

**Alla scoperta dell'infinitamente piccolo:  
la radiazione, i microscopi l'arte della visione  
e la visione dell'arte.**



**A. MARCELLI**





- \* L'INFN
- \* Le macchine acceleratrici
- \* Le sorgenti di radiazione
- \* Perché' hanno rivoluzionato e stanno rivoluzionando la scienza e la tecnologia
- \* Qual'è' il futuro che ci aspetta?

# ***Istituto Nazionale di Fisica Nucleare***

## **L'INFN**

- promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica sub-nucleare, nucleare e astroparticellare,
- nonché la ricerca e lo sviluppo tecnologico necessari alle attività in tali settori,
- in stretta connessione con l'Università
- e nel contesto della collaborazione e del confronto internazionale.

1951

4 Sezioni universitarie  
Milano, Torino, Padova, e Roma

1957

Laboratori Nazionali di  
Frascati



Frascati

# Gran Sasso

## Legnaro



**19 Sezioni**  
**11 Gruppi collegati**

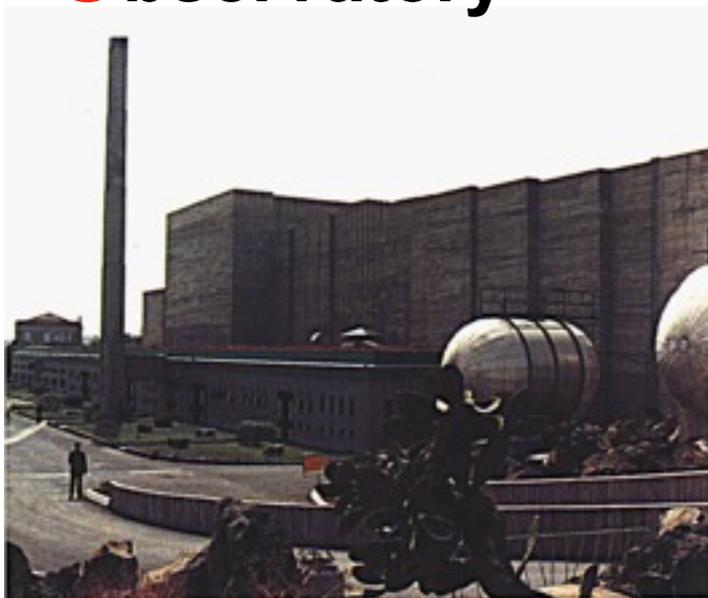
**4 Laboratori Nazionali**



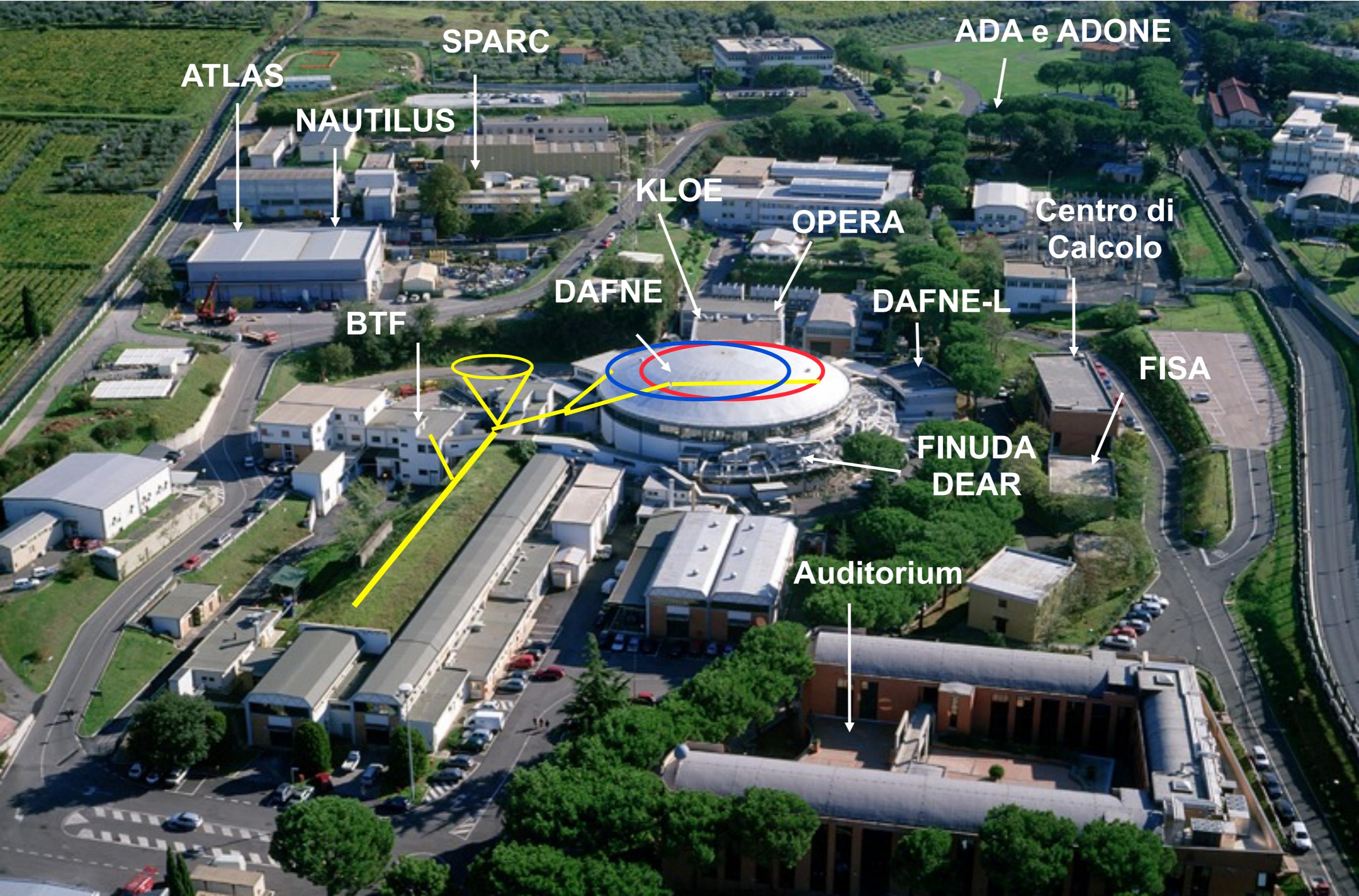
## Laboratori del Sud (Catania)



**VIRGO-EGO**  
**E**uropean  
**G**ravitational  
**O**bservatory

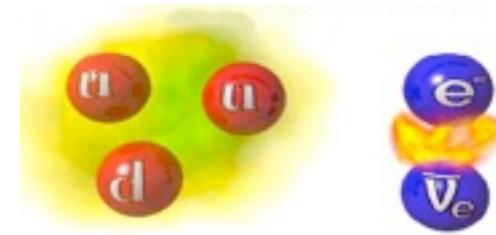


**Laboratori Nazionali di Frascati, info: <http://www.Inf.infn.it/sis/>**

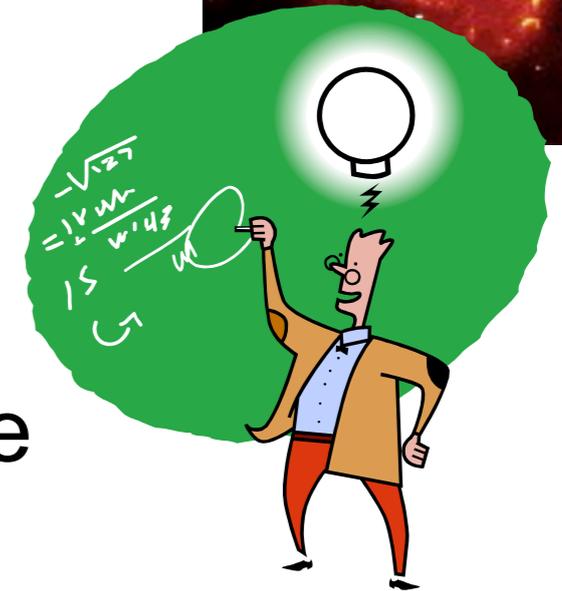
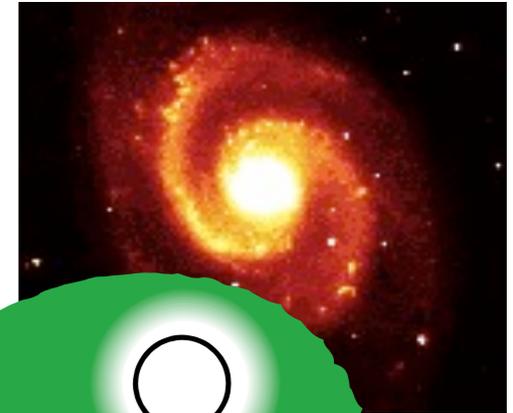


# Che cosa si fa ai Laboratori Nazionali di Frascati?

## Ricerca fondamentale



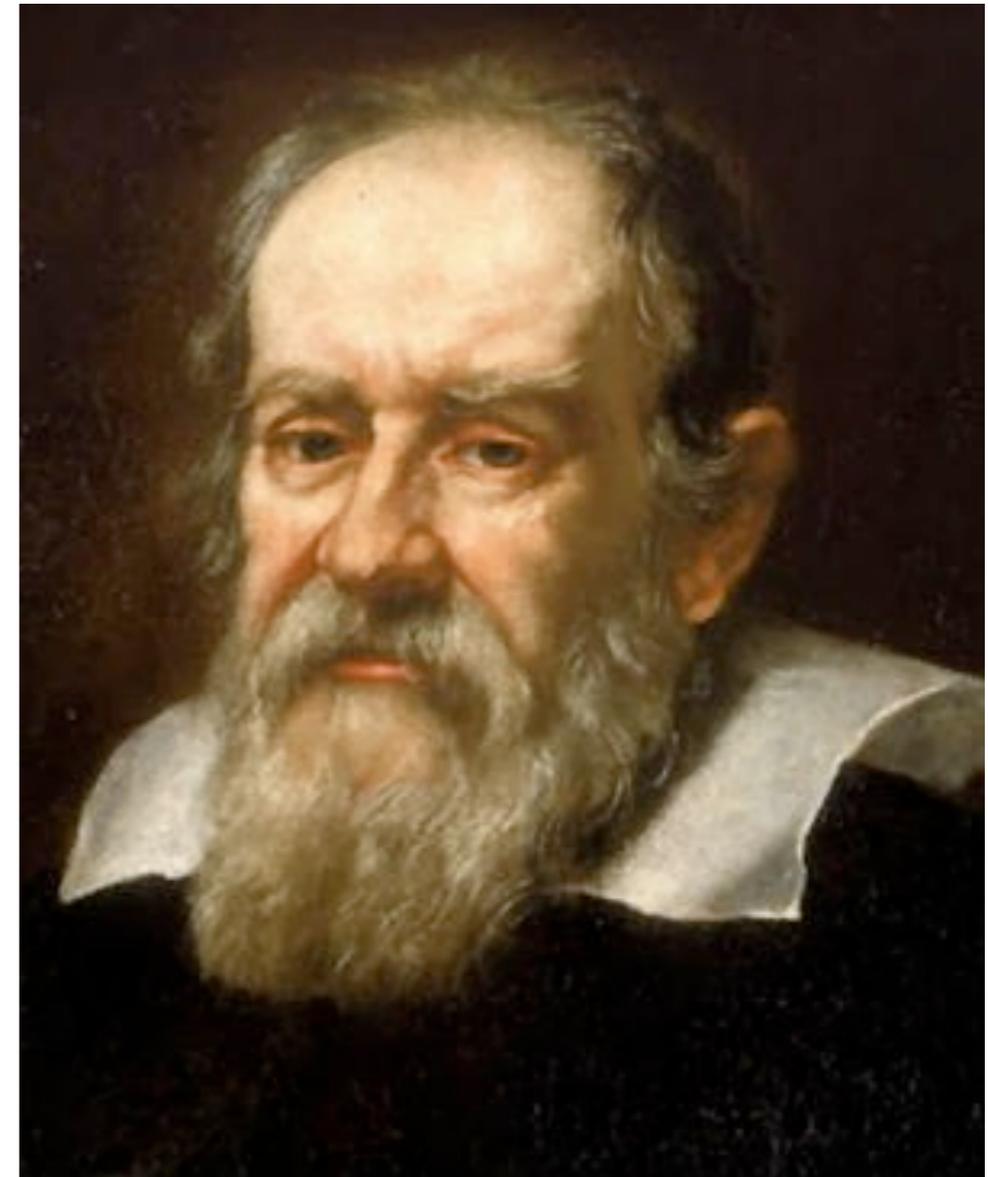
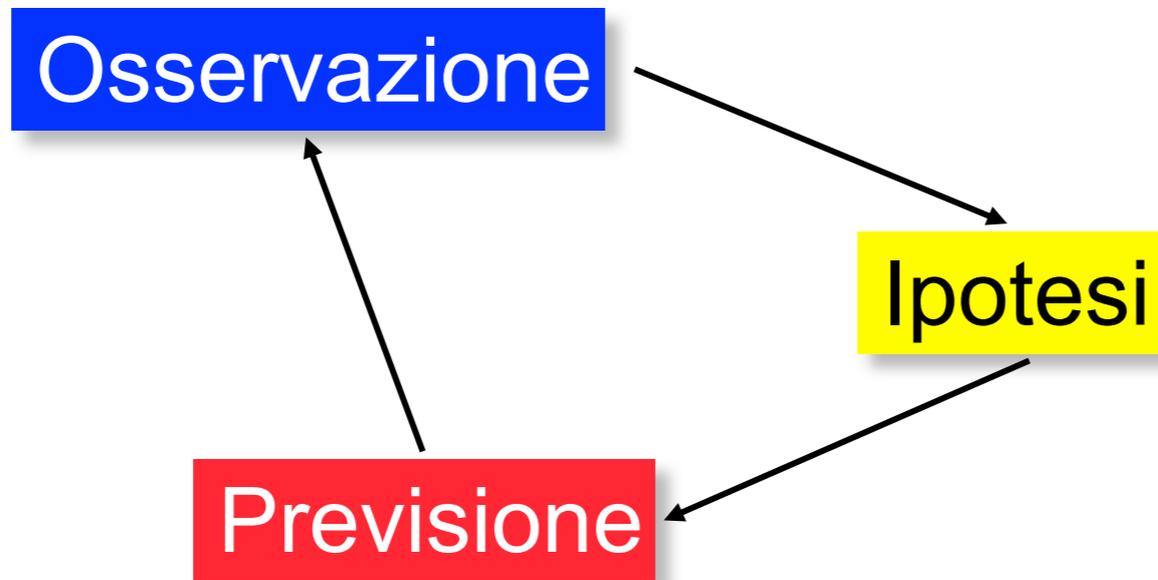
- Studi sulla struttura intima della materia
- Ricerca di onde gravitazionali
- Elaborazione di modelli teorici



