

Fisica Generale I

Testi: **P.Mazzoldi, M.Nigro, C. Voci** Elementi di Fisica ed.
Edises – Vol I e II Meccanica e Termodinamica e Onde (da cui
sono prese molte figure)

Taylor John :Introduzione all'analisi degli errori. Lo studio delle
incertezze nelle misure fisiche
Ed Zanichelli

Prof. A. Romero telef. 011 6707302

alessandra.romero@unito.it

<http://personalpages.to.infn.it/~romero/>

Ufficio: Via P. Giuria 1, 4 piano

Ricevimento su appuntamento via email o telefono

Scopo dei corsi di Fisica

- **Fisica** fa parte del curriculum universitario di tutte le **discipline scientifiche**
- Fisica → **propedeutica** (nozioni di base utili per altre discipline)
- → importanza **culturale**. Introduce **metodologia generale** di studio e rappresentazione dei fenomeni naturali
- Fisica è scienza **sperimentale**
- Galileo ha introdotto il **metodo scientifico**

- **Fisica** studia i **costituenti fondamentali** della materia e le loro interazioni per **spiegare** i diversi **fenomeni naturali** e le **proprietà della materia**.
- **Chimica**, ad esempio, usa le leggi fisiche per spiegare formazione di molecole
- **Scienza dei Materiali** fa largo uso della **Fisica** per studiare le **proprietà dei materiali** e per fare **ricerca** sui **nuovi materiali**.
- Applicazioni di fisica della materia

Principali Argomenti Trattati

- Unità di misura, SI, studio delle incertezze nelle misure fisiche e analisi degli errori
- I vettori
- Cinematica del punto materiale
- Dinamica del punto ed equazioni del moto
- Lavoro, energia e sistemi conservativi
- Dinamica dei sistemi
- Fenomeni d'urto e reazioni
- Dinamica rotazionale
- Dinamica dei fluidi
- Esperienze di laboratorio

Introduzione

- Si deve conoscere la fisica di base per capire la fisica avanzata e imparare ad usare il **linguaggio** della fisica che è diverso dal linguaggio comune → *forza* diversa da *lavoro*
- Fisica si basa su studio di **quantità misurabili** → Importanza di **sistemi di unità di misura** e del concetto di **misura**
- Risoluzione di problemi di fisica che sono sempre diversi tra loro aiutano a imparare a **risolvere problemi** di altro tipo. Studio di fisica ci aiuta a **capire il mondo** che ci circonda, ci abitua al **metodo scientifico**, a risolvere problemi nuovi, a ragionare **utilizzando** formule **matematiche** → strumenti utili in molti campi.
- Per capire **fisica moderna** si devono **studiare** i **fondamenti** di quella **classica**
- Per questo partiremo dalla definizione delle grandezze fisiche e dalle loro unità di misura.

