

# Corso di Fisica

Testo: Jewett & Serway Principi di Fisica Volume I  
Ed EdiSES

Prof. Alessandra Romero

Telefono: 011 6707302/7392

alessandra.romero@unito.it

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

Ufficio: IV piano via P. Giuria 1, Torino

# Corso di Fisica

Fisica come in altri campi quali ingegneria, medicina, fisioterapia, musica, biologia utile per **capire** e per **mettere a punto nuove tecniche**.

**Fisica classica** (meccanica) → come sono state costruite le opere d'arte (es quali strutture interne delle statue usate per renderle stabili, supporti, sostegni e preparazione di tele e tavole per i dipinti)

Gli **autori di opere d'arte** sovente sono stati **abili e originali fisici**, per risolvere i moltissimi problemi tecnici. Leonardo ha progettato moltissime *macchine* per costruire palcoscenici, etc

**egiziani**

→ costruzioni piramidi

→ costruzione, trasporto e installazione obelischi

→ idraulica (dighe, irrigazioni)

**romani**

→ archi, ponti, acquedotti

Le tecniche esecutive dei dipinti su tela e tavola rivelano una profonda conoscenza del comportamento dei materiali ed una tecnica sviluppata in funzione della buona conservazione dell'opera

Scelta dei materiali ed ideazione di strutture

1) capaci di condizionare i movimenti dei supporti

Tensionamento del supporto tessile su struttura di sostegno (biette)



Traversatura scorrevole del supporto ligneo

2) tali da dare una buona resistenza dell'oggetto nel tempo



Stesura di strati preparatori più o meno elastici con funzione di filtro ai movimenti del supporto. (e non solo).



# SISTEMI DI TRAVERSATURA TRADIZIONALI



Traverse con ponticelli  
metallici

RIPRODUZIONI  
ESEGUITE IN  
LABORATORIO  
per avere metodi  
di contenimento  
scorrevoli



Traverse a coda di rondine



Sistema di scorrimento: nottole

Si ritrovano anche negli interventi storici di restauro



Intervento di traversatura  
di fine 800

# Corso di Fisica

Gli argomenti che verranno trattati:

Sistema Internazionale di unità di misura

Misura ed incertezza sulla misura (faremo misure con calibri )

Cinematica

Meccanica (principi, forze, attriti, lavoro, conservazione dell'energia)

Forze elettromagnetiche

Onde

Ottica

# Scopo dei corsi di fisica

Conoscere la fisica e quindi il modo di operare di alcune delle principali **tecniche di analisi** per i beni culturali.

Queste tecniche, per lo più **non invasive**, sono rivolte a dare un contributo nei seguenti campi:

Conservazione e restauro

Conoscenze aggiuntive sul bene  
(colori, materiali, tecniche utilizzate...)

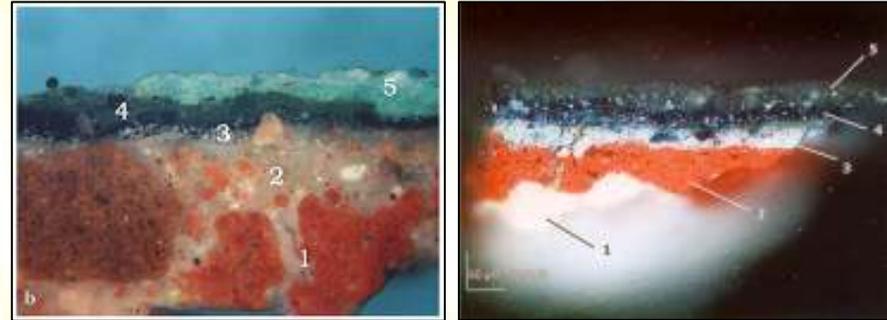
Autenticazione

Provenienza

Datazione

# Conservazione e restauro

Argomenti di fisica: ottica geometrica



Studio della composizione degli strati in un affresco  
Immagini ottenute per mezzo del **microscopio ottico**.



Filmato dell'endoscopia sul braccio destro della  
statua di Germanico  
Immagini ottenute per mezzo di **fibre ottiche**

# Conservazione e restauro

## Argomenti di fisica:

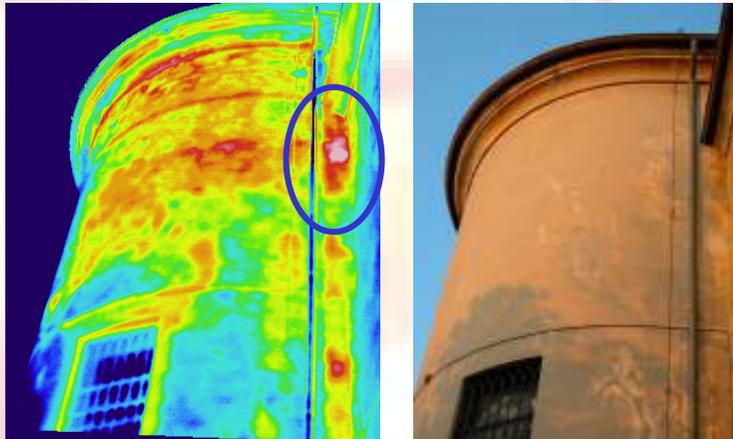
onde elettromagnetiche (spettro nella regione non visibile), interazione radiazione-materia

## Argomenti di fisica:

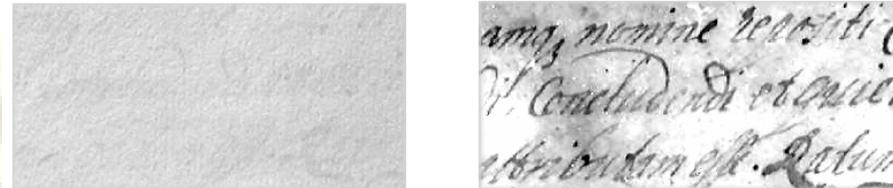
onde elettromagnetiche (spettro nella regione non visibile), termodinamica, radiazione di corpo nero



Stato di conservazione degli strati al di sotto di quello pittorico.



Identificazione di zone di distacco (immagine ottenuta con la termografia)



Frammento di un documento medioevale: il testo, non visibile a occhio nudo a causa del deterioramento dell'inchiostro (sx), può essere reso visibile (dx).