- Sviluppo e costruzione di rivelatori di particelle
- Studio e sviluppo di tecniche acceleratrici
- Studi di materiali e ricerche bio-mediche con luce di sincrotrone
- Sviluppo e supporto di sistemi di calcolo e reti



# Il metodo scientifico...

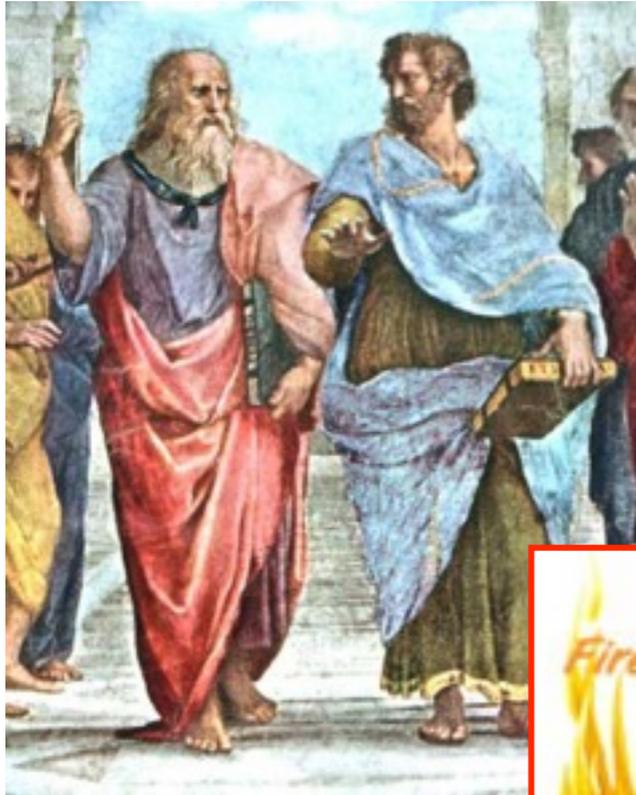


1564-1642

Galileo è il primo ad introdurre formalmente il metodo scientifico

# Com'è fatta la materia

La nostra attuale idea della materia è frutto di secoli di studi...



Gli studiosi dell'antica Grecia credevano che in natura ci fossero 4 elementi



ELEMENTS			
Hydrogen	1	Strontian	46
Azote	5	Barites	68
Carbon	5	Iron	50
Oxygen	7	Zinc	56
Phosphorus	9	Copper	56
Sulphur	13	Lead	90
Magnesia	20	Silver	190
Lime	24	Gold	190
Soda	28	Platina	190
Potash	42	Mercury	167

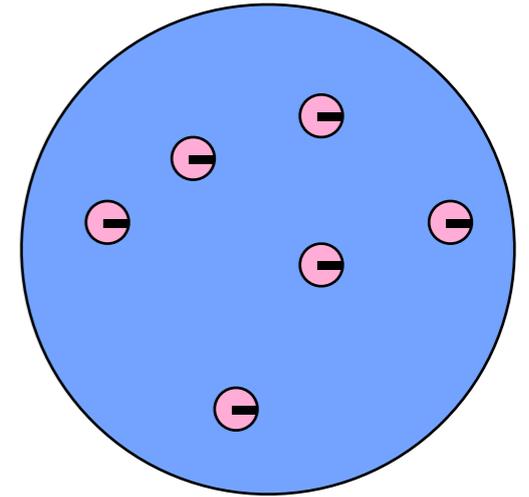


Dalton (1808) elenca, con il loro peso, diversi degli elementi che oggi conosciamo

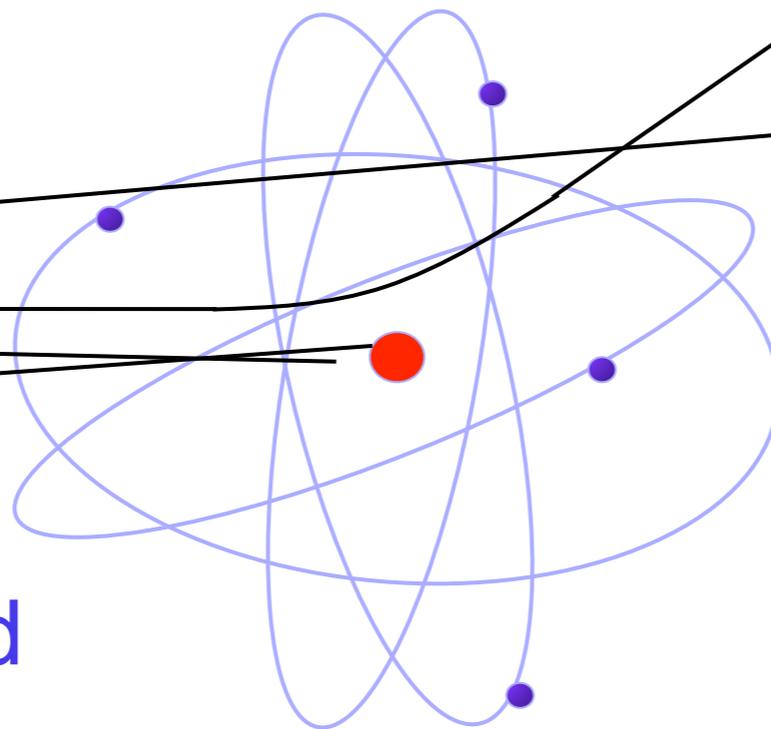


# Vedere l'invisibile

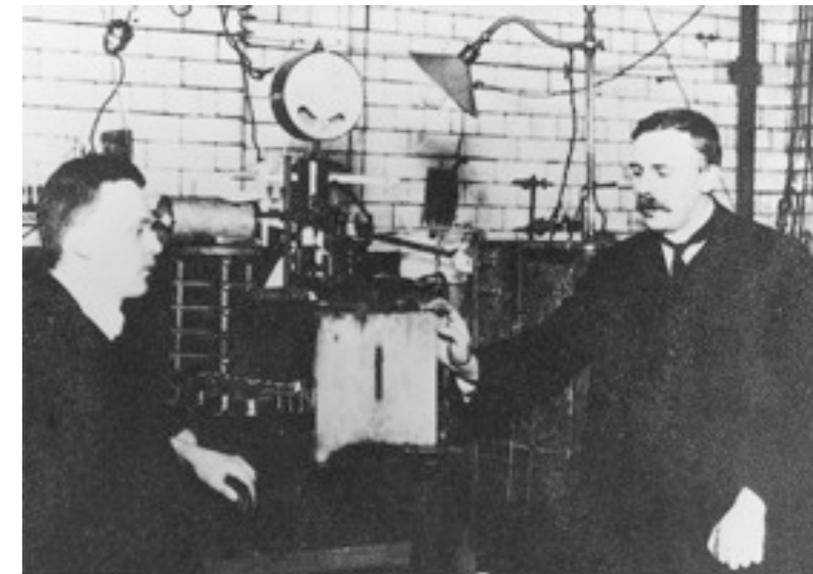
Nel 1898 Thomson formulò l'ipotesi che l'atomo fosse una sorta di palla di carica positiva all'interno della quale erano distribuite le cariche negative: una sorta di modello a "panettone"



Negli anni 1909-1911 Rutherford e i suoi colleghi per testare quest'ipotesi fecero degli esperimenti bombardando una foglia d'oro con particelle alfa

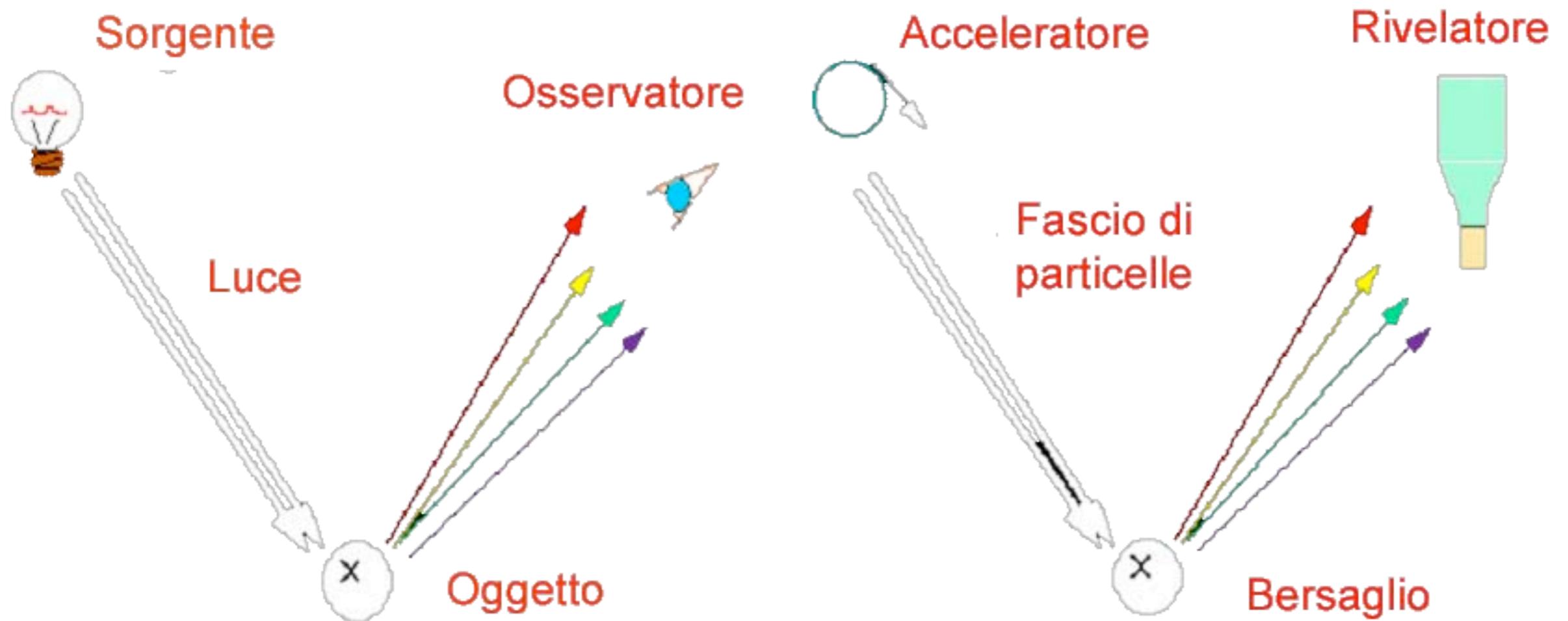


L'atomo di Rutherford



# Osservare...

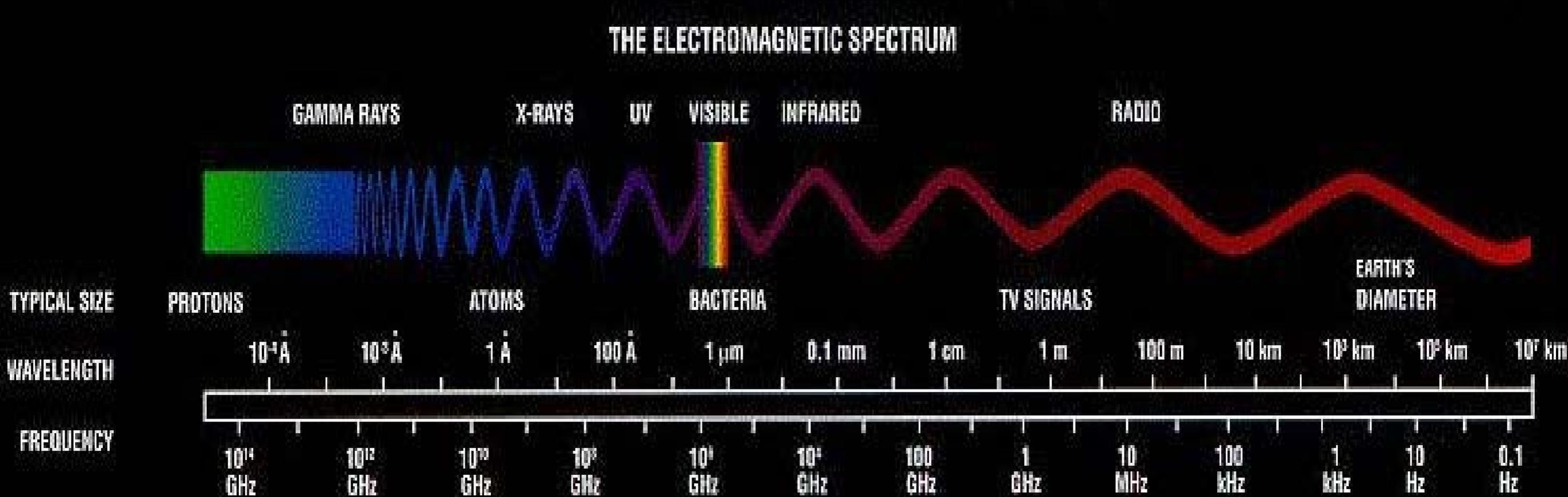
- L'osservazione degli oggetti "macroscopici" è un "esperimento alla Rutherford" fatto con la luce