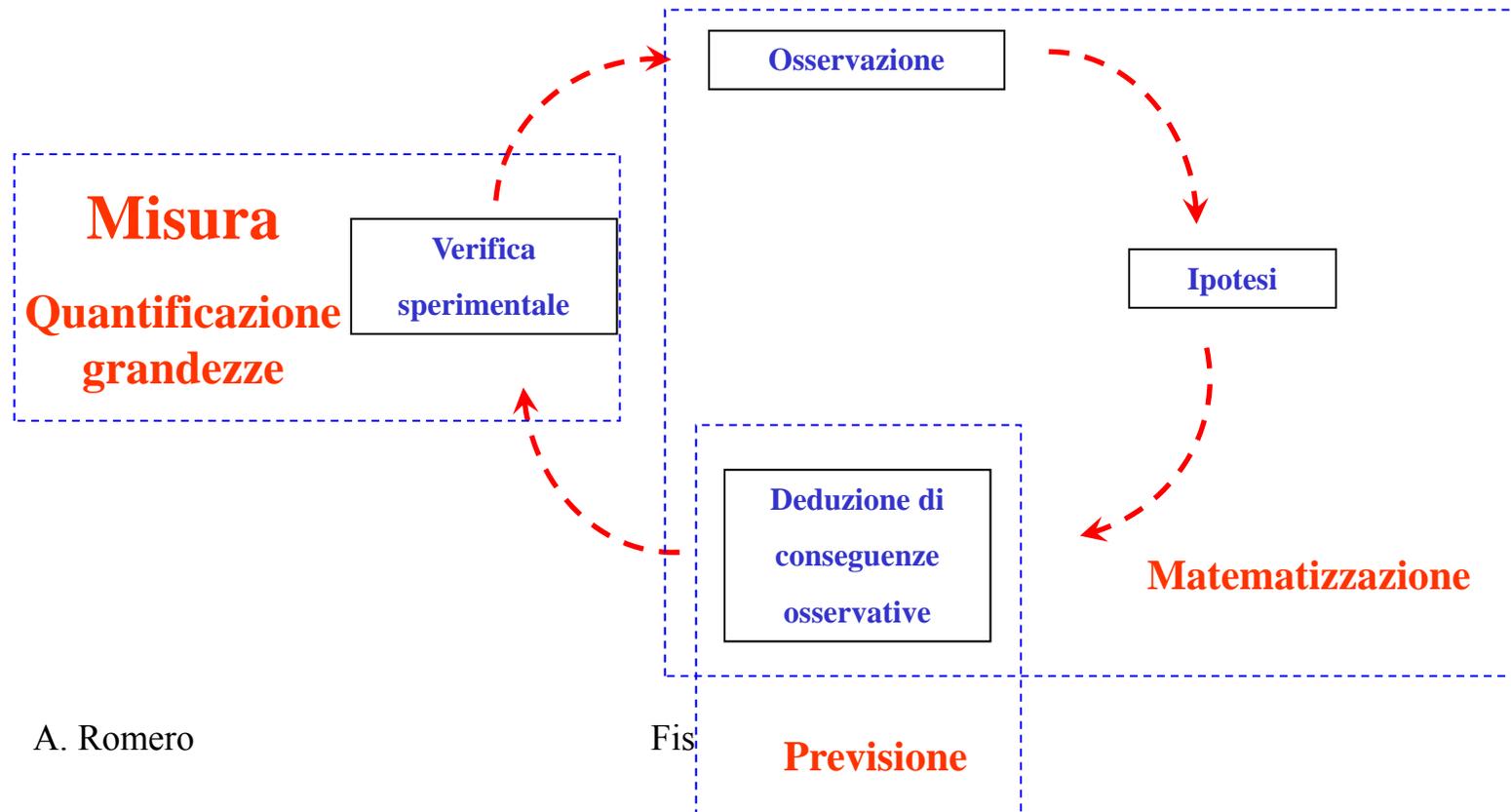
FISICA



Descrizione e interpretazione dei fenomeni naturali

Come? con **IL METODO SCIENTIFICO**

- ✓ osservare e descrivere un dato fenomeno
- ✓ formulare un'ipotesi che lo possa spiegare
- ✓ prevedere una o più conseguenze dipendenti da quest'ipotesi
- ✓ verificare in modo **sperimentale** le conseguenze - **individuazione grandezze**
- **misura**
- ✓ concludere (valutare): confermare o confutare l'ipotesi **iniziale**



Grandezze fisiche

Una grandezza fisica è definita se si è indicato un modo operativo per **misurarla** e la misura è **riproducibile**



Procedura di misura diretta:(es lunghezza)

1. individuare una **unità di misura**
2. **confronto** della grandezza con l'unità di misura: riportare tante volte l'unità di misura sulla grandezza da misurare fino a ricoprirla interamente (es: lunghezza)
3. **contare il numero** di volte per cui si è riportata l'unità di misura
4. esprimere la grandezza come **numero e unità di misura**.

La misura di una grandezza fisica si dice **indiretta** se viene effettuata attraverso il **calcolo di una espressione matematica**, dove compaiono grandezze misurate direttamente (es. velocità)

Rappresentazione delle leggi fisiche

Le leggi che descrivono i fenomeni naturali possono essere qualitative o quantitative. Per esempio, quando si dice che un sasso abbandonato a se stesso cade a terra, si esprime una legge **qualitativa**; ma si può anche cercare la relazione **quantitativa** che passa tra l'altezza da cui cade il sasso e il tempo che esso impiega a giungere al suolo.

Per stabilire **sperimentalmente** questa **relazione matematica** si devono eseguire delle **misure**.

In questo caso, l'esperimento potrebbe consistere nel far cadere il corpo da diverse altezze e nel misurare la durata della caduta, ossia il tempo impiegato dal corpo a cadere.

Qualitativamente si osserva che il corpo cade e che la sua velocità aumenta mano a mano che cade (si vedrà trattarsi di un moto **uniformemente accelerato**).



Rappresentazione delle leggi fisiche

| Altezza, h (m) | Tempo, t (s) |
|------------------|----------------|
| $1,00 \pm 0,01$ | 0.45 |
| 2 | 0.64 |
| 3 | 0.78 |
| 4 | 0.90 |
| 5 | 1.01 |
| 6 | 1.11 |

metro

secondo

PUNTI IMPORTANTI SU CUI TORNEREMO

Per poter rendere comprensibile l'esperimento o il risultato di una misura e poterlo eseguire in modo ripetibile anche in altri luoghi, per poter discutere il risultato con scienziati anche di altre lingue, è necessario definire con quali **unità di misura** l'esperimento viene eseguito.