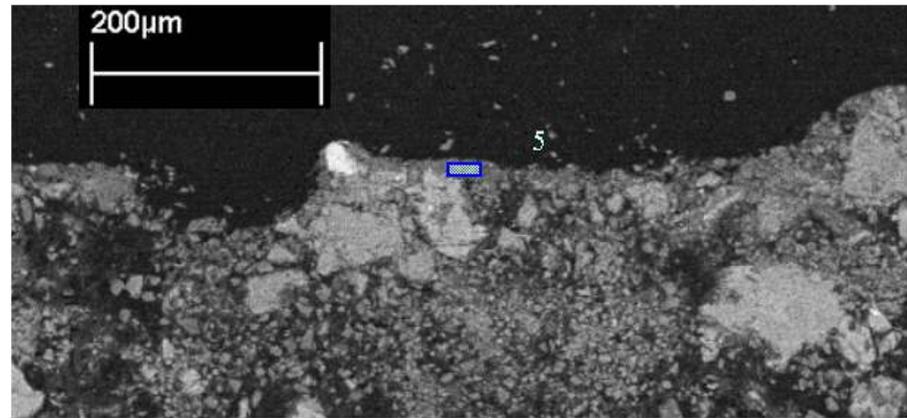
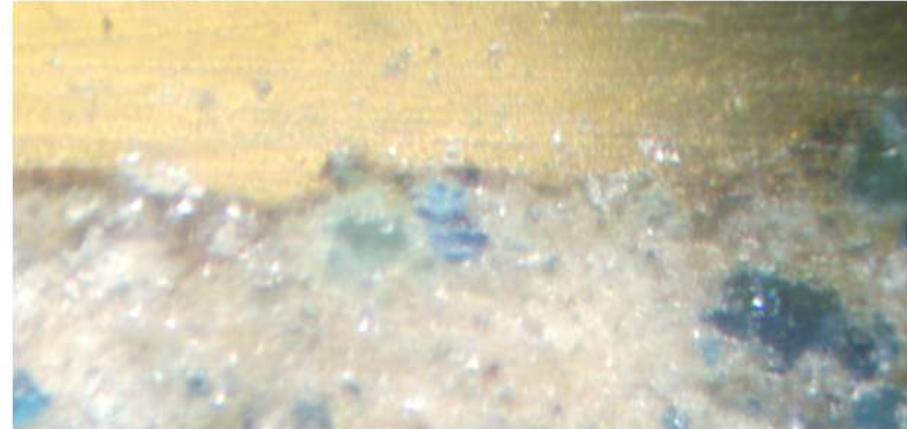
Immagini ottenute per mezzo della riflettografia nell'ultravioletto.

# Conservazione e restauro

**Argomenti di fisica:** fisica atomica,  
interazione radiazione-materia



**Studio delle patine su metalli**  
(immagine ottenuta con il **microscopio elettronico**).



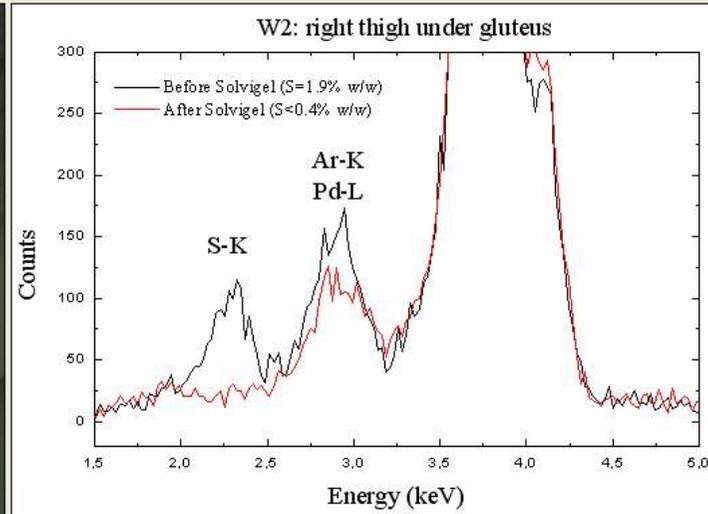
**Studio delle patine su statue lignee**  
(immagine ottenuta con il **microscopio ottico** -in alto- e con il **microscopio elettronico** -in basso-).

# Conservazione e restauro

## The Restoration of Michelangelo's David



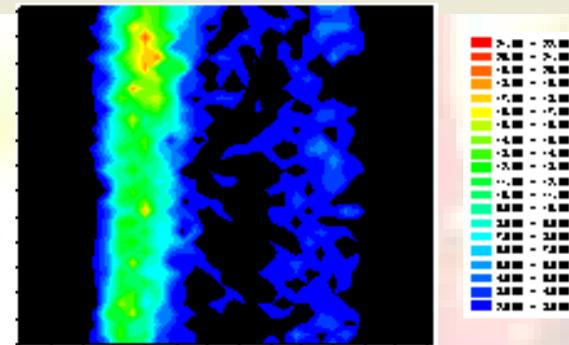
XR-100CR shown taking an x-ray fluorescence spectrum of David.



Typical spectrum before and after cleaning treatment.

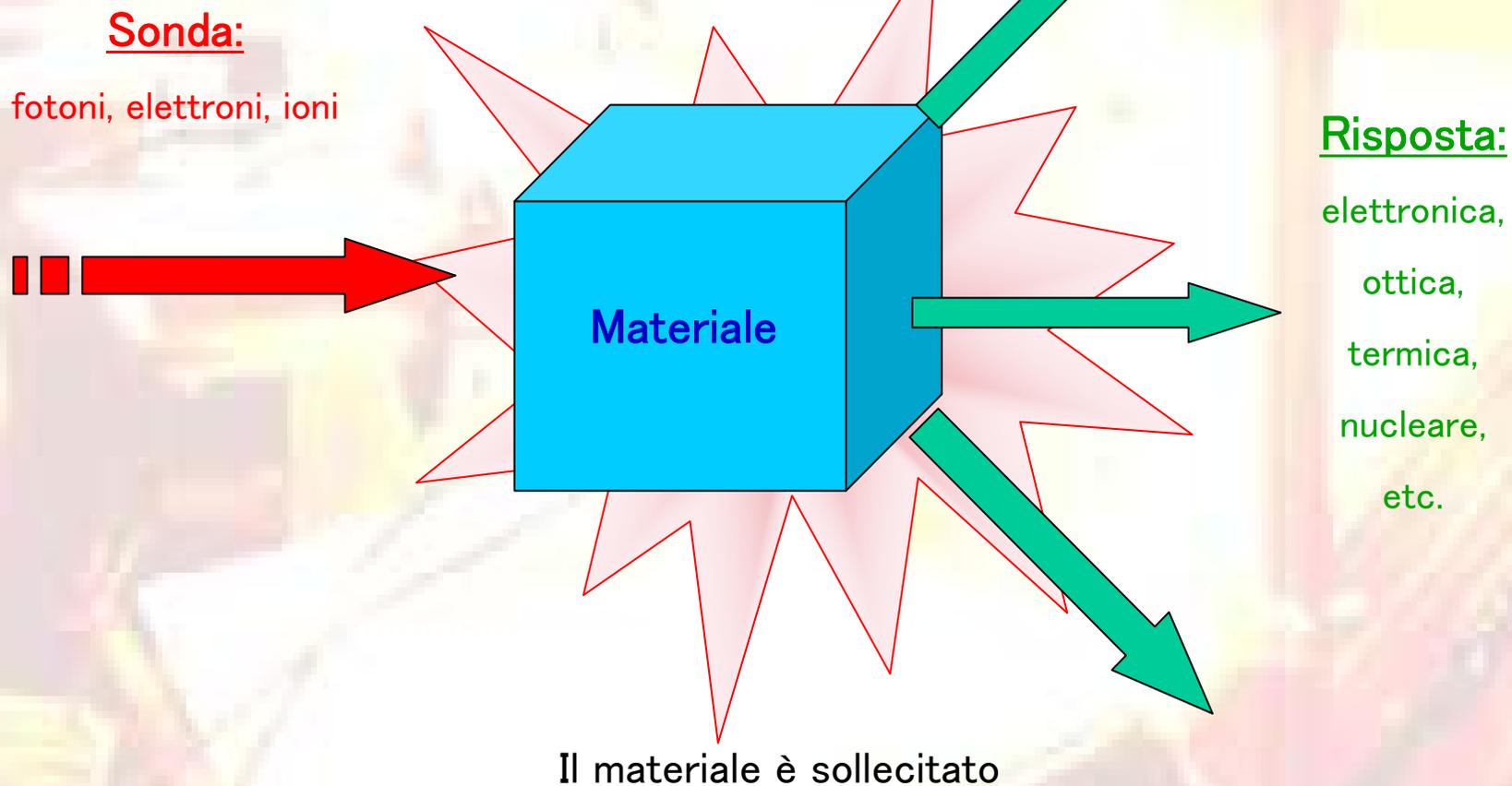
*Mapping sulphates on Michelangelo's David using portable EDXRF (from "Exploring David: diagnostic tests and state of conservation," edited by S. Bracci et al., GIUNTI, Florence, 2004)*  
Giovanni Buccolieri, Alfredo Castellano, Marina Donativi, Stefano Quarta  
Università di Lecce, Dipartimento di Scienza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