- Per vedere nel mondo "microscopico" bersaglio e sonda devono avere dimensioni confrontabili



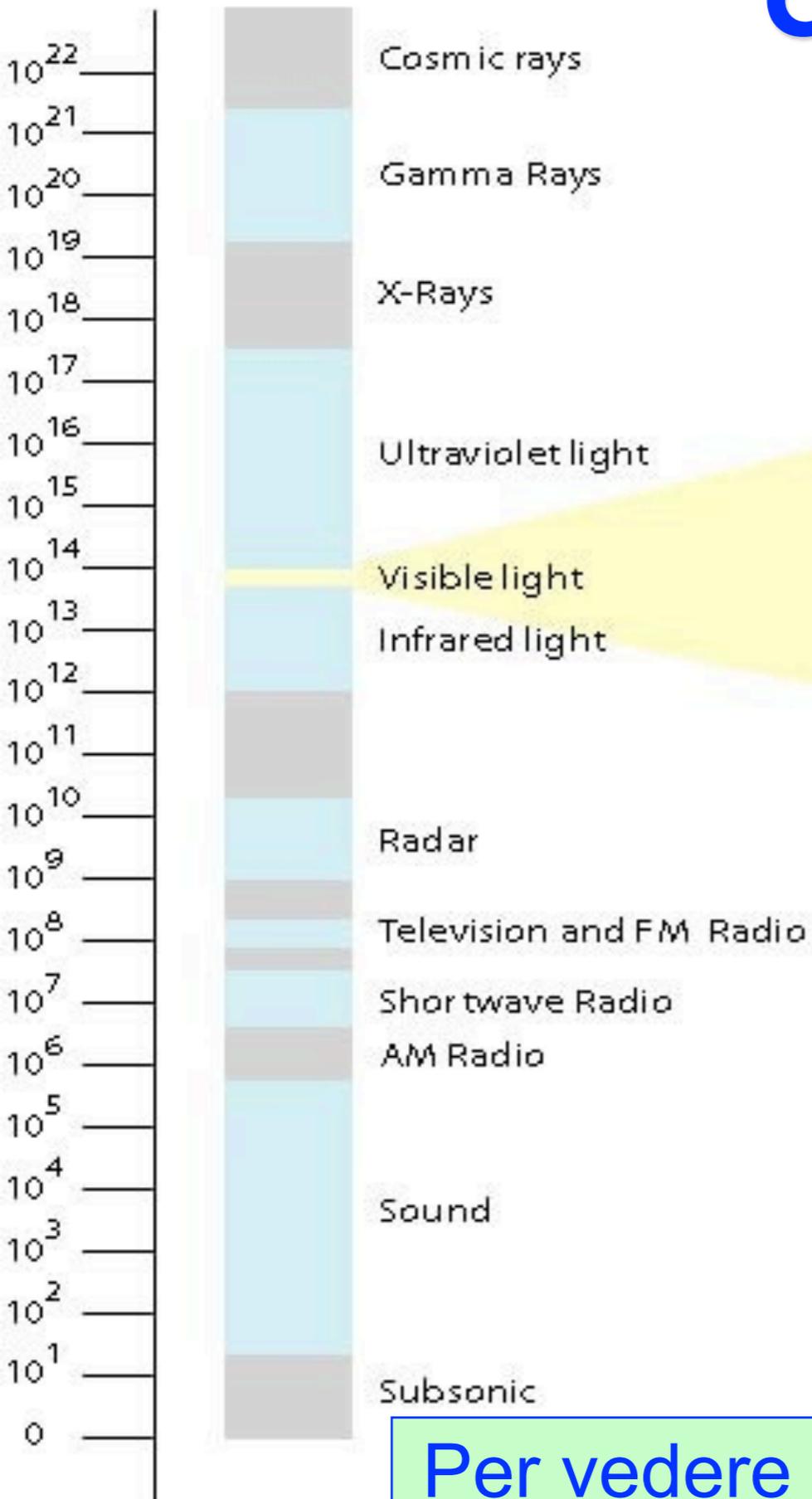
# LA LUCE SONO ONDE E.M. CHE SI PROPAGANO NEL VUOTO



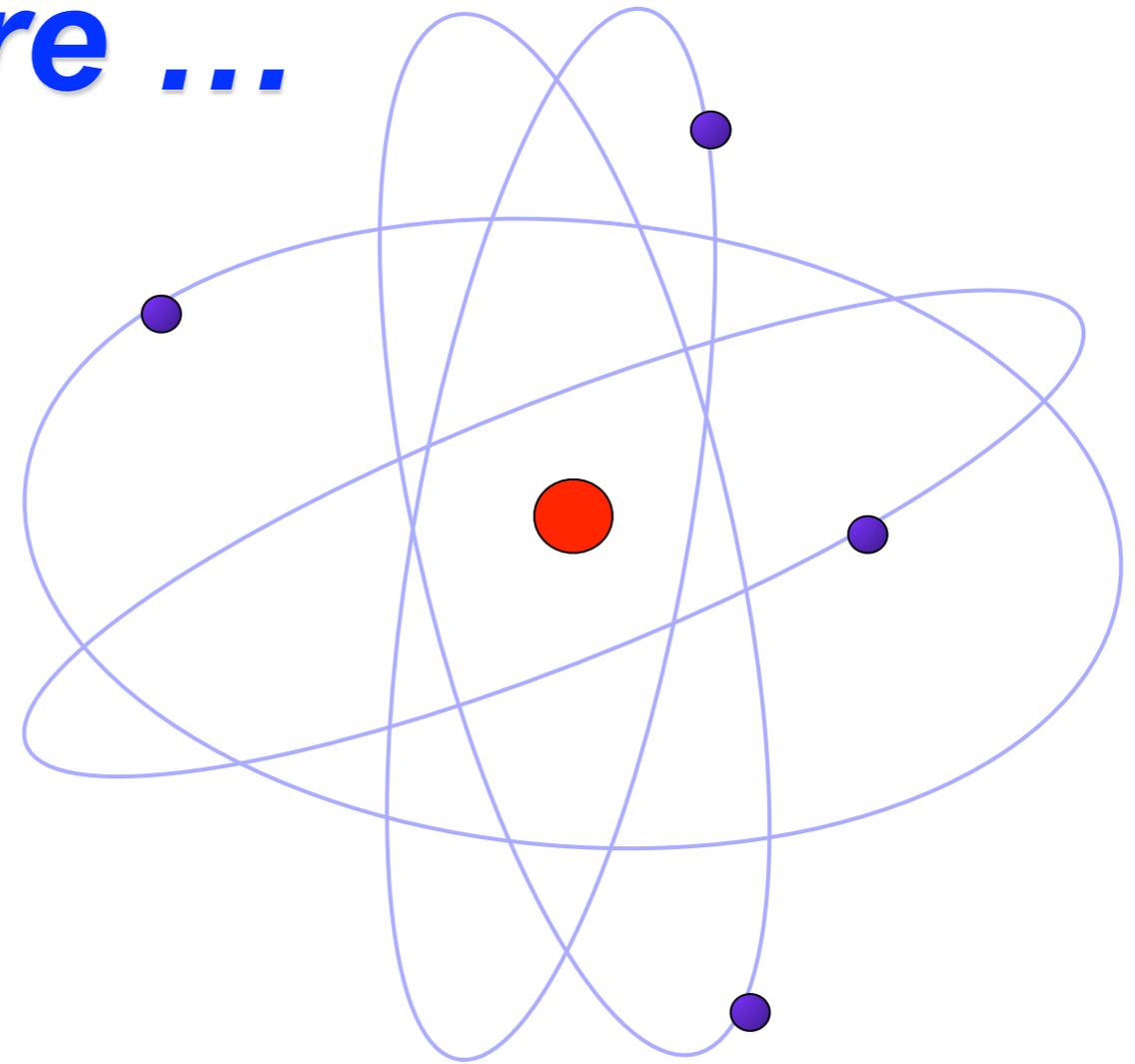
**CON LA LUCE POSSIAMO STUDIARE LA  
MATERIA CHE CI CIRCONDA SCEGLIENDO LA  
LUNGHEZZA D'ONDA PIU' OPPORTUNA!**

# Osservare ...

Frequency, Hz



Wavelength, nm



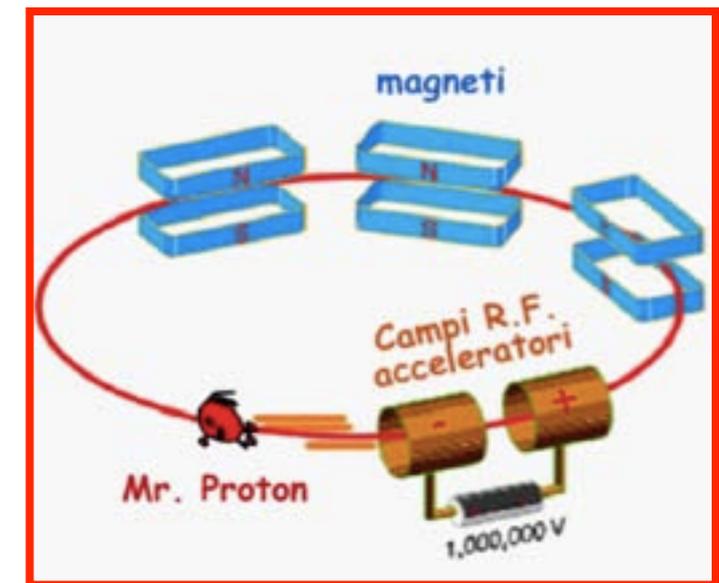
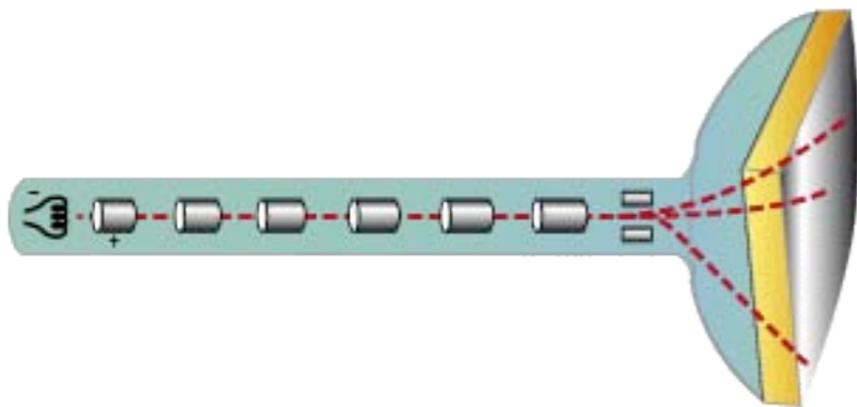
$10^{-10}$  m

La luce visibile ha lunghezze d'onda da 400 a 800 nm ( $10^{-9}$ m)

Per vedere all'interno degli atomi serve qualcos'altro!