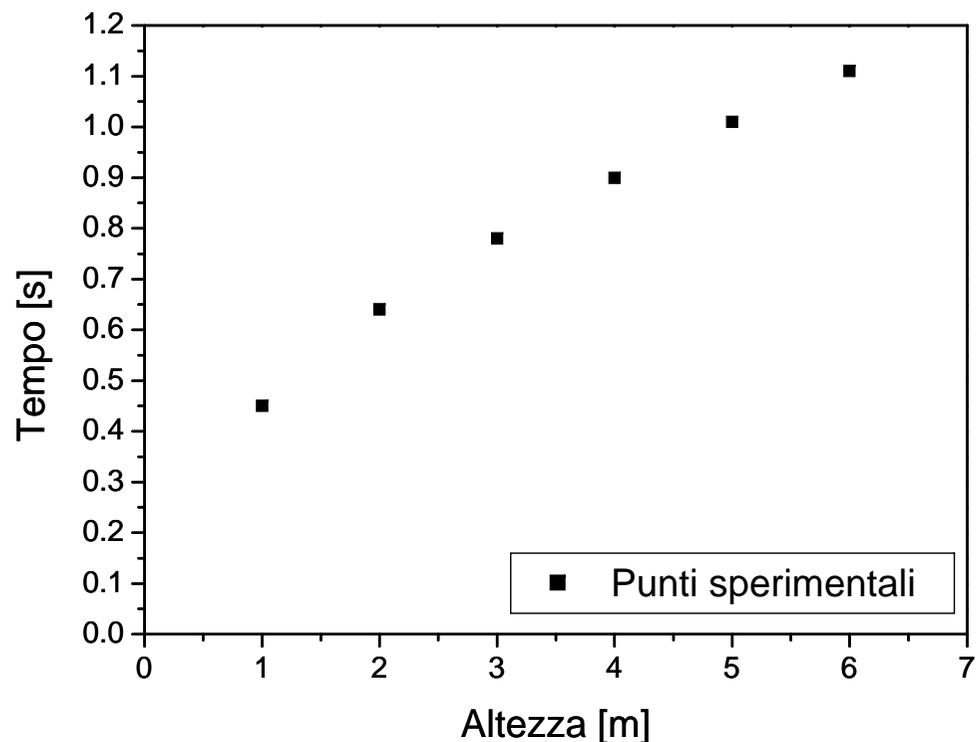
Tali unità di misura devono poter essere **disponibili o ricavabili da chiunque**. Da qui la necessità di definire in modo univoco alcune unità di misura di base da usare come **campioni primari** e da cui ricavare anche tutte le altre.

Poiché per eseguire le misure utilizziamo strumenti che hanno dei limiti, le singole misure sono affette da **un'incertezza** che dipende dalle condizioni in cui sono state effettuate. Ad esempio, se per misurare l'altezza utilizziamo un metro da falegname, potremo stimarne il valore con una incertezza che si aggira sul millimetro.

Rappresentazione delle leggi fisiche

E' molto utile servirsi del metodo grafico per rappresentare i risultati di un esperimento. In una rappresentazione grafica si usa indicare con dei punti le misure sperimentali.

| Altezza, h (m) | Tempo, t (s) |
|----------------|--------------|
| 1 | 0.45 |
| 2 | 0.64 |
| 3 | 0.78 |
| 4 | 0.90 |
| 5 | 1.01 |
| 6 | 1.11 |

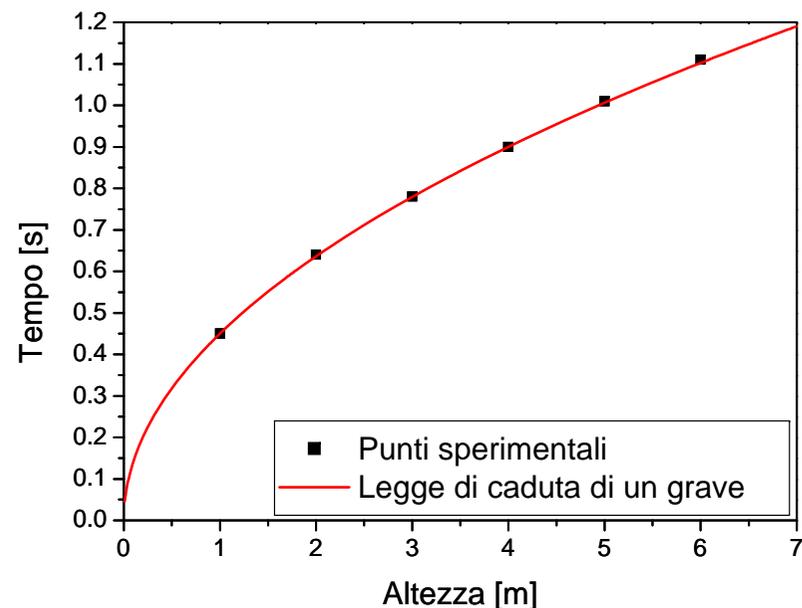


Una volta **eseguito l'esperimento** ed **ottenuto il grafico** dell'andamento del fenomeno si possono utilizzare mezzi di **calcolo per ricavare la (eventuale) formula matematica** che lo descrive in funzione delle grandezze fisiche prese in considerazione (altezza e tempo).