**Argomenti di fisica:** fisica atomica,  
interazione radiazione-materia, raggi x



Distribuzione del magnesio in un foglio (sezione)  
(immagine ottenuta con la tecnica **PIXE**).

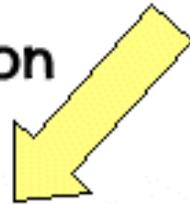
## Caratterizzazione dei materiali mediante metodi spettroscopici: Misurazione dell'intensità della risposta di un materiale sollecitato da una sonda di eccitazione



**Sonda: fotoni**



Illumination

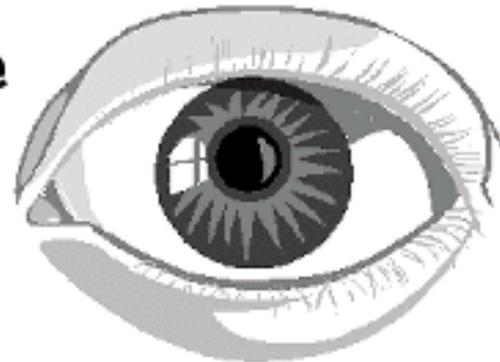
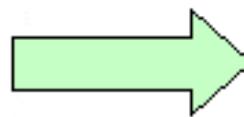


Perception

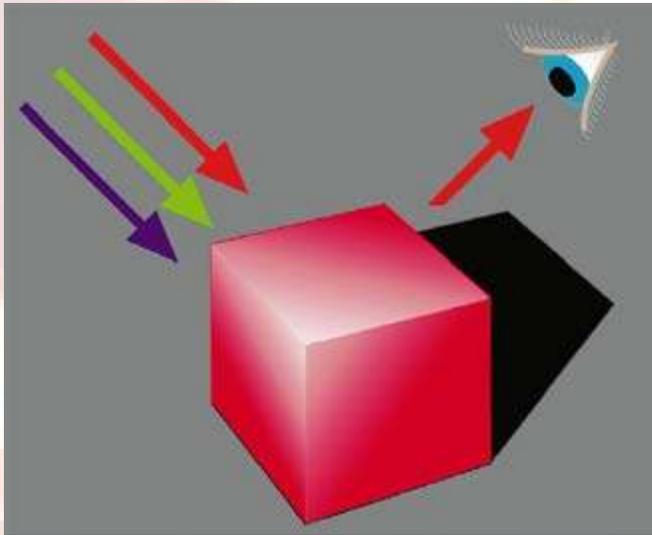
**Risposta: fotoni**



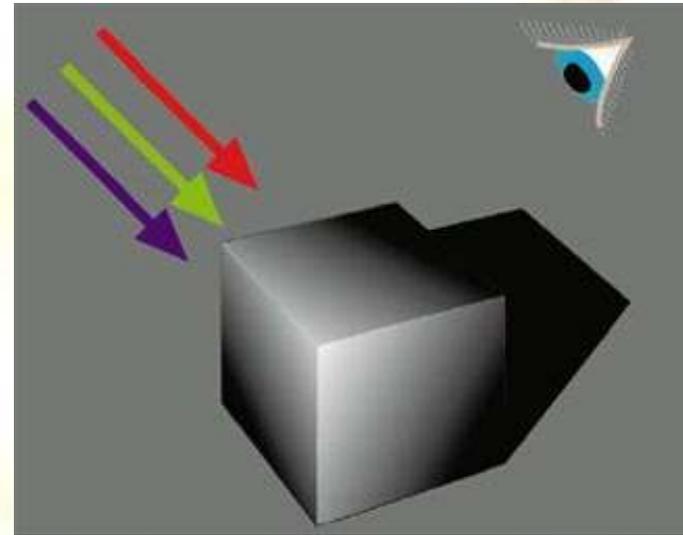
Reflectance



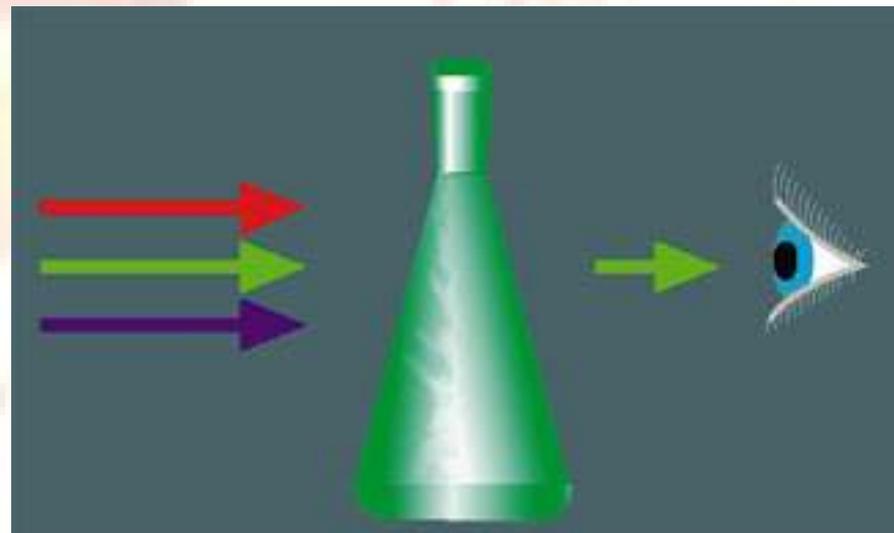
Dirck van BABUREN 1622, Oil on canvas  
Museum of Fine Arts, Boston