# Sorgenti di particelle

Rutherford produceva le particelle alfa usando sorgenti radioattive. **Per avere fasci di particelle di diversi tipi e di energia calibrata si costruiscono opportuni strumenti: gli acceleratori**



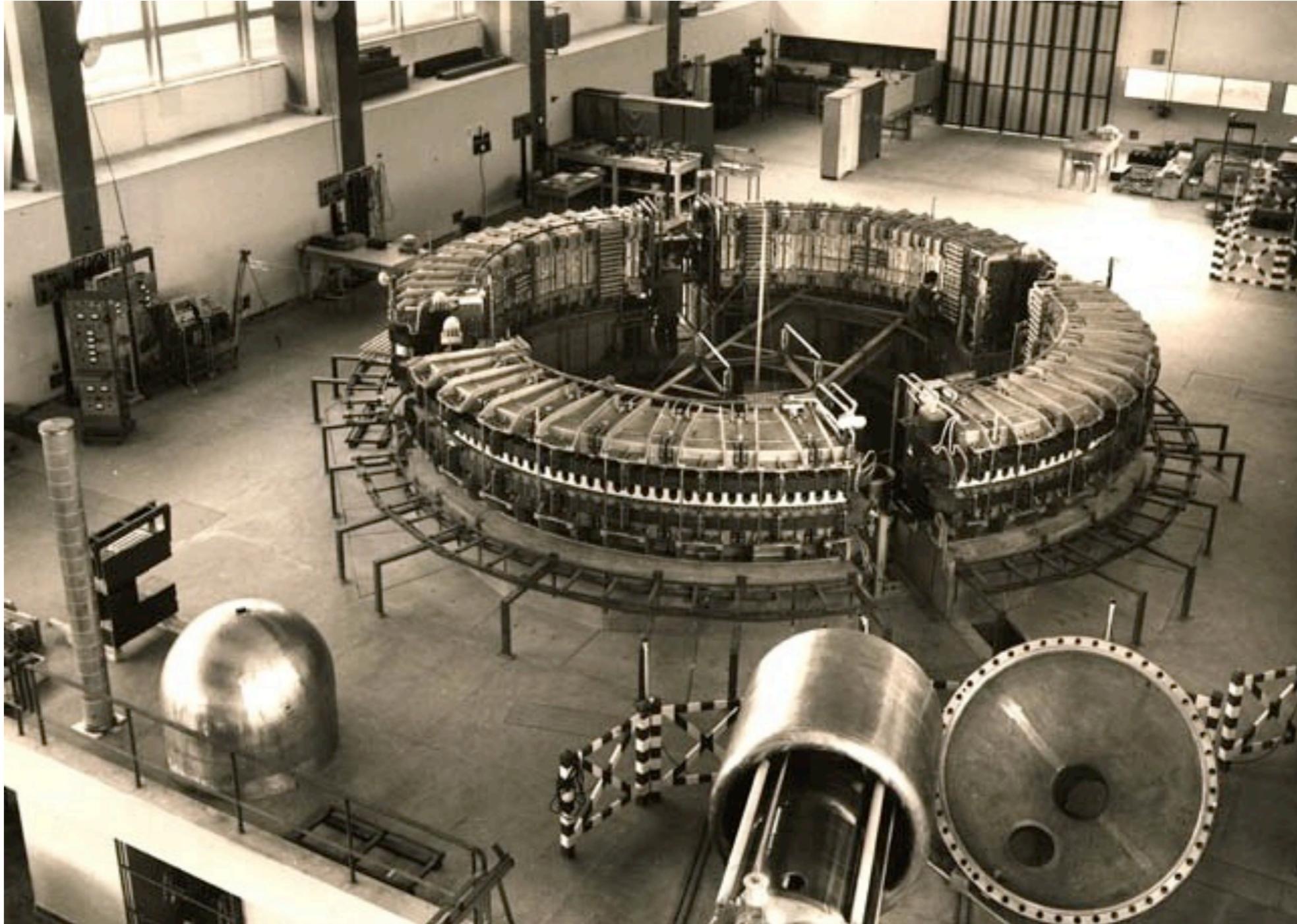
I fasci di particelle hanno origine da una sorgente. L'esempio più semplice è un filamento caldo, come quello di una lampadina



Le particelle acquistano energia uguale alla loro carica moltiplicata per la differenza di potenziale applicata tra gli elettrodi

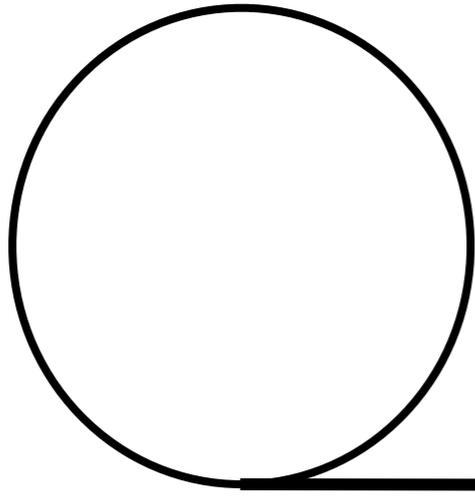
$$\Delta E = qV$$

# *L'elettro-sincrotrone di Frascati* *1959-1975*



# L'osservazione su bersaglio

sincrotrone



bersaglio



LINAC

$e^-$ ,  $e^+$ ,  $p$  ...

$\Sigma$

$\Lambda$

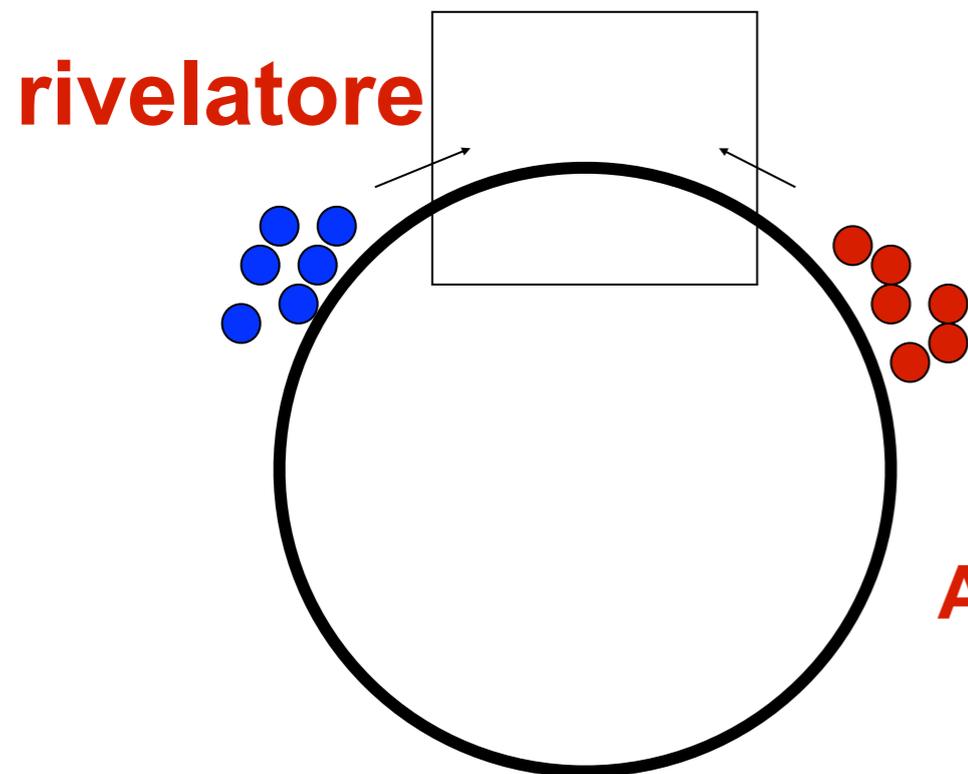
$\pi^{+/-}$

$p$ ,  $n$ , etc

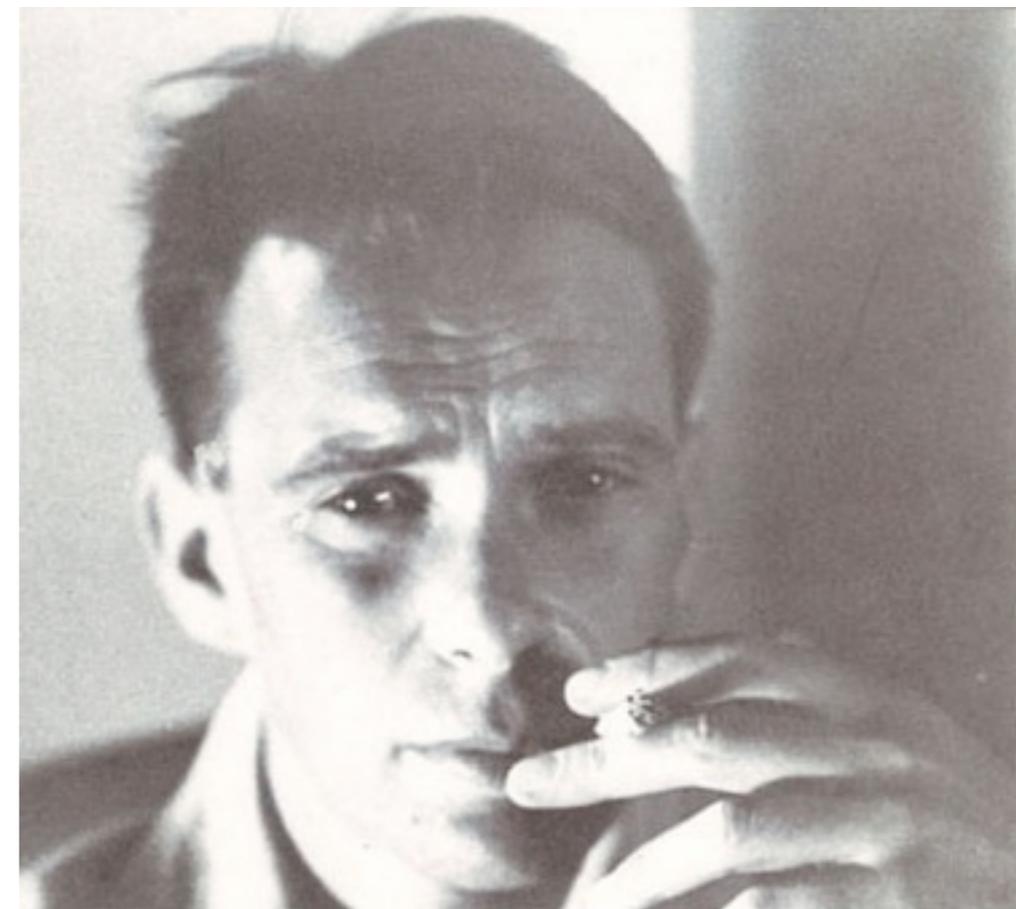
rivelatori

- La materia è vuota
- Ciò che non ha interagito viene perduto
- Limitata energia disponibile
- Il bersaglio è complesso.