Rappresentazione delle leggi fisiche

In questo caso si può dimostrare che:

$$t = 0,45 \times \sqrt{h}$$



Dal punto di vista grafico, la legge matematica si può rappresentare con una curva continua. Se la legge descrive bene il fenomeno, la curva passerà (**fitterà**) per i punti sperimentali. Tutte gli esperimenti in cui la legge non descriverà bene i risultati ottenuti con le misure, saranno lo stimolo per trovare delle correzioni al modello matematico o nuove grandezze fisiche da cui dipende il fenomeno.

In questo modo, la nostra conoscenza del mondo, avanza...

*Ad esempio, se si lascia cadere il corpo da molto in alto, ad un certo punto la sua velocità non aumenterà più. Studiando il fenomeno si può capire che entra in gioco un'altra variabile: l'attrito dell'oggetto con l'aria. La legge andrà allora **modificata** in modo da tener conto di questo nuovo fenomeno.*

Rappresentazione delle leggi fisiche

$$t = 0,45 \times \sqrt{h} \quad \longrightarrow \quad h = \left(\frac{t}{0,45} \right)^2 = 4,94 \times t^2$$

Per il fenomeno indagato (caduta di un grave), questa legge ci dice **come varia** una grandezza fisica (**l'altezza**) in **funzione** di un'altra (**il tempo**).

L'importanza di conoscere **le leggi fisiche** risiede nella possibilità di **spiegare** i fenomeni naturali e nella possibilità di **prevedere** il comportamento di un "sistema" senza dover necessariamente effettuare un esperimento (cosa che in **alcuni casi non è fattibile**).

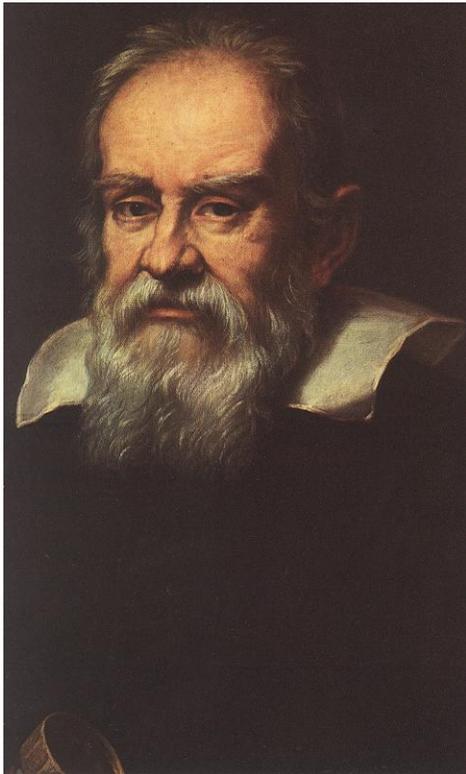
Ad esempio, se voglio misurare la **profondità di un pozzo** o l'altezza di un ponte e non dispongo di un metro abbastanza lungo posso, far cadere una pietra e misurare il tempo trascorso prima di sentire il tonfo nell'acqua (sempre che ce ne sia).

$$h = 4,94 \times t^2 \quad \longrightarrow \quad h = 4,94 \times 25 = 123,5 \text{ metri}$$

t = 5 s

Metodo scientifico

Quello che abbiamo visto è un esempio dell'utilizzo del **metodo scientifico** per ricavare una legge della fisica (ovvero la descrizione quantitativa di un fenomeno naturale).



Tra i fondatori di questo metodo vi è **Galileo Galilei** (1564-1642).

L'introduzione di questo metodo ha rivoluzionato il modo di pensare degli uomini ed ha dato inizio ad una nuova era, quello della **scienza moderna**

SUSTERMANS, Justus
(1597-1681)

Ritratto di Galileo Galilei (1564-1642) - (del 1632 è il Dialogo sopra i due massimi sistemi)
Olio su tela, 56 x 48 cm
Galleria Palatina (Palazzo Pitti), Firenze

Rappresentazione delle leggi fisiche

L'importanza di conoscere le leggi fisiche risiede nella possibilità di spiegare i fenomeni naturali e nella possibilità di **prevedere** il comportamento di un "sistema".

Nella tecnica XRF (Fluorescenza da Raggi X) si misura l'energia dei raggi x emessi da un materiale bombardato, a sua volta, con raggi x. L'energia dei raggi x emessi dal materiale in funzione del suo numero atomico segue la **legge di Moseley**. Ad esempio, i raggi x con energia pari a circa 2.3 keV corrispondono allo zolfo che può così essere identificato.

