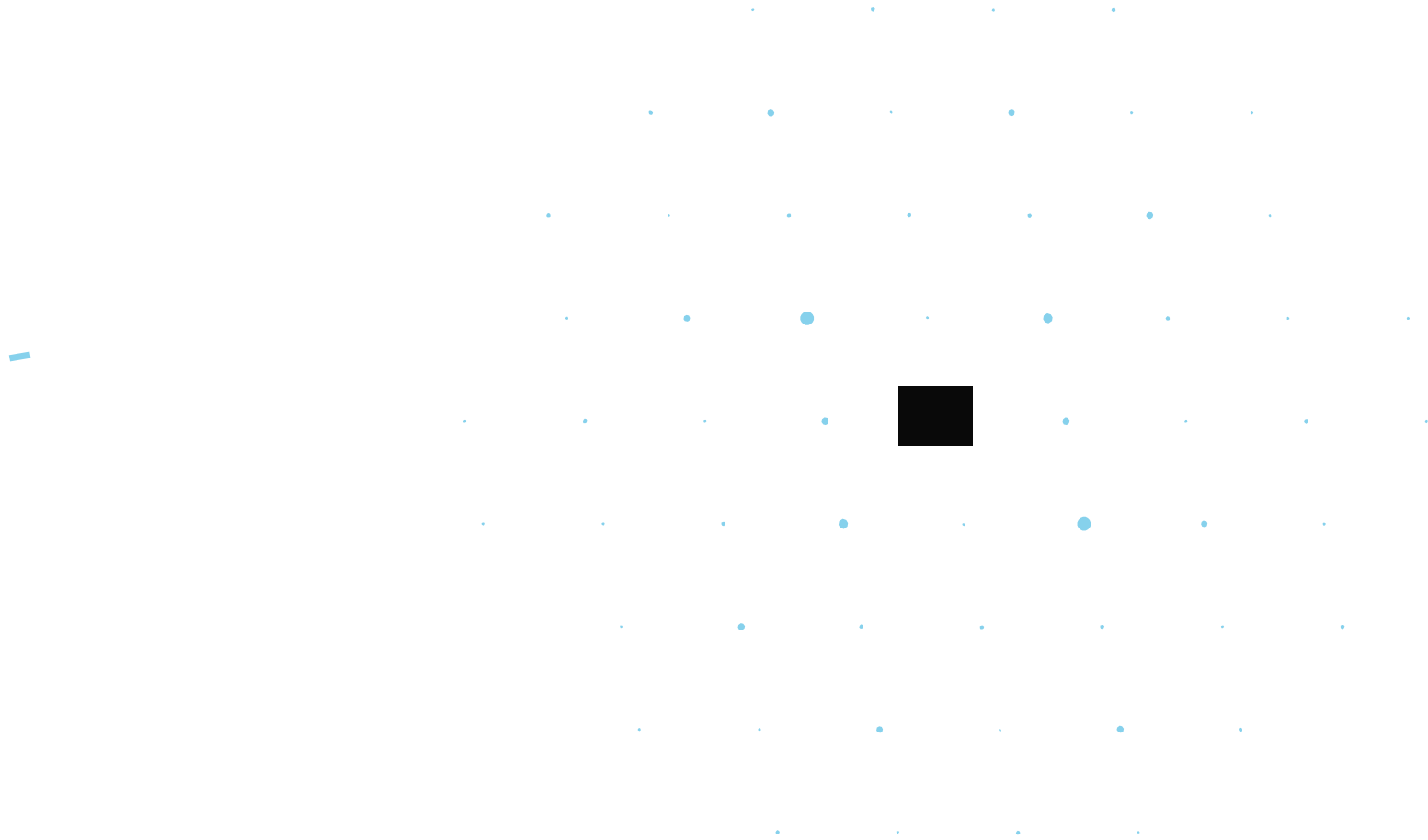
Diffrazione da polveri



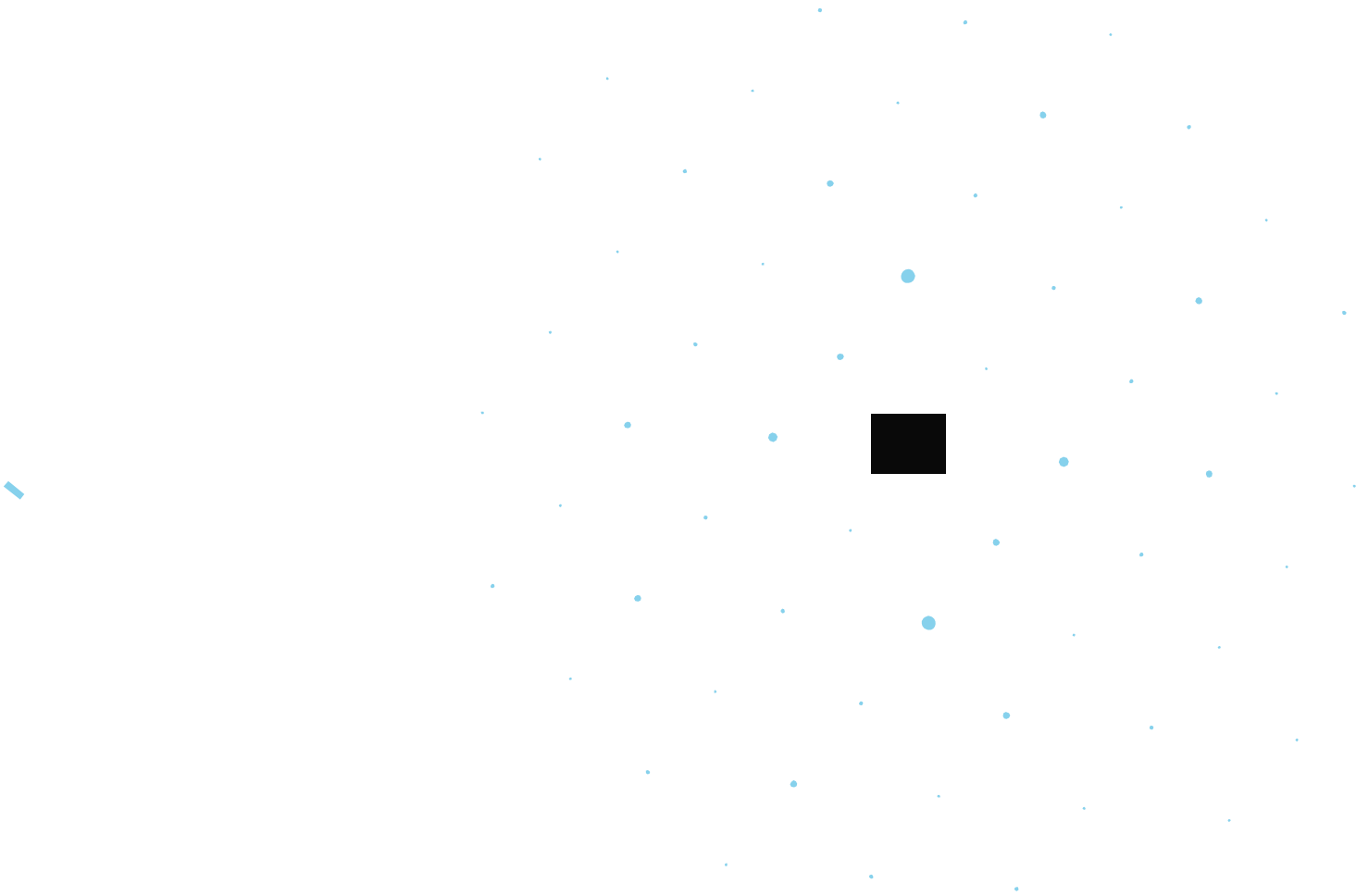