# Un nuovo approccio: usare fasci collidenti



**Anello di Accumulazione**

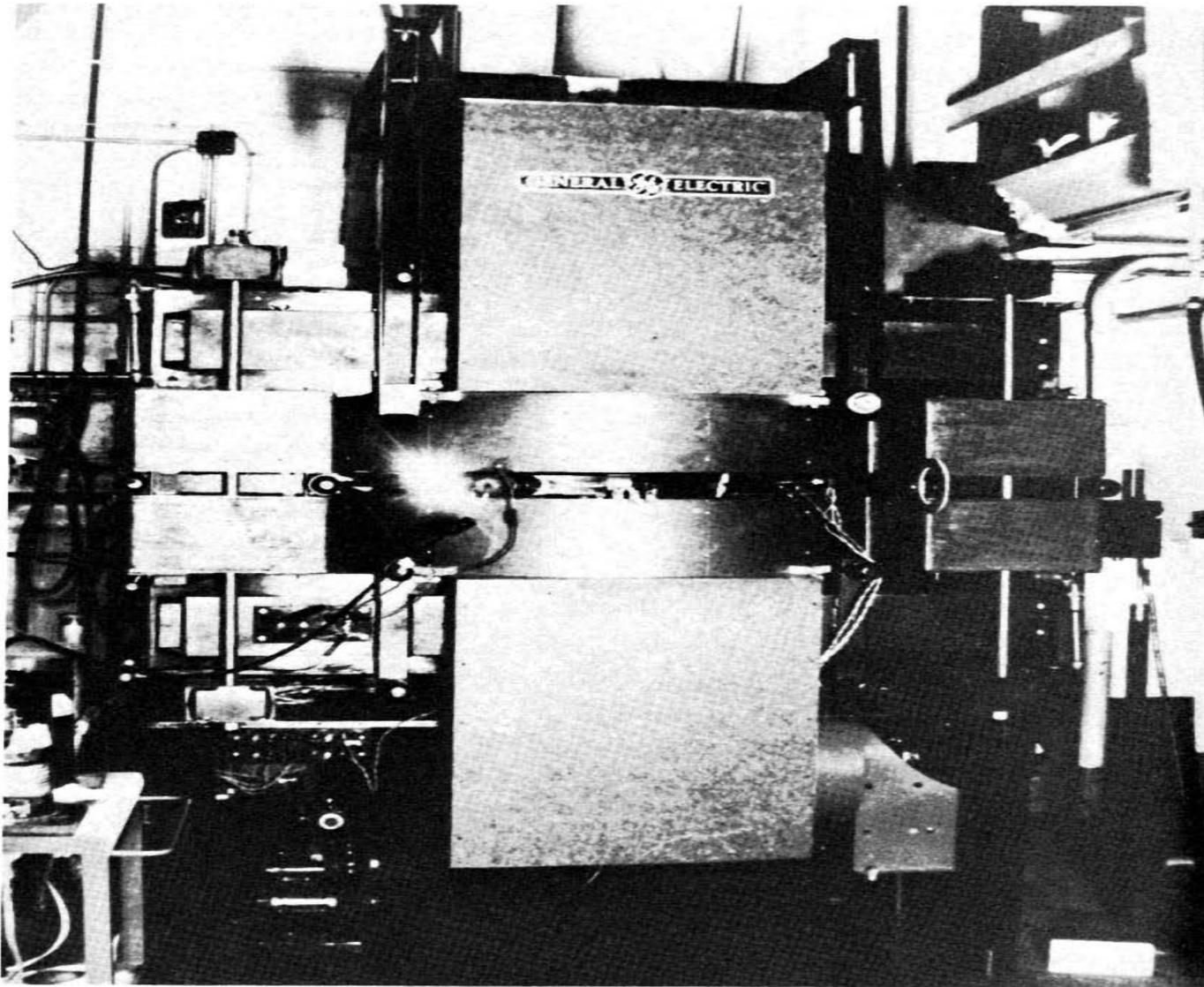


*Bruno Touschek,  
Frascati, 1960*

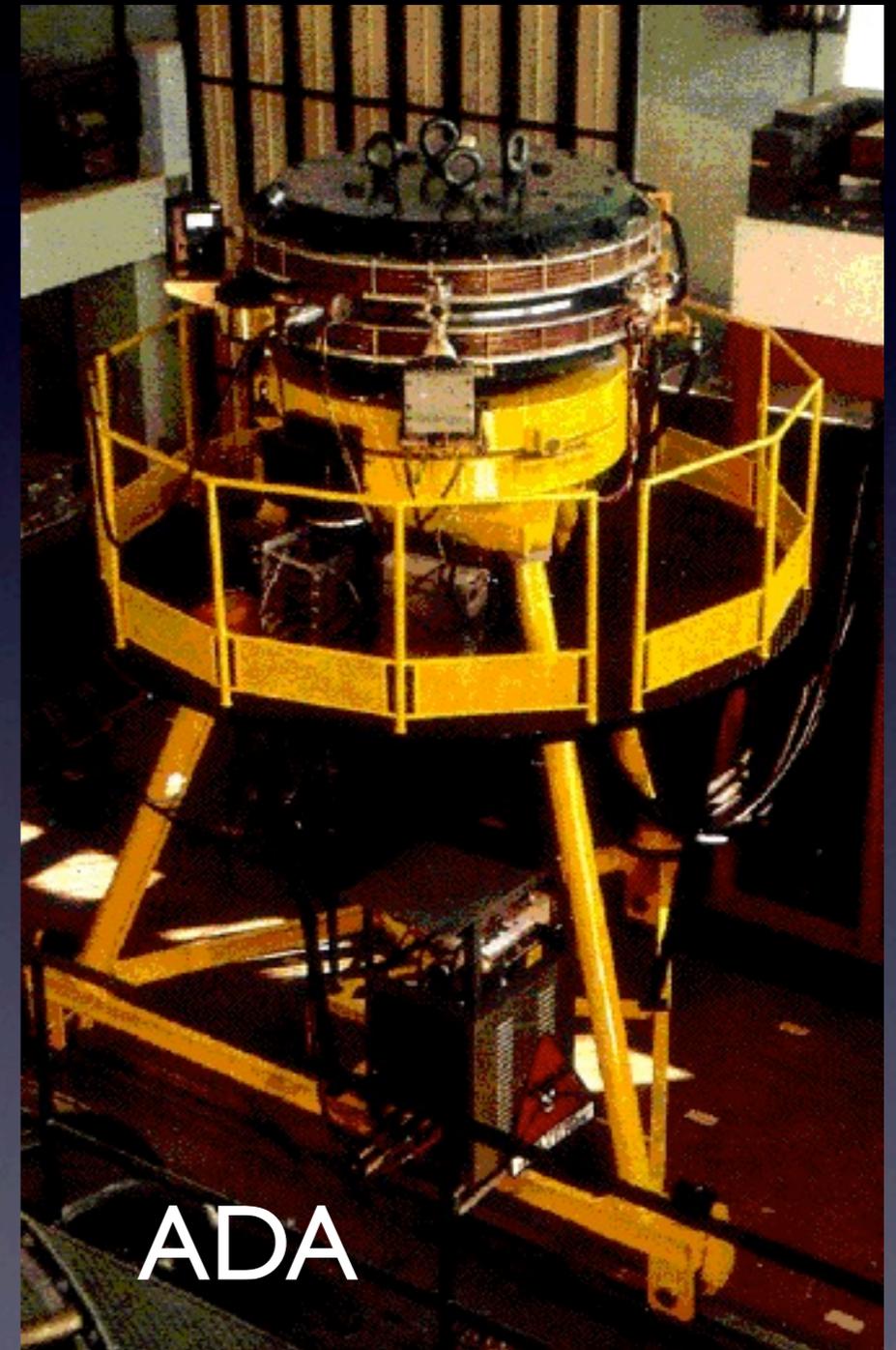
- Le particelle che non interagiscono, possono essere riutilizzate al giro successivo
- Le particelle circolanti possono essere sia elementari che complesse (come nuclei o atomi).
- Collisione nel centro di massa



# La luce di sincrotrone nasce con le macchine acceleratrici



Synchrotron radiation from 70 MeV electron synchrotron at General Electric Research Laboratory, Schenectady, New York, where it was first discovered in 1947.



ADA

Le macchine acceleratrici servono oggi a studiare l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande!

Open Day  
19 Aprile 2010



# ESRF (GRENOBLE)

# DAΦNE (FRASCATI)



# Acceleratori come microscopi



ADA primo anello di accumulazione nel mondo per  
interazioni elettroni/positroni

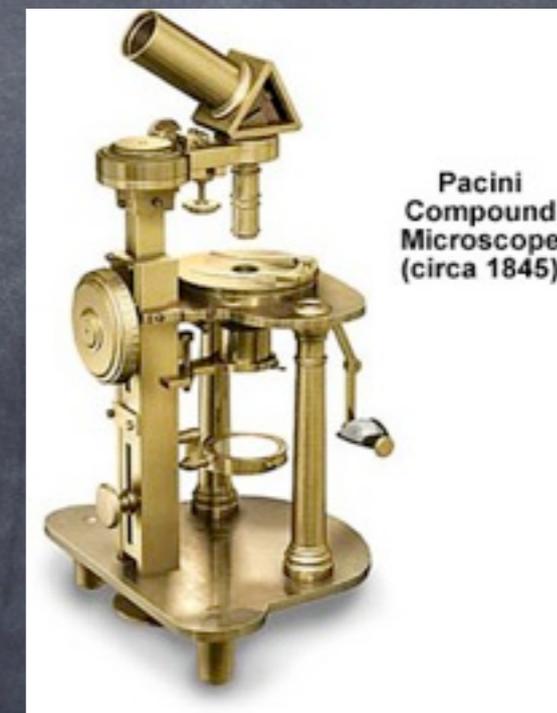
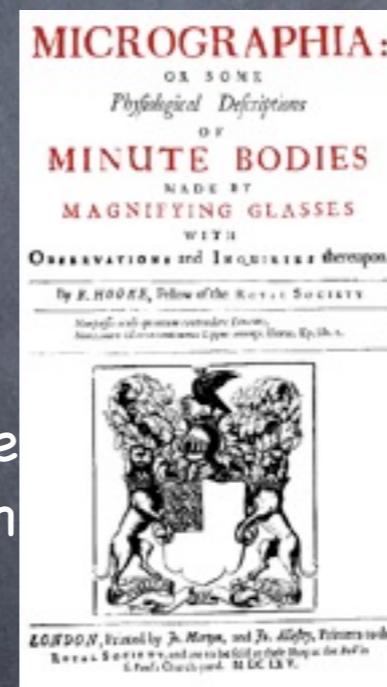


# Microscope time-line

- 14<sup>th</sup> century - si sviluppa in Italia l'arte di lavorare le lenti
- 1595 - Hans e Zacharias Janssen costruiscono il primo microscopio con due lenti
- 1675 - Anton van Leeuwenhoek usa un semplice microscopio per osservare il sangue, insetti e molti altri piccoli oggetti (cellule e batteri)
- 18<sup>th</sup> century - molteplici innovazioni tecniche migliorano la microscopia e i microscopi (correzione cromatica, riduzione aberrazioni sferiche, etc.)  
Abbe introduce nel 1878 la formula che determina la massima risoluzione di un microscopio
- 19<sup>th</sup> century - esplode la microscopia e quattro premi Nobel vengono assegnati allo sviluppo della microscopia



The First  
Compound  
Microscope  
(circa 1595)



Pacini  
Compound  
Microscope  
(circa 1845)

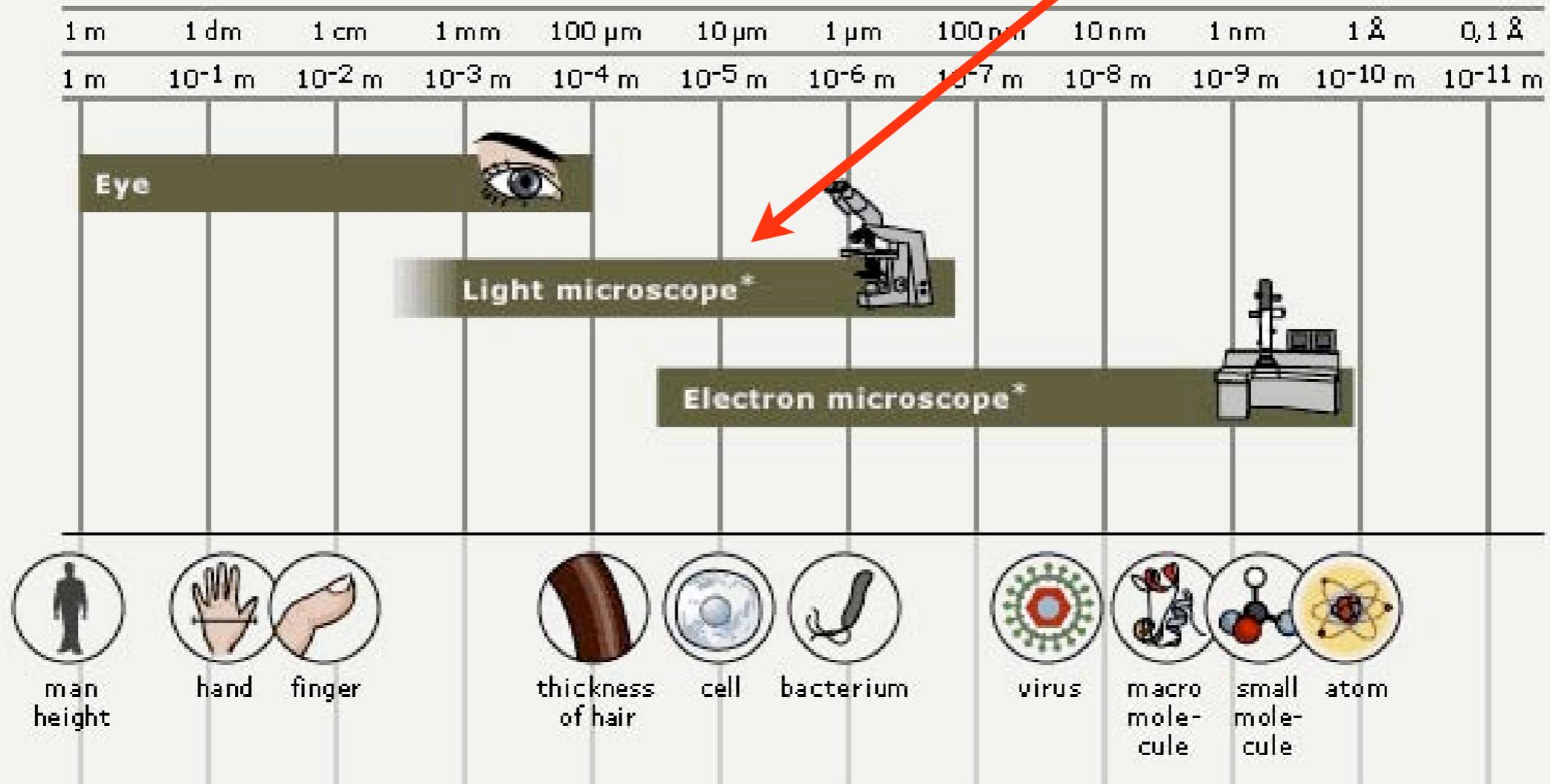
# Premi Nobel

- 1903 - R. Zsigmondy sviluppa l'ultramicroscopio che consente di studiare oggetti più piccoli della lunghezza d'onda della luce visibile (Nobel in Chimica - 1925)
- 1932 F. Zernike inventa il microscopio a contrasto di fase che consente di studiare i materiali biologici (Nobel in Fisica - 1953)
- 1938 E. Ruska sviluppa il microscopio elettronico che consente di migliorare di diversi ordini di grandezza la risoluzione spaziale (Nobel in Fisica - 1986)
- 1981 G. Binnig e H. Rohrer inventano il microscopio a scansione a effetto tunnel che permette di ottenere immagini 3D con risoluzione atomica (Nobel in Fisica - 1986)