**Riflessione**

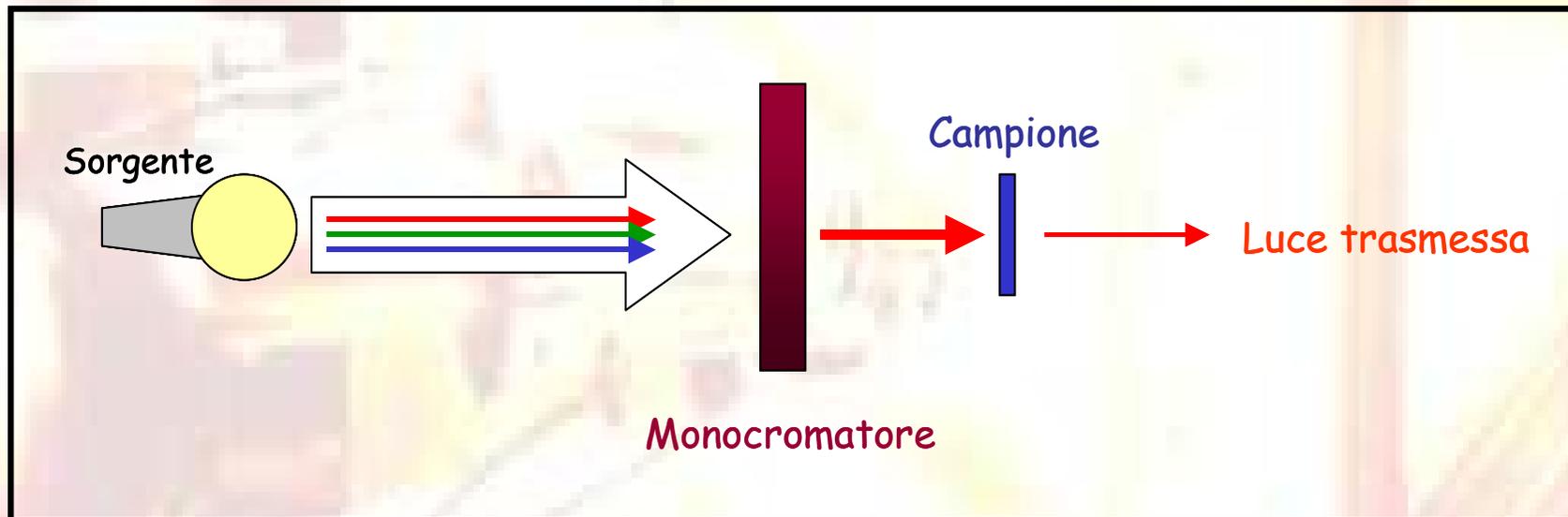


**Assorbimento**



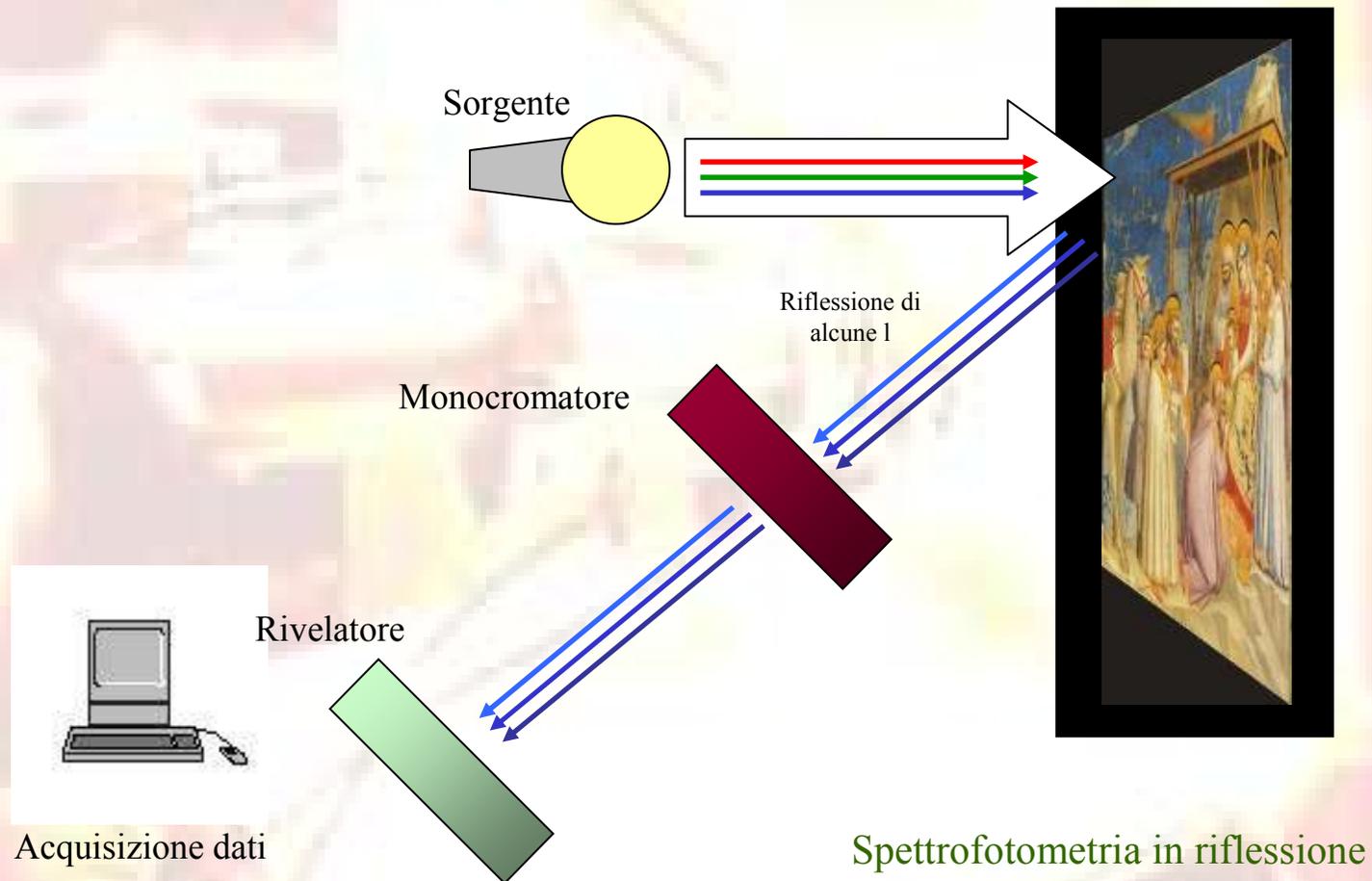
**Trasmissione**

## Spettrofotometria in trasmissione



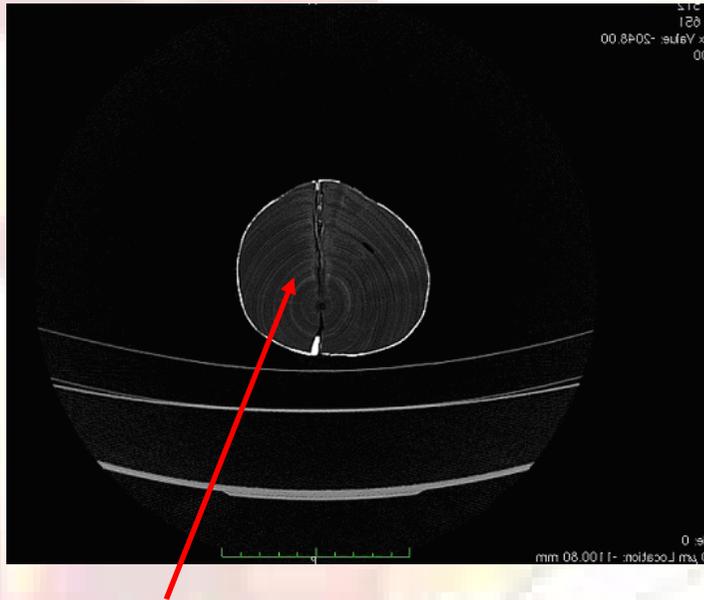
# Spettrofotometria in riflessione

Possiamo trovare spesso comunque spettrofotometri UV-VIS, che coprono i due campi o anche strumentazione più complessa e completa. In uno spettrofotometro dobbiamo distinguere una sorgente, un monocromatore, un rivelatore ed un sistema di acquisizione dati.

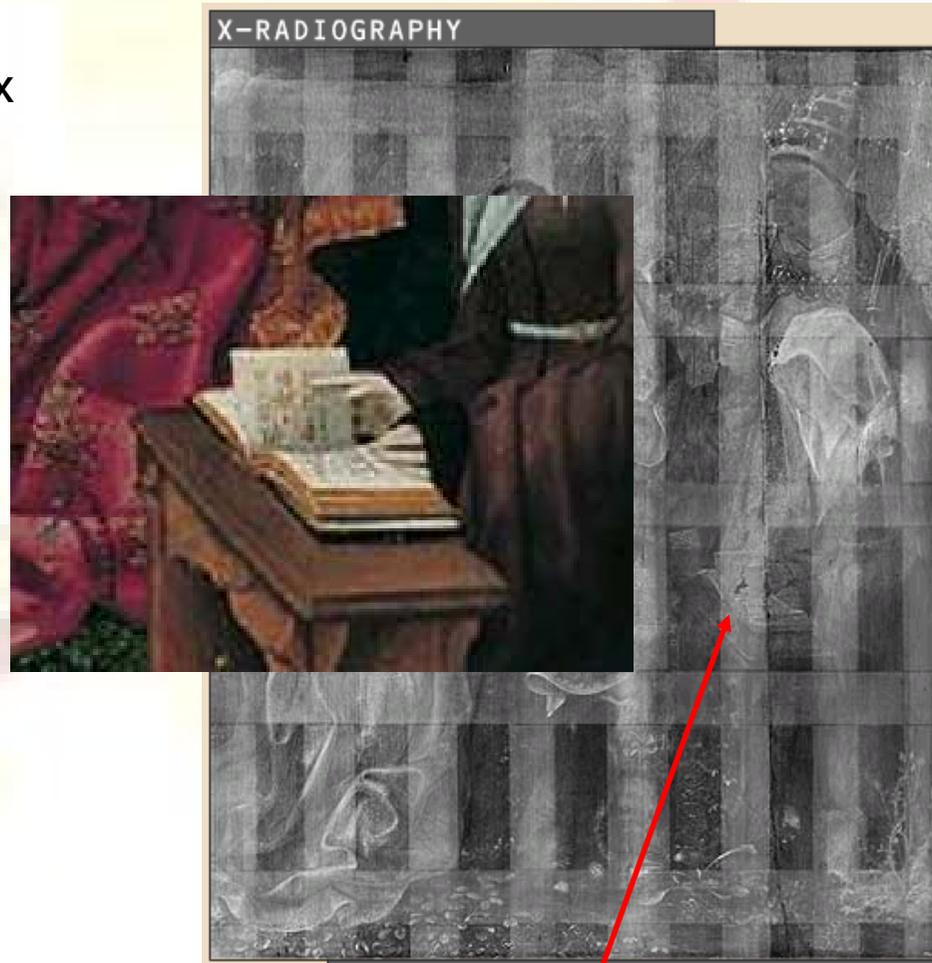


# Conservazione e restauro

**Argomenti di fisica:** fisica atomica, interazione radiazione-materia, raggi x



Spaccatura nel corpo di una statua lignea (immagine ottenuta per mezzo della TAC)



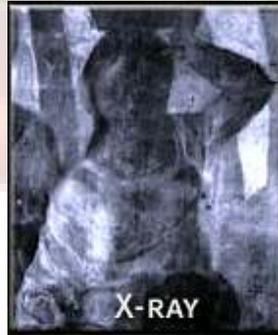