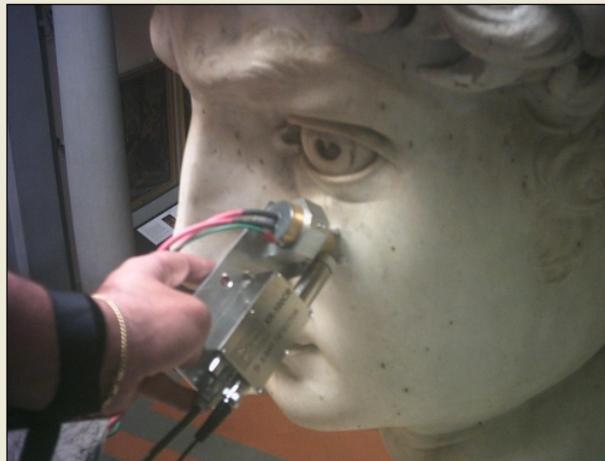
$$E = 10,2 \times (Z - 1)^2 \quad \Rightarrow \quad Z = \sqrt{\frac{E}{10,2}} + 1 \quad \xrightarrow{E = 2300 \text{ eV}} \quad Z = \sqrt{\frac{2300}{10,2}} + 1 = 16$$

LEGGI DI MOSELEY

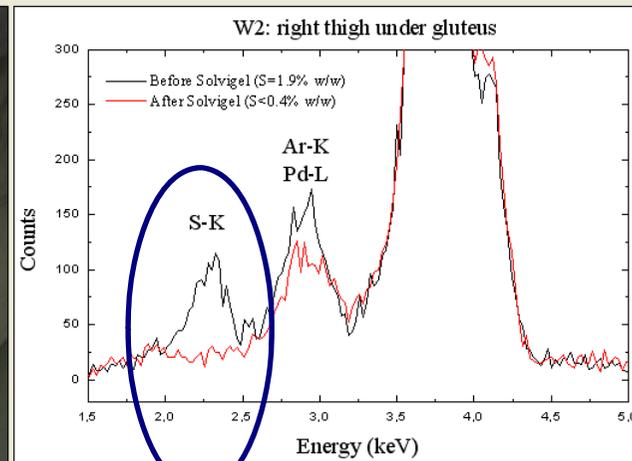


Moseley 1887-1915

The Restoration of Michelangelo's David



XR-100CR shown taking an x-ray fluorescence spectrum of David.



Typical spectrum before and after cleaning treatment.

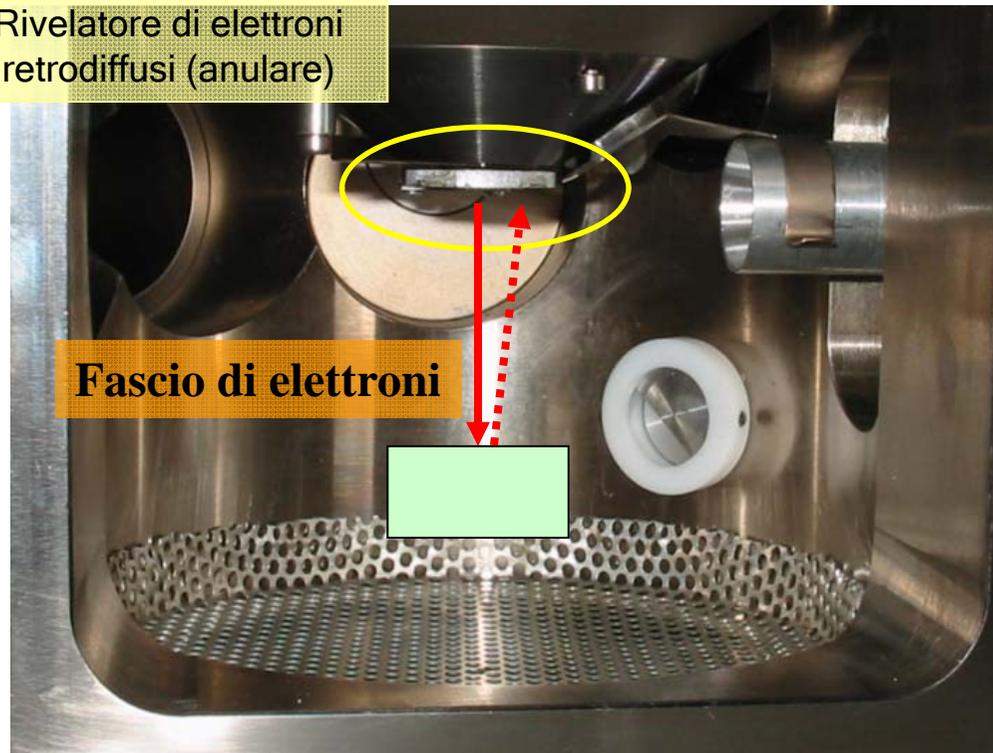
Mapping sulphates on Michelangelo's David using portable EDXRF (from "Exploring David: diagnostic tests and state of conservation," edited by S. Bracci et al., GIUNTI, Florence, 2004)
Giovanni Buccolieri, Alfredo Castellano, Marina Donativi, Stefano Quarta
Università di Lecce, Dipartimento di Scienza dei Materiali