## Resolving Power Line

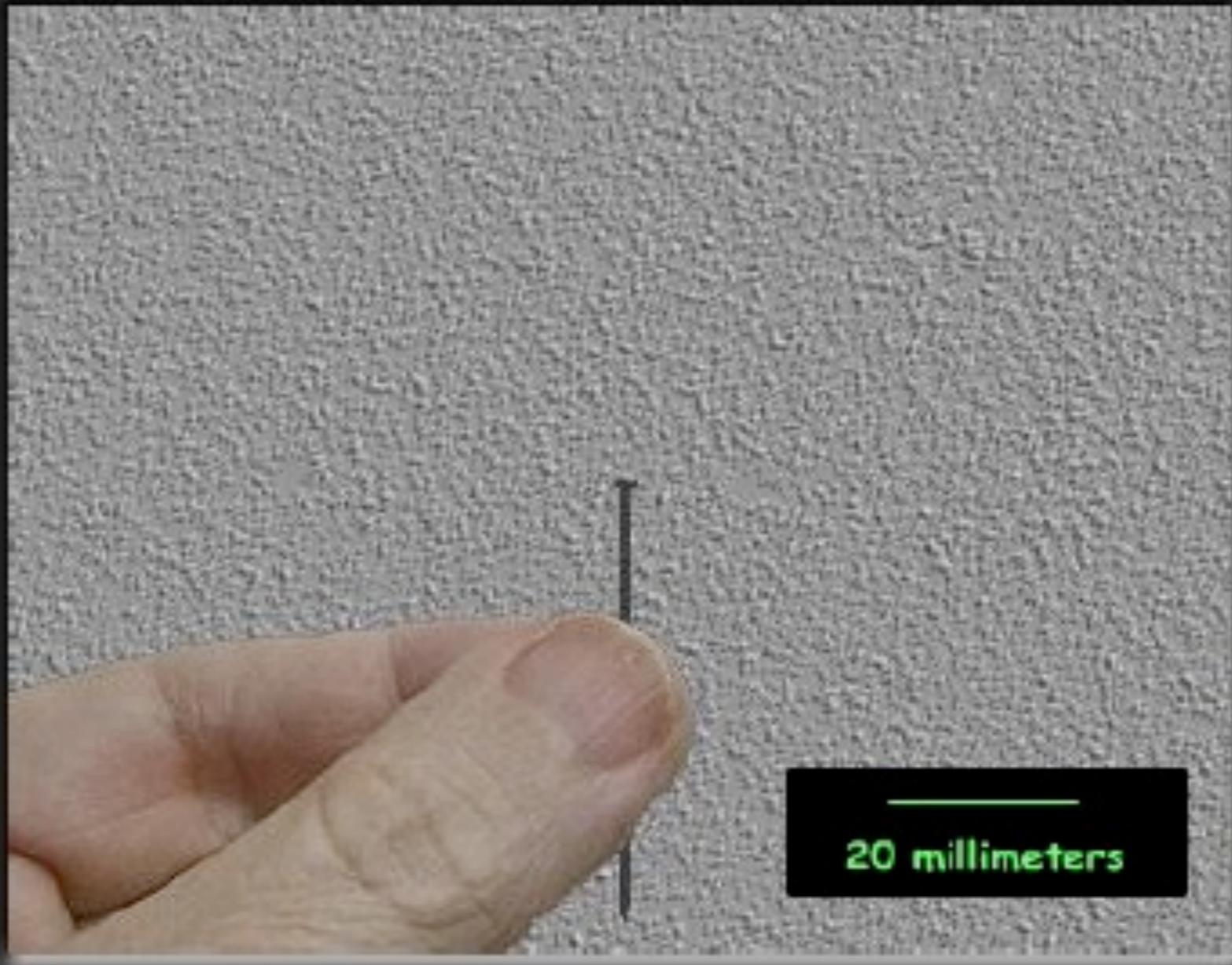
What can you see with the different types of microscopes? The human eye is capable of distinguishing objects down to a fraction of a millimeter. With the use of light and electron microscopes it is possible to see down to an angstrom and study everything from different cells and bacteria to single molecules or even atoms.

microscopia IR



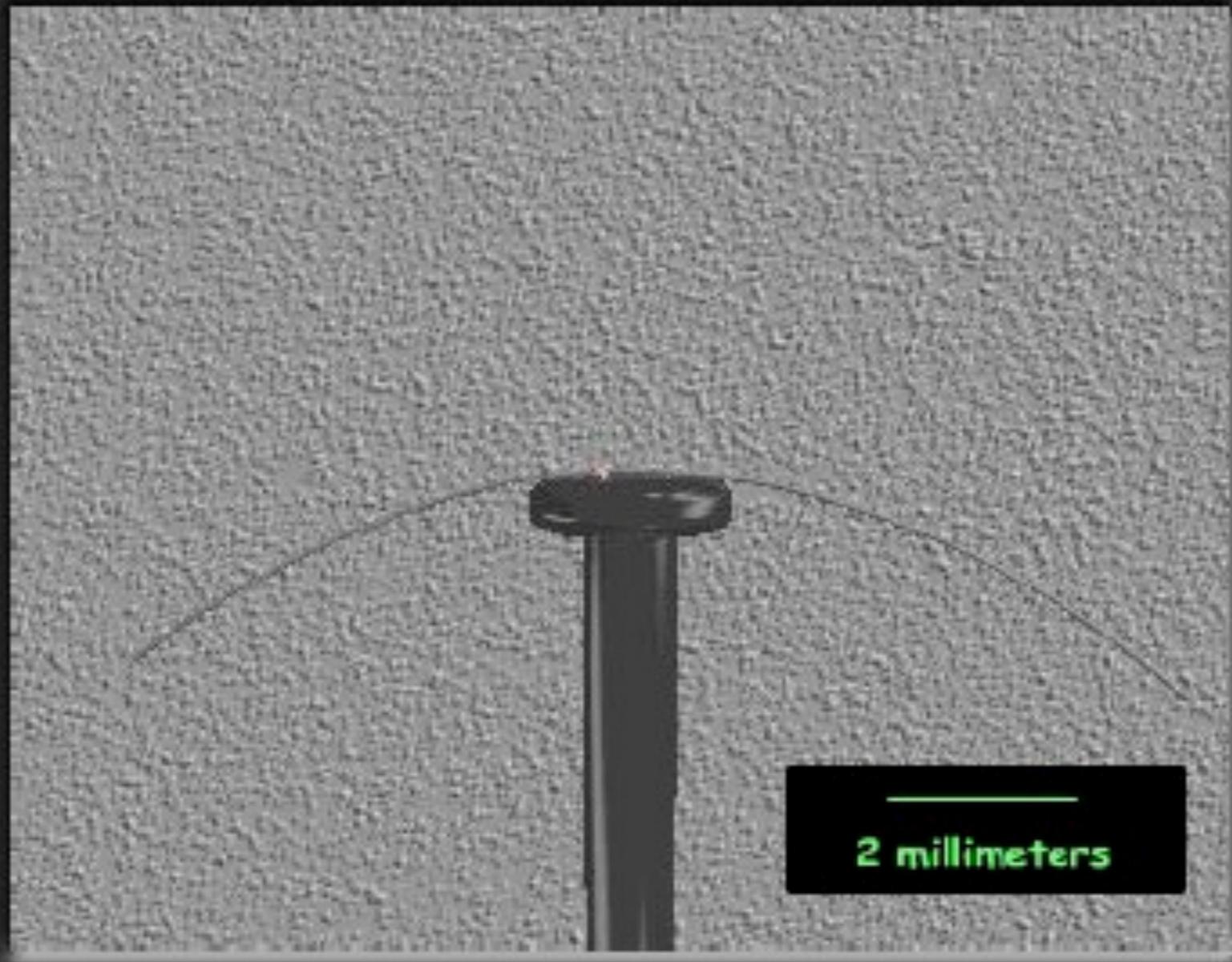
\* Light microscope includes phase contrast and fluorescence microscopes. Electron microscope includes transmission electron microscope.