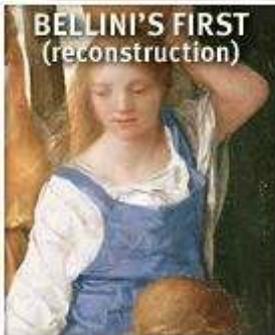
Fratture nel supporto del dipinto non visibili a occhio (immagine ottenuta per mezzo di radiografie)

# Conoscenze aggiuntive sul bene



Analisi della composizione chimica di affreschi  
Ottenuta attraverso la tecnica **XRF** portatile.

**Argomenti di fisica:** onde elettromagnetiche (spettro nella regione non visibile), interazione radiazione-materia



Ripensamento di Bellini sull'opera "la festa degli dei"  
Immagine ottenuta per mezzo di **raggi x**



Ripensamento sulla posizione della mano  
Immagine ottenuta per mezzo della  
**riflettografia nell'infrarosso**

# Autenticazione

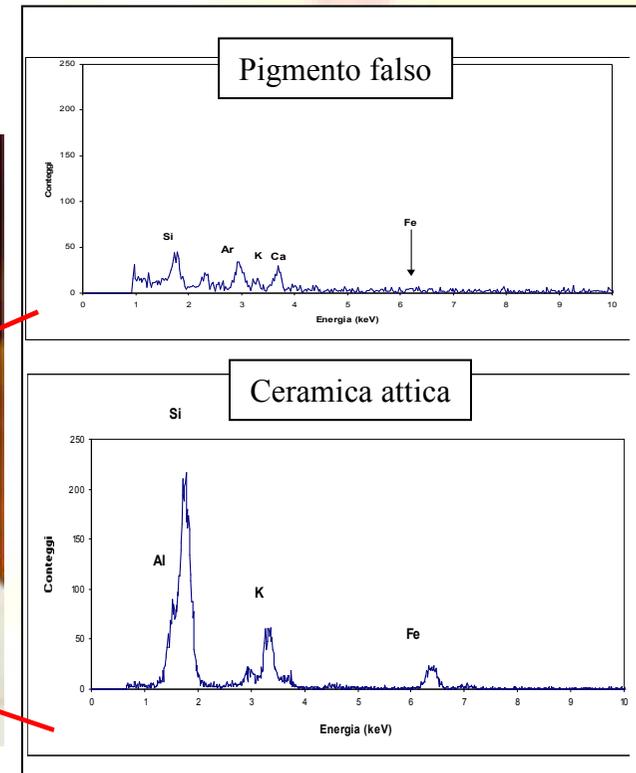


Figure 3 : papyrus égyptien analysé par la méthode PIXE

Analisi della composizione chimica di un papiro (Louvre)