Esempio: microscopia elettronica

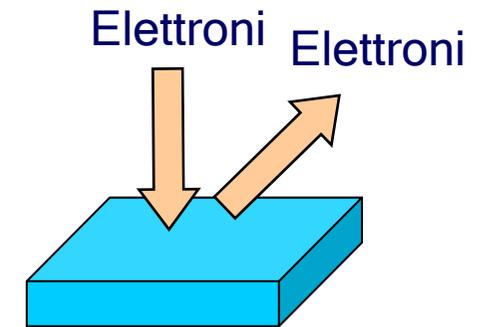
Una delle modalità di operare del microscopio elettronico (modalità BS = BackScattering) permette di ottenere delle immagini in cui il contrasto nelle tonalità di grigio è dato dal numero atomico dell'elemento chimico di cui è composto il materiale del campione.

Si vedrà che la tecnica si basa sulla misura del numero degli elettroni che escono dal materiale dopo un **urto elastico** con gli atomi che lo compongono (elettroni retrodiffusi).

Rivelatore di elettroni retrodiffusi (anulare)



Fascio di elettroni



Microscopia elettronica
(modalità BS)

Interno della camera di un microscopio elettronico.

Esempio: microscopia elettronica

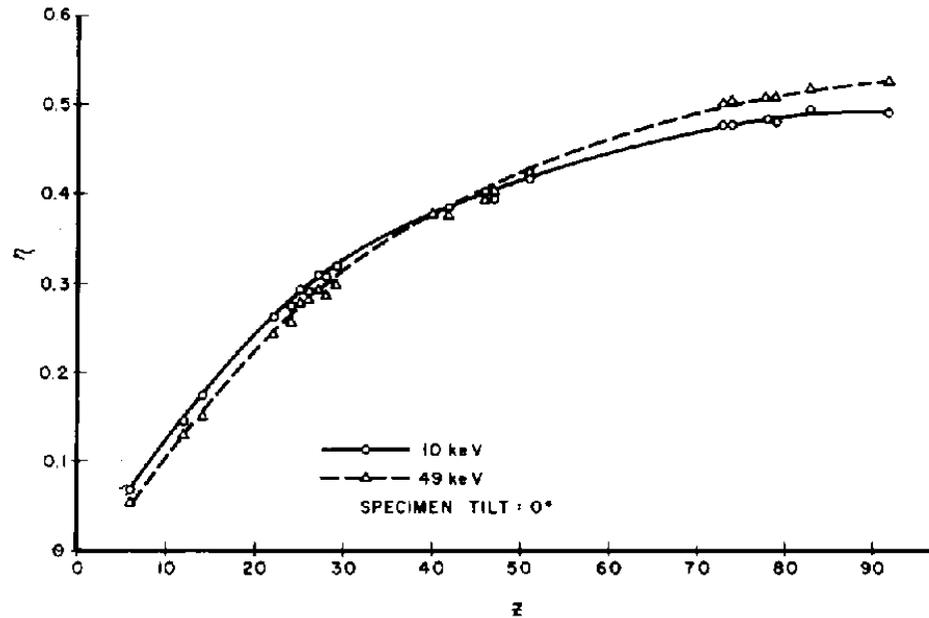
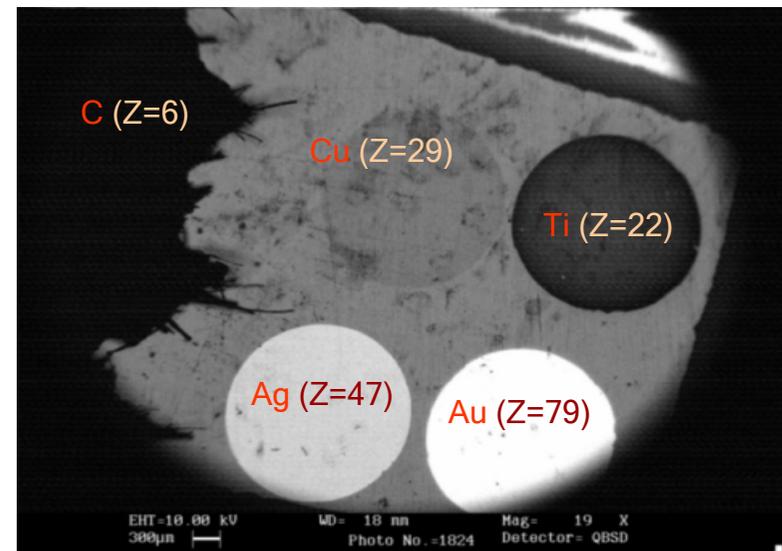


Figure 3.13. Variation of the backscatter coefficient as a function of atomic number at $E_0 = 10$ keV and $E_0 = 49$ keV. Data of Heinrich (1966a).

Immagine acquisita per mezzo della misura del numero degli elettroni retrodiffusi. Il campione è piano per cui il contrasto è dovuto al diverso numero atomico degli elementi chimici di cui sono fatte le diverse aree.