<http://nobelprize.org/nobel/nobelmuseum/>



◀ | Magnification | ▶





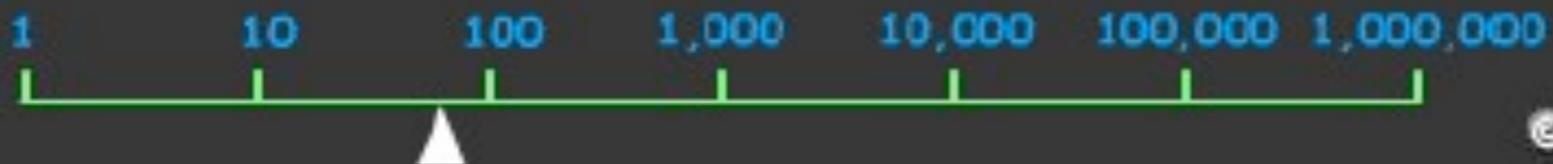
◀ | Magnification | ▶

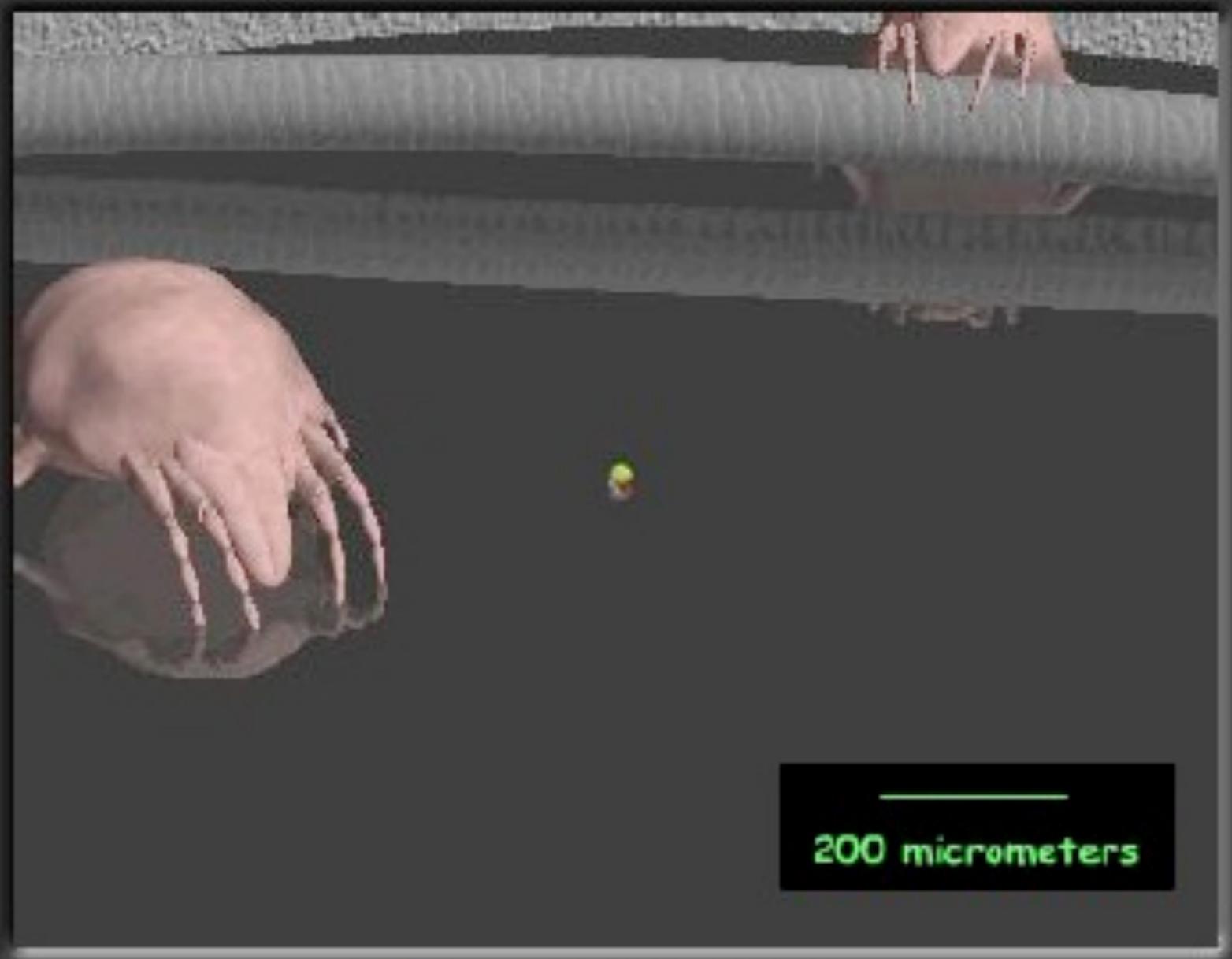




# ACARO

◀ | Magnification | ▶





200 micrometers

◀ | Magnification | ▶



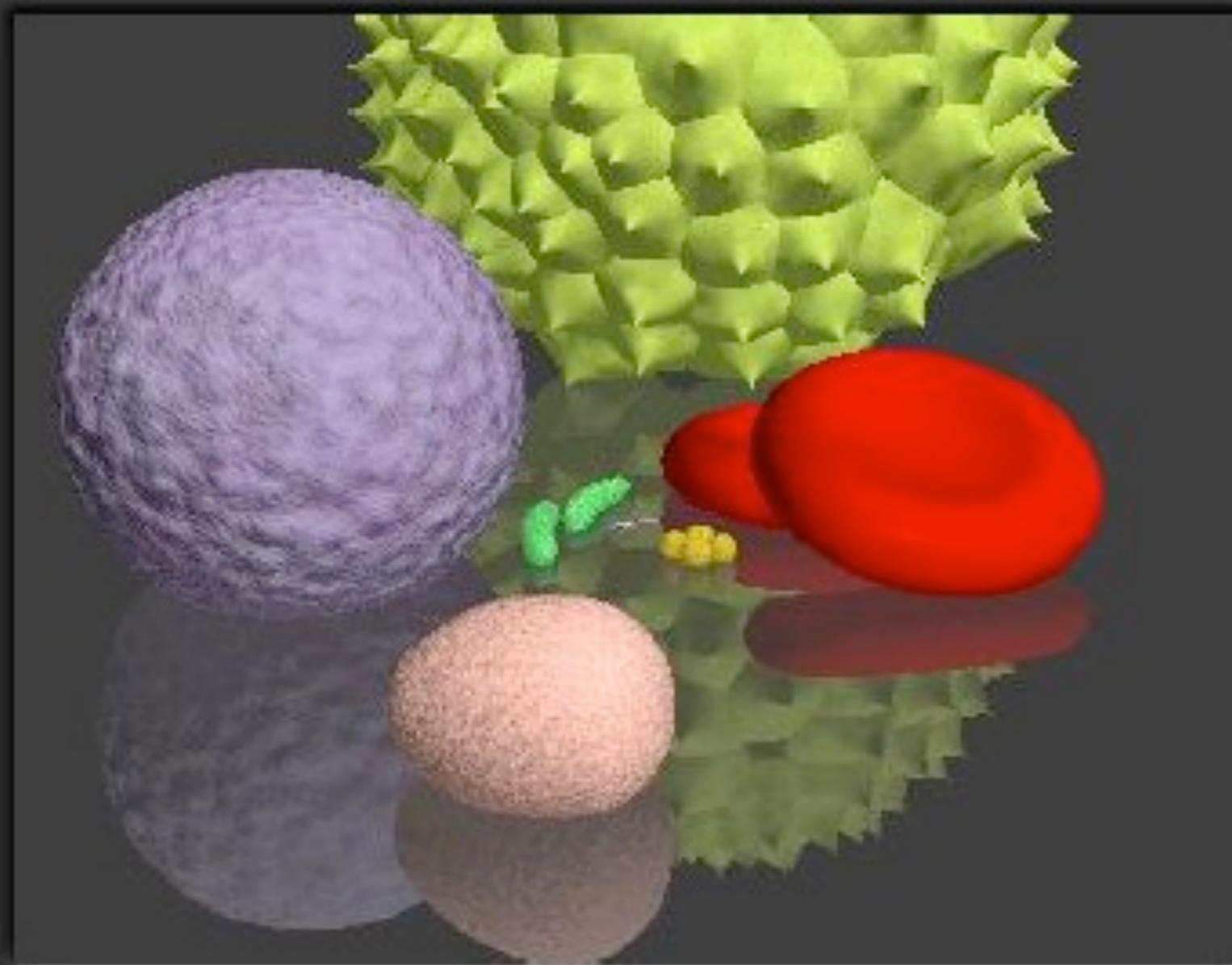
# POLLINE



20 micrometers

◀ | Magnification | ▶





◀ | Magnification | ▶

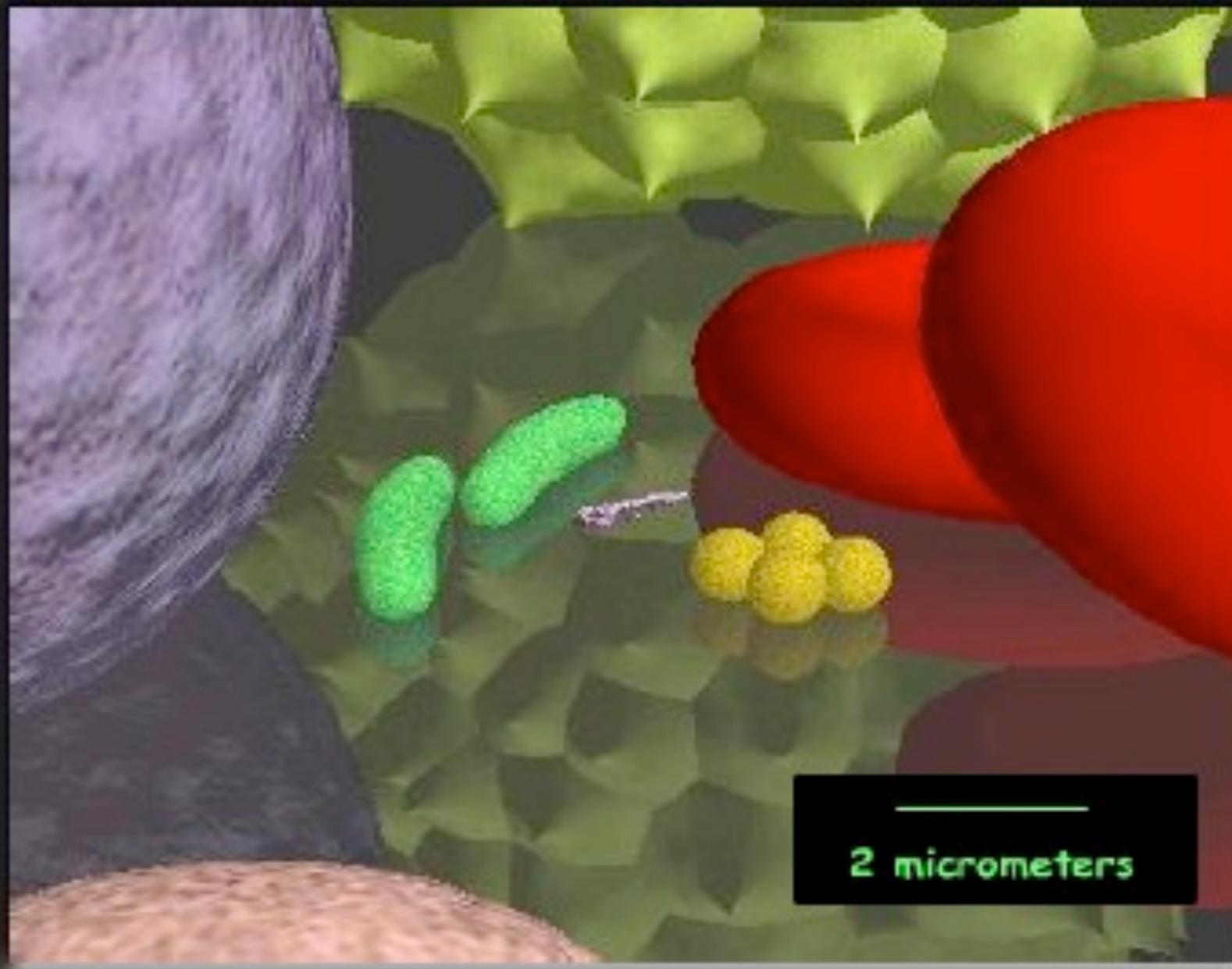
1 10 100 1,000 10,000 100,000 1,000,000



**LINFOCITI**

**CELLULE  
EMATICHE**

**BIOMASSE**

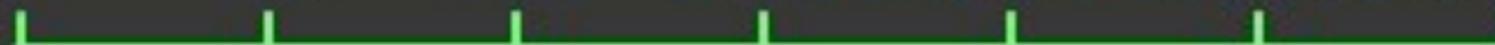


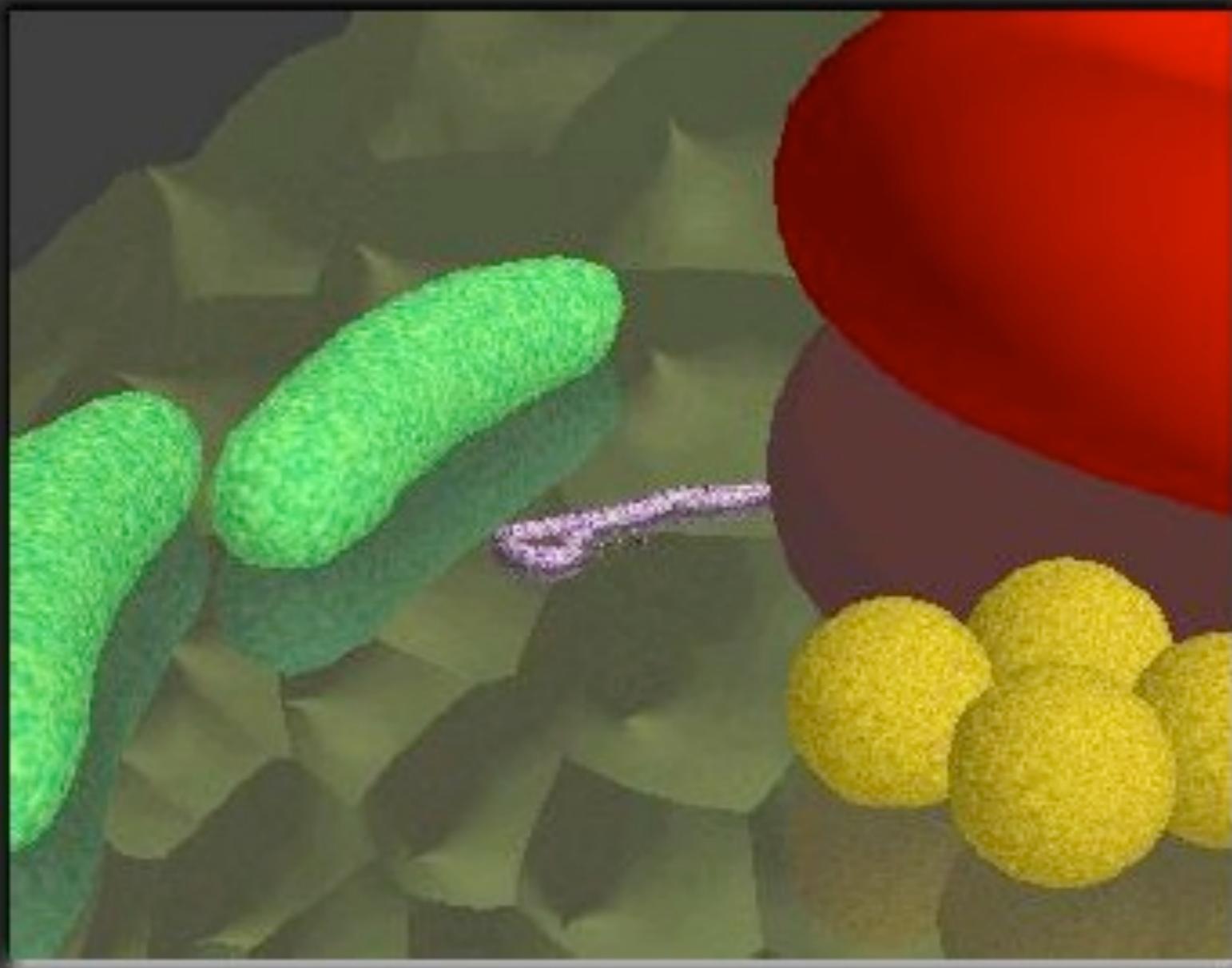
**E. COLI**

**STAFILOCOCCO**

◀ | **Magnification** | ▶

1      10      100      1,000      10,000      100,000      1,000,000





◀ | Magnification | ▶





◀ | Magnification | ▶

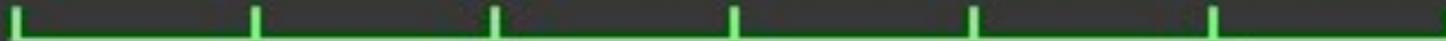


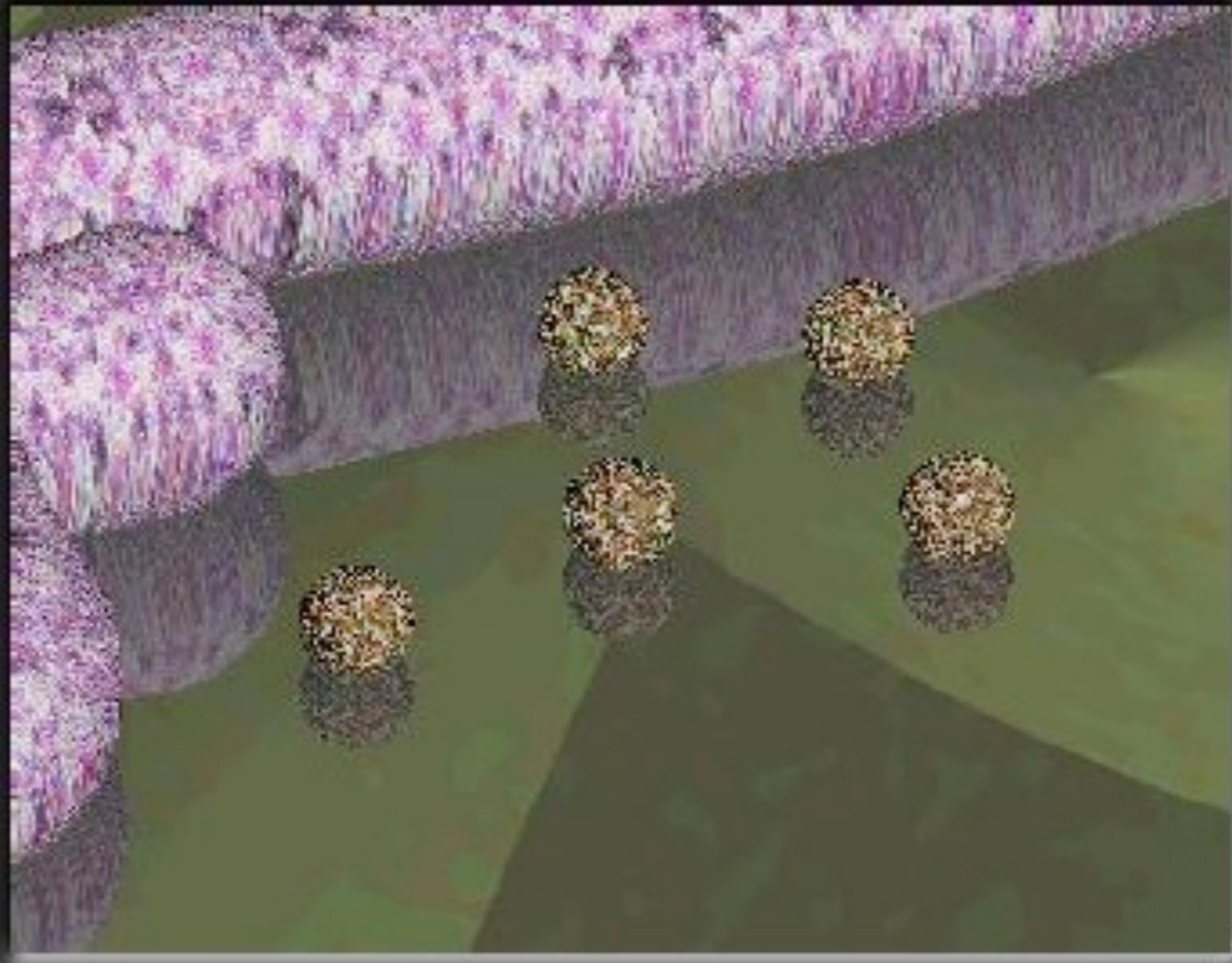


# EBOLA VIRUS

◀ | Magnification | ▶