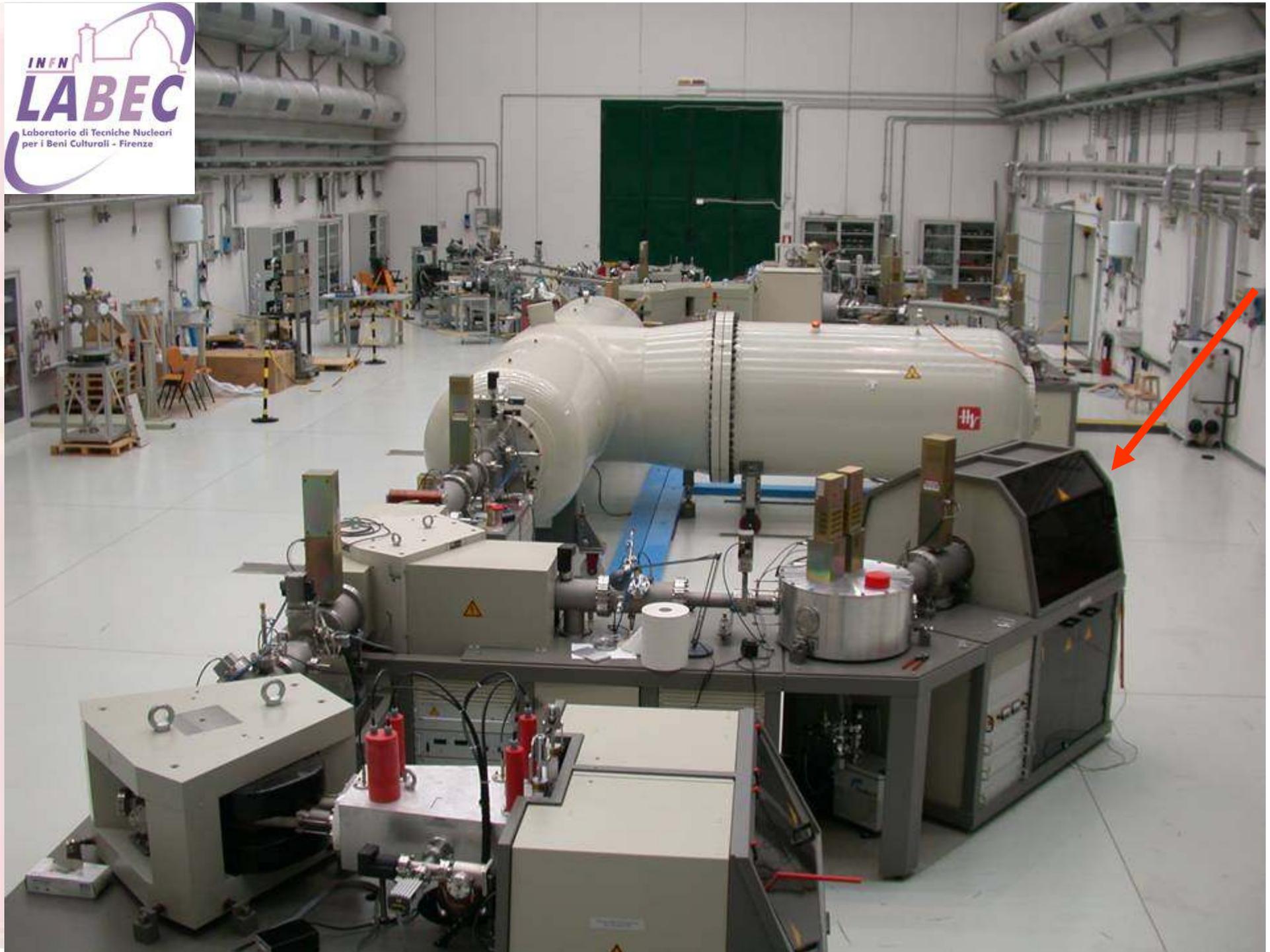
Tecnica applicata: PIXE

**Argomenti di fisica:** onde elettromagnetiche, fisica atomica e nucleare, interazione radiazione-materia



Analisi della composizione chimica di un vaso greco

Tecnica applicata: PIXE con sorgente alfa



# Datazione di reperti archeologici



Datazione di reperti organici fino a circa 50000 anni fa.  
(ottenuta per mezzo del **radiocarbonio**).



## Datazione di ominidi

Il più antico *Australopithecus Afarensis* (Etiopia, località Maka) è stato datato a 3.4 - 3.9 milioni di anni. Risultato ottenuto con il metodo del **Potassio/Argon**

# Datazione di reperti archeologici

## Argomenti di fisica:

elettromagnetismo, fisica atomica e nucleare, interazione radiazione-materia, radioattività

Figura 5.15 Torre Asinelli di Bologna



### Datazione di vasi e laterizi

Torre degli Asinelli (BO): il tronco originale è stato datato al  $1070 \pm 20$  dC per mezzo della **Termoluminescenza**

### Datazione di sedimenti

Determinazione dell'arrivo degli uomini sul continente australiano in un periodo compreso tra 50000 anni e 60000 anni fa. Ottenuto con la **Termoluminescenza**.