Maggiore è il numero atomico dell'elemento chimico e maggiore è il numero di elettroni retrodiffusi. Le immagini del campione che vengono generate saranno più chiare (più elettroni) in corrispondenza di un elemento ad elevato numero atomico.

$$\eta = \frac{\text{elettroni retrodiffusi}}{\text{elettroni incidenti}}$$

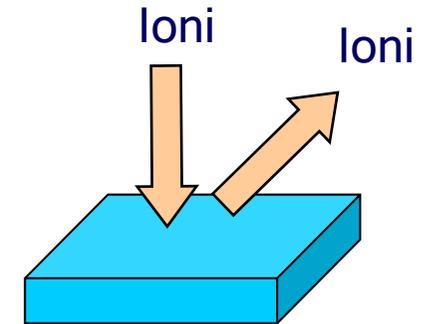


Esempio: RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy)

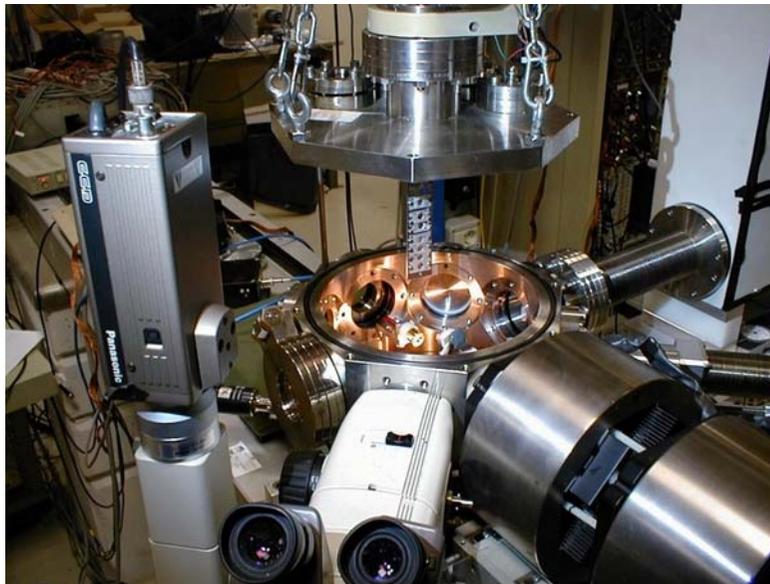
Si tratta di una tecnica ampiamente utilizzata che trova applicazioni nella misura dello spessore di film sottili, nello studio delle interfacce e dei profili di diffusione o drogaggio.

Si può raggiungere una **risoluzione in profondità di 20 nm** (in alcuni casi si arriva fino a circa 8-10 nm).

Nella tecnica RBS un **fascio di ioni** (solitamente nuclei di **elio**, ma in molti casi anche **protoni**) incide sul materiale da analizzare. Quello che si **misura** è il **numero e l'energia degli ioni** che dopo aver subito urti con gli atomi del materiale escono nuovamente dal campione.



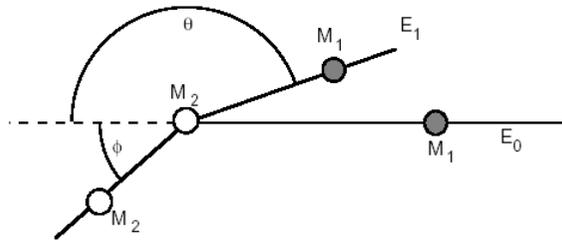
Spettrometria RBS



Camera a vuoto per misure di microscopia ionica, tra cui RBS (Laboratori Nazionali dell'INFN di Legnaro)

Esempio: RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy)

La teoria di base che permette l'interpretazione dei risultati sperimentali è relativamente semplice. Infatti, se l'energia dello ione incidente è inferiore ad un valore di soglia che dipende dal suo numero atomico e da quello dell'atomo bersaglio, l'urto può essere considerato elastico (assenza di reazioni di tipo nucleare). Per cui potremo scrivere il principio di **conservazione dell'energia** e **della quantità di moto** nel seguente modo:



M_1 = massa dell'atomo incidente

M_2 = massa dell'atomo bersaglio

E_0 = energia iniziale dell'atomo incidente

E_1 = energia finale dell'atomo incidente

$$\begin{cases} \frac{1}{2} M_1 v^2 = \frac{1}{2} M_1 v_1^2 + \frac{1}{2} M_2 v_2^2 \\ M_1 v = M_1 v_1 \cos \theta + M_2 v_2 \cos \phi \\ 0 = M_1 v_1 \sin \theta + M_2 v_2 \sin \phi \end{cases}$$

Con un pò di passaggi
matematici...

$$\frac{E_1}{E_0} = \left(\frac{M_1 \cos \theta + \sqrt{M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \theta}}{M_1 + M_2} \right)^2 = K(M_1, M_2, \theta)$$