Diffrazione da polveri



Diffrazione da polveri



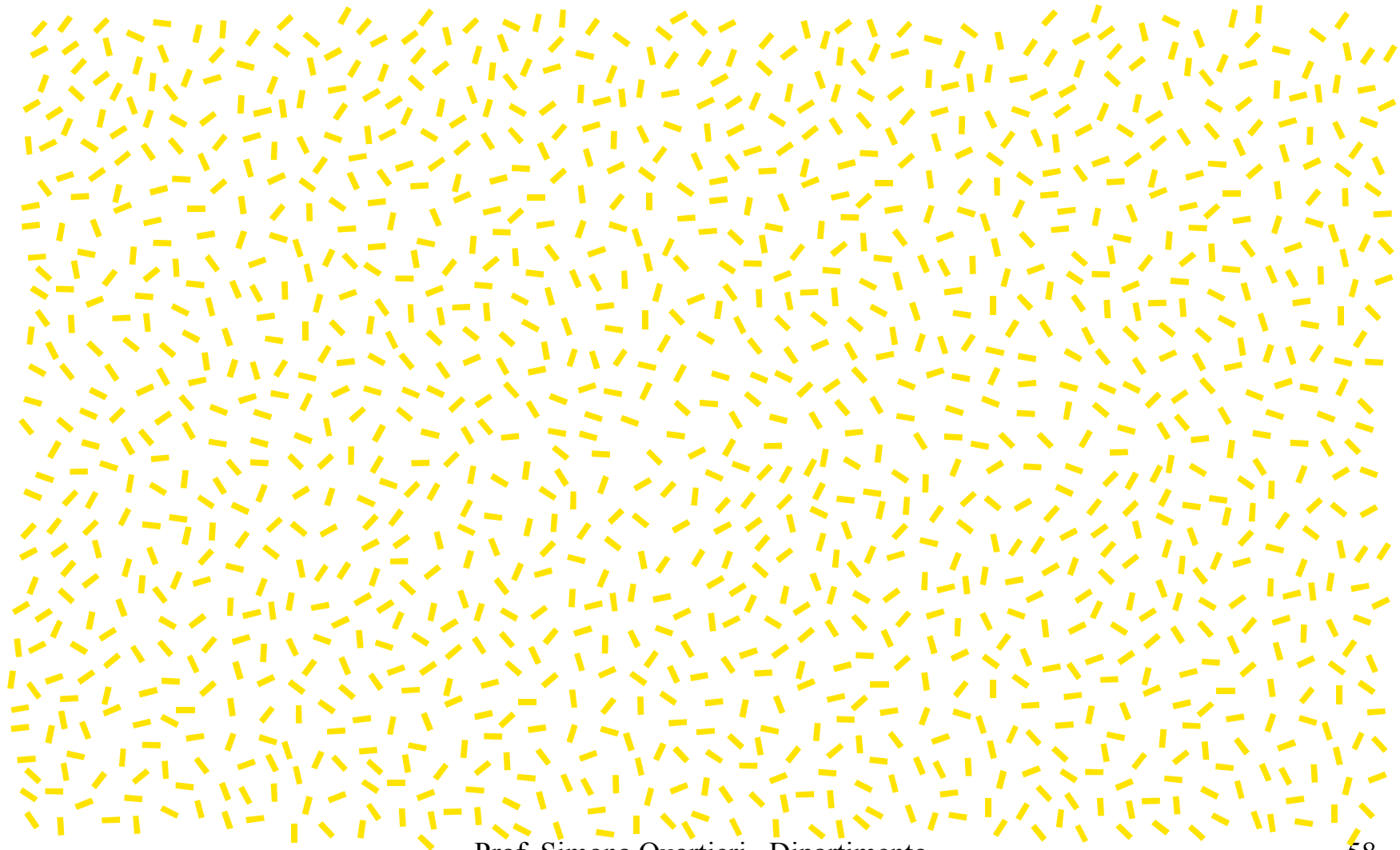
Diffrazione da polveri



Diffrazione da polveri



Milioni di cristalliti orientati in modo random



Spettro di diffrazione da una polvere "ideale"