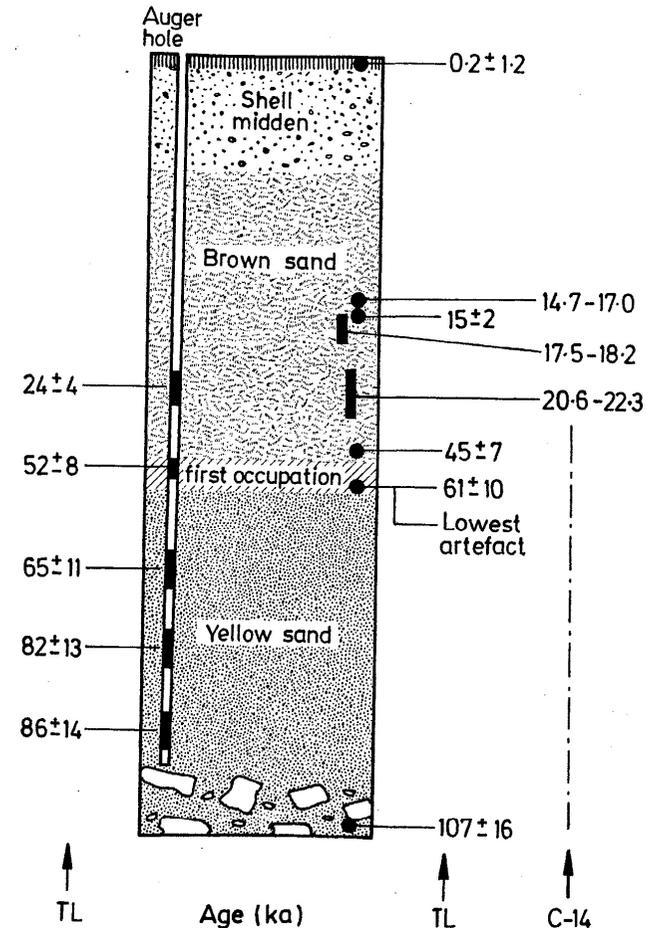


Figure 7.10. TL (quartz) and calibrated radiocarbon ages obtained for Malakunanja II, northern Australia (redrawn from Roberts *et al.* 1990). The first set of TL ages was obtained from sand at various depths in a 4-metre-long auger hole and the second set from deep into the section exposed during excavation. Error limits are at the 68% level of confidence for TL ages and at the 95% level for radiocarbon ages (which are calibrated). The authors suggest that human arrival in northern Australia occurred between 50 and 60 ka ago. This was subsequently confirmed by optical dating on another site (Roberts *et al.* 1994).

# Studi di provenienza

**Argomenti di fisica:** onde elettromagnetiche, fisica atomica, interazione radiazione-materia

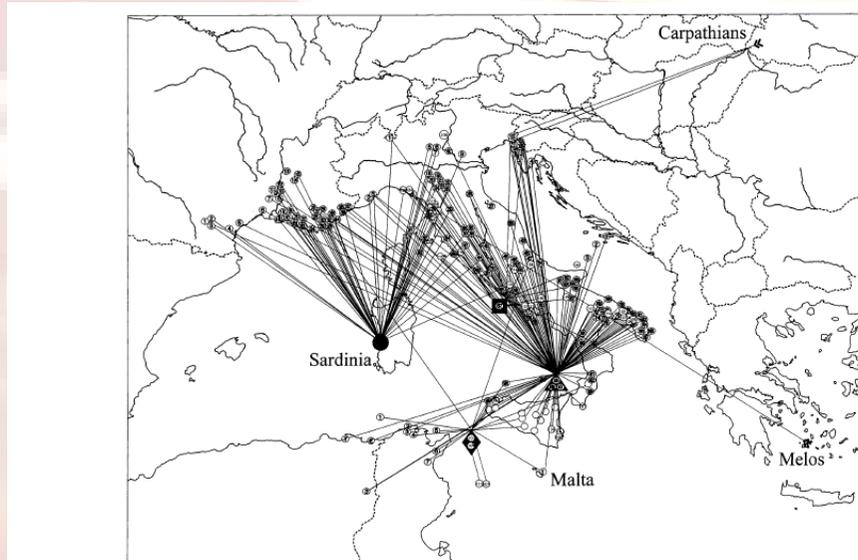
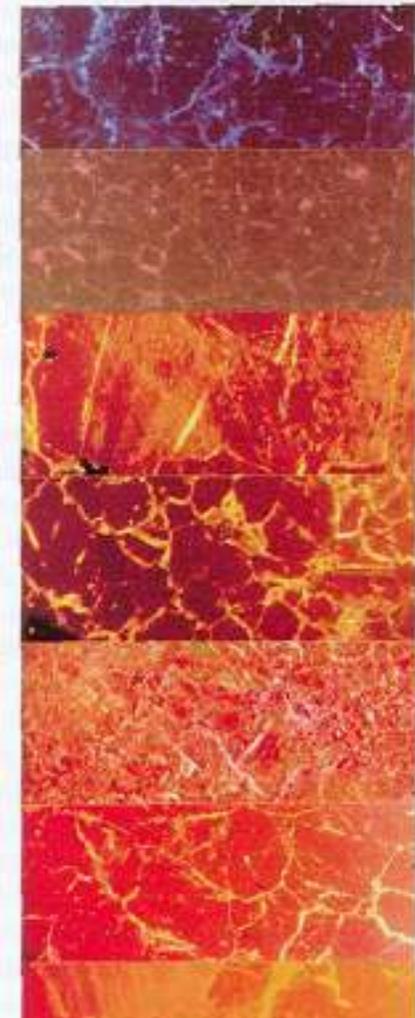


FIGURE 7. Central Mediterranean archaeological sites with provenienced obsidian artifacts. Numbered sites have been published elsewhere;<sup>17,15</sup> specific data for unnumbered sites have not yet been published.<sup>60</sup>

**Rotte commerciali dell'ossidiana nel neolitico.**  
(ricostruzione ottenuta attraverso l'analisi della **composizione chimica in tracce e dei rapporti isotopici**).

**Riconoscimento di marmi bianchi.**  
(immagine ottenuta per mezzo della **catodoluminescenza**).



# Fisica applicata ai beni culturali

Per poter comprendere in modo **completo** le informazioni fornite da queste ed altre tecniche è necessario comprendere **le leggi fisiche ed i principi** su cui si basano.

In questo modo tali tecniche non saranno delle scatole chiuse dal contenuto misterioso, ma strumenti di cui si comprendono le **potenzialità** e soprattutto i **limiti**.

La loro comprensione permetterà inoltre di non commettere errori, nel maneggiare le opere d'arte, che potrebbero portare a risultati sbagliati durante l'indagine scientifica.

Tratto da "I Segreti di un Tombarolo", L. Perticarari, A.M. Giuntani, Rusconi Editore 1986, p.18.

*"E può capitare anche che un vaso autentico risulti falso per un errore del tombarolo. Infatti, se si trova un vaso in frammenti mentre si ha già pronto il compratore, per restaurarlo più in fretta noi mettiamo il pezzo ad asciugare nel forno di casa. Ma se la temperatura supera i 100 gradi, quella radioattività che si è accumulata nei secoli e che gli esperti misurano con i loro apparecchi (è uno dei modi per giudicare se un pezzo è autentico) scompare completamente. E il vaso risulta falso."*

*Quindi, relativamente a questo esempio, se si volesse sottoporre il vaso ad una autenticazione/datazione con la termoluminescenza ed ottenere un risultato attendibile, non lo si dovrebbe sottoporre, prima dell'analisi, a riscaldamenti o a studi con tecniche radiografiche.*

# 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** formula **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.

# 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 alcune 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 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.