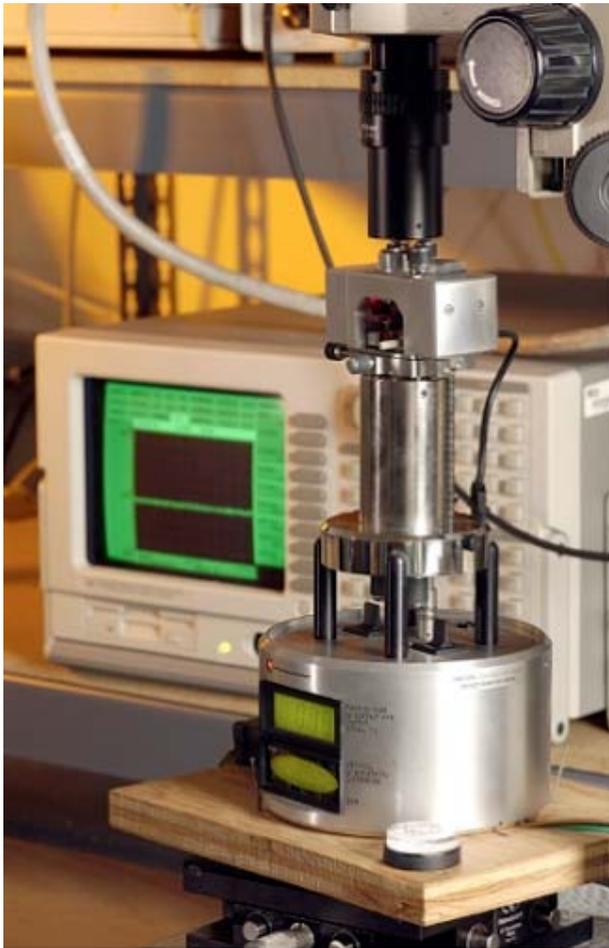
K = costante cinematica
(non dipende dall'energia ed è sempre ≤ 1)

Quindi, **fissato l'angolo θ** a cui rivelare gli ioni che subiscono scattering, e **nota M_1** la massa dello ione incidente, l'energia dello ione misurata dal rivelatore dipende solo dalla massa M_2 , ovvero dalla massa dell'atomo di cui è costituito il materiale

Ma di questo e di come ottenere i profili di distribuzione in profondità con risoluzione della decina di nanometri, si parlerà in futuri corsi

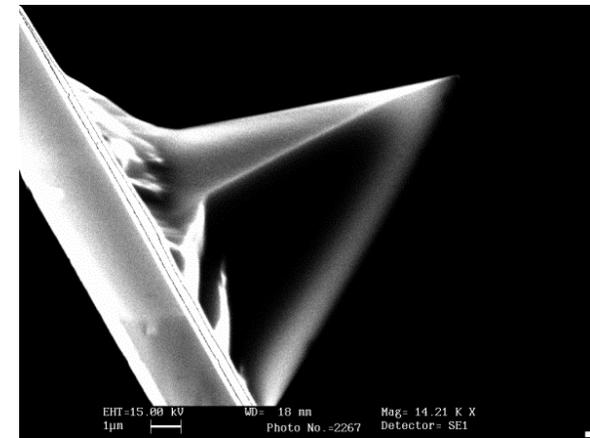
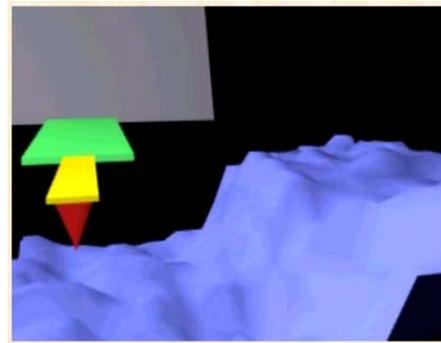
Esempio: AFM (Atomic Force Microscopy)

Si tratta di un microscopio in grado di fornire l'immagine della topografia di un campione con una risoluzione quasi atomica.



A. Romero

Si basa sulla misura della forza agente tra una punta di dimensioni nanometriche ed il campione (la punta viene mossa sul campione come fosse la puntina di un vecchio giradischi).



Titanium nitride
 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$
 $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$

Esempio: AFM (Atomic Force Microscopy)

In prima approssimazione, si vedrà che la punta e il cantilever (supporto su cui è fissata la punta) sono equivalenti ad una **massa attaccata ad una molla**. In una modalità di lavoro (*non-contact*) il cantilever viene fatto oscillare vicino alla superficie del campione ad una **frequenza** compresa generalmente tra 100 e 400 kHz. L'ampiezza dell'oscillazione è dell'ordine della **decina di Å** e la forza di interazione tra punta e campione è nell'intervallo 10^{-12} - 10^{-10} N. Per effetto delle forze di interazione con gli atomi della superficie del campione, la frequenza o l'ampiezza delle oscillazioni possono subire variazioni; tali **variazioni vengono misurate e forniscono informazioni sulla distanza tra la punta e la superficie**.