1      10      100      1,000      10,000      100,000      1,000,000

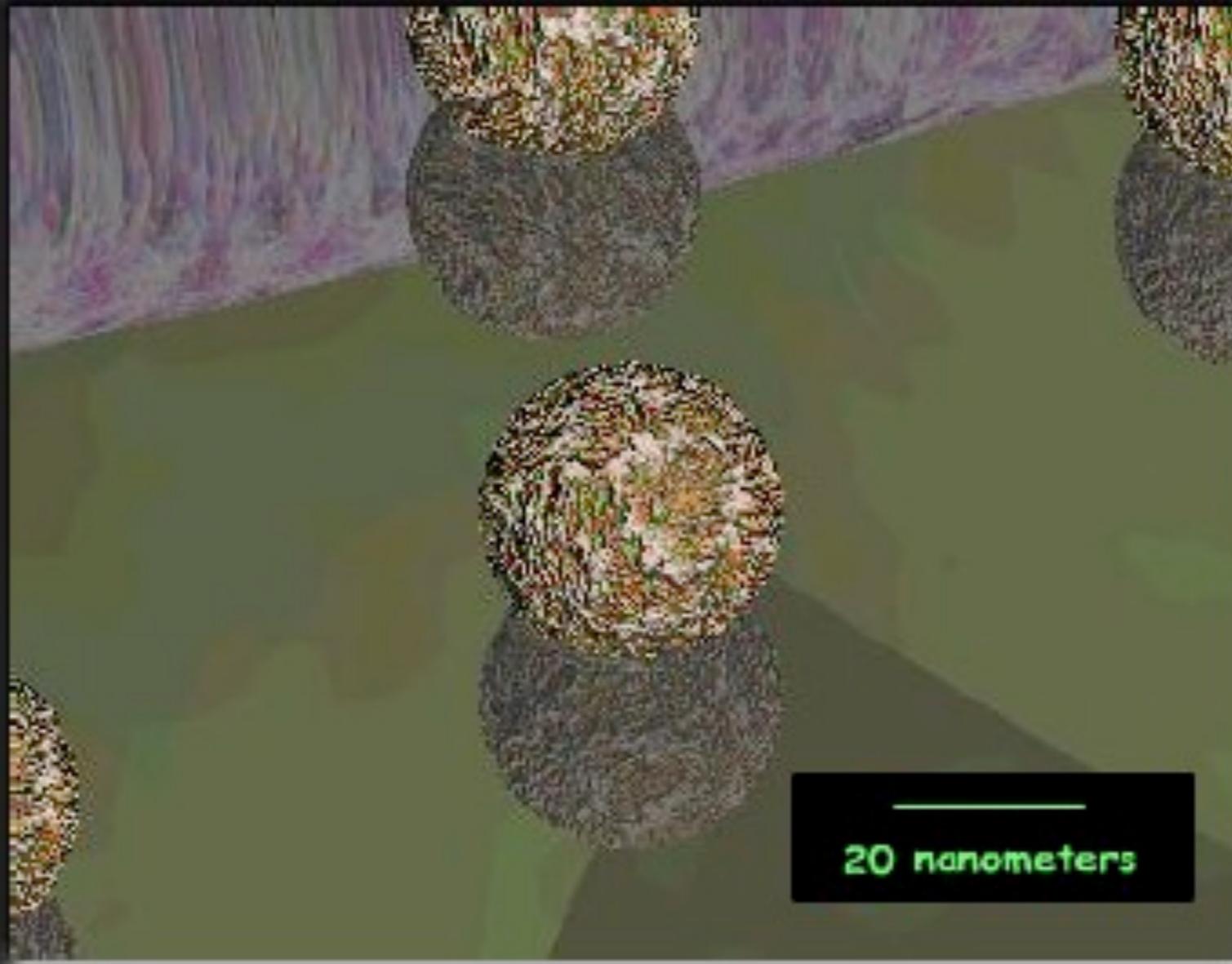




◀ | Magnification | ▶

1      10      100      1,000      10,000      100,000      1,000,000





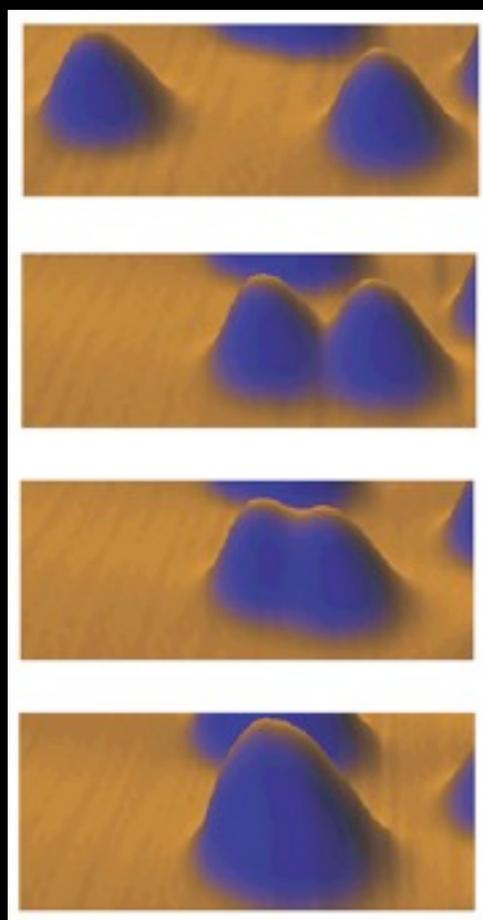
# VIRUS INFLUENZA

◀ | Magnification | ▶

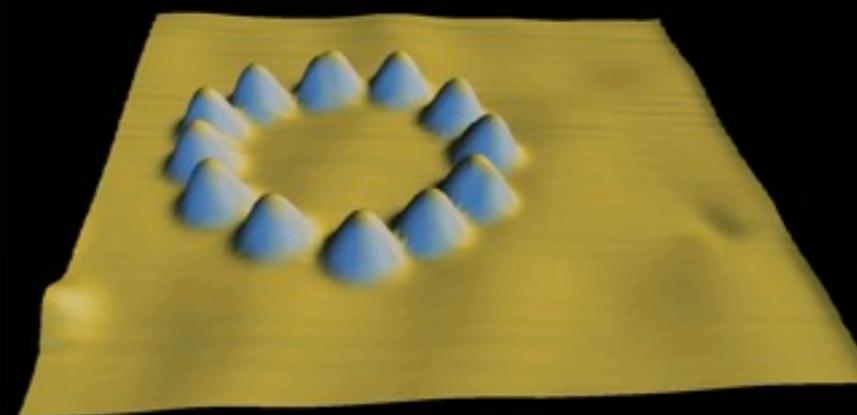
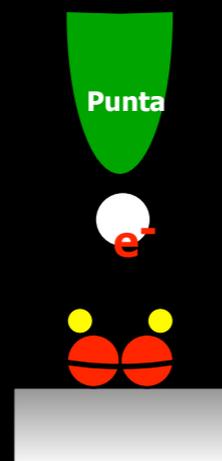
1      10      100      1,000      10,000      100,000      1,000,000



# VEDERE - COSTRUIENDO E MANIPOLANDO SINGOLI ATOMI E MOLECOLE



LA PUNTA DI UN STM PUO' ESSERE USATA PER COSTRUIRE  
NANOSTRUTTURE ATOMO PER ATOMO



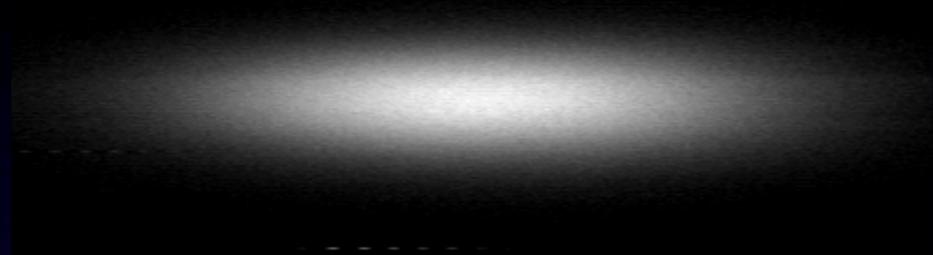
DIMERO DI NICKEL SU ORO

STUDIARE CON LA LUCE LE PROPRIETA' E LE  
CARATTERISTICHE DI SISTEMI NANOSTRUTTURATI

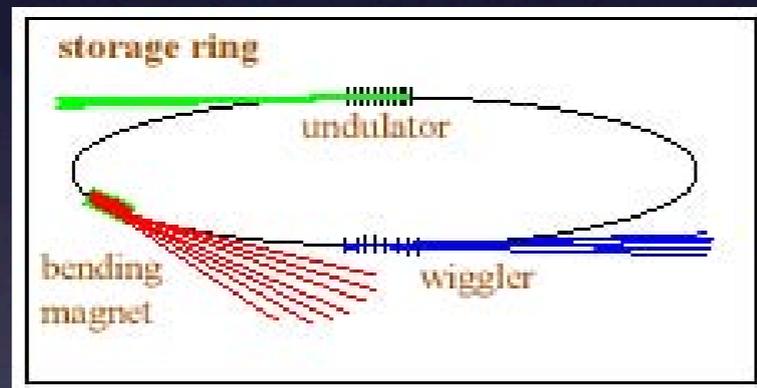
# GLI ANELLI DI ACCUMULAZIONE

Open Day  
19 Aprile 2010

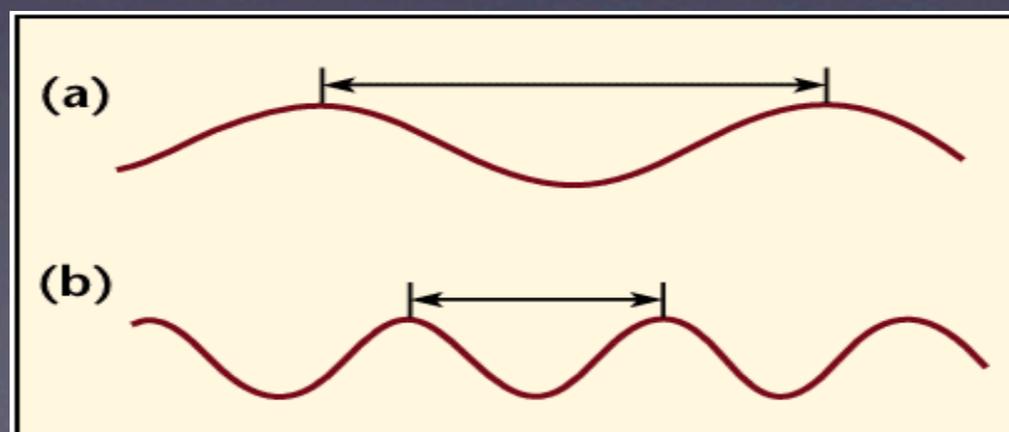