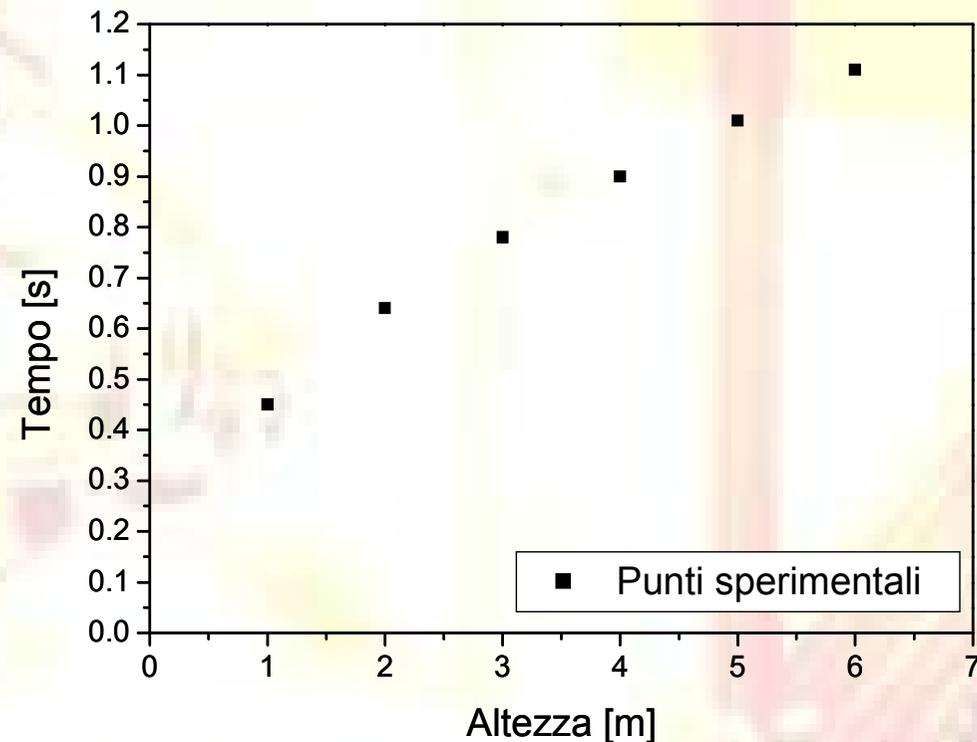
Tali unità di misura devono poter essere disponibili o ricavabili da chiunque si cimenti in questi esperimenti. Da qui la necessità di definire in modo univoco alcune unità di misura di base da usare come **campioni primari** e da cui ricavare anche tutte le altre.

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

In molti casi è 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

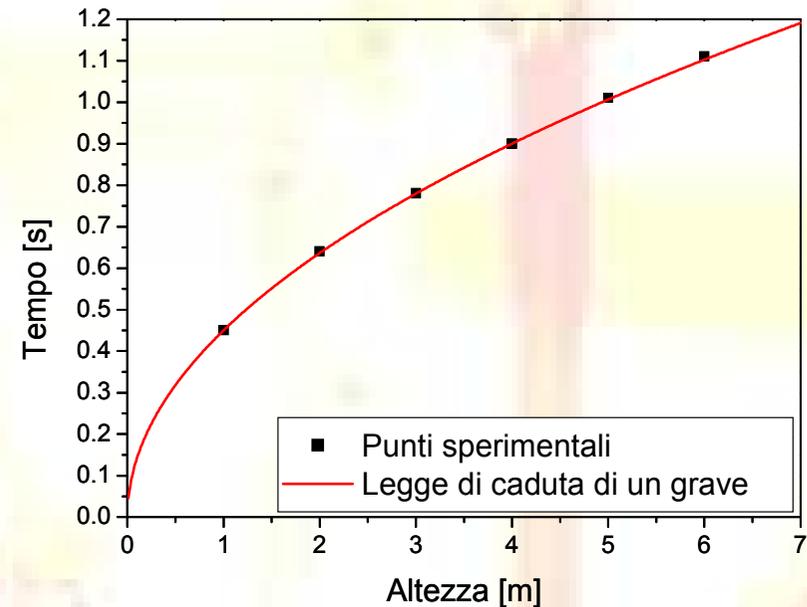


Una volta eseguito l'esperimento ed ottenuto il grafico dell'andamento del fenomeno si possono utilizzare mezzi di calcolo per ricavare la legge matematica che lo descrive in funzione delle grandezze fisiche prese in considerazione (altezza e tempo).

# Rappresentazione delle leggi fisiche

In questo caso si trova 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).

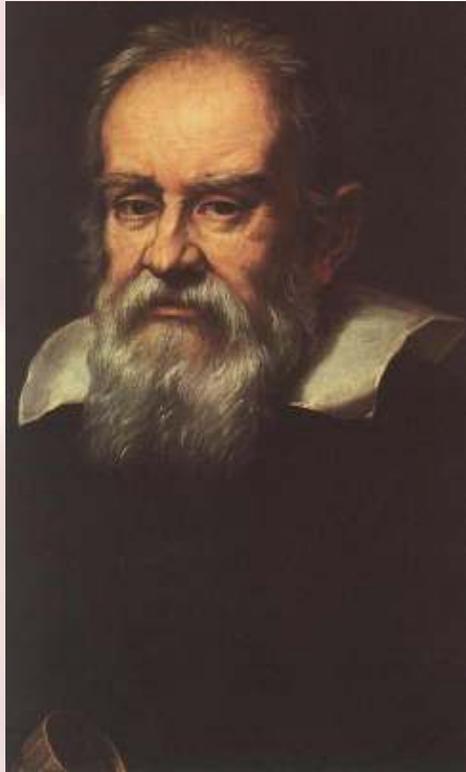
Ad esempio, se voglio misurare la profondità di un pozzo o l'altezza di un ponte e non dispongo di un metro abbastanza lungo posso, far cadere una pietra e misurare il tempo trascorso prima di sentire il tonfo nell'acqua (sempre che ce ne sia).

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

**t = 5 s**

# Metodo scientifico

Quello che abbiamo visto è l'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.

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

LEGGE DI MOSELEY

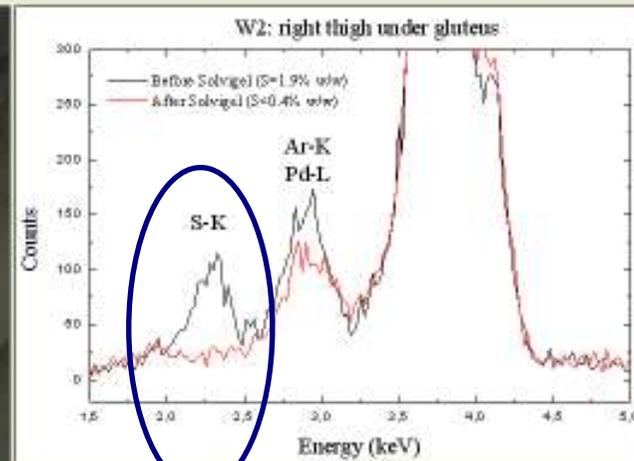


Moseley 1887-1915

## 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 Donatini, Stefano Quarta  
Università di Lecce, Dipartimento di Scienza dei Materiali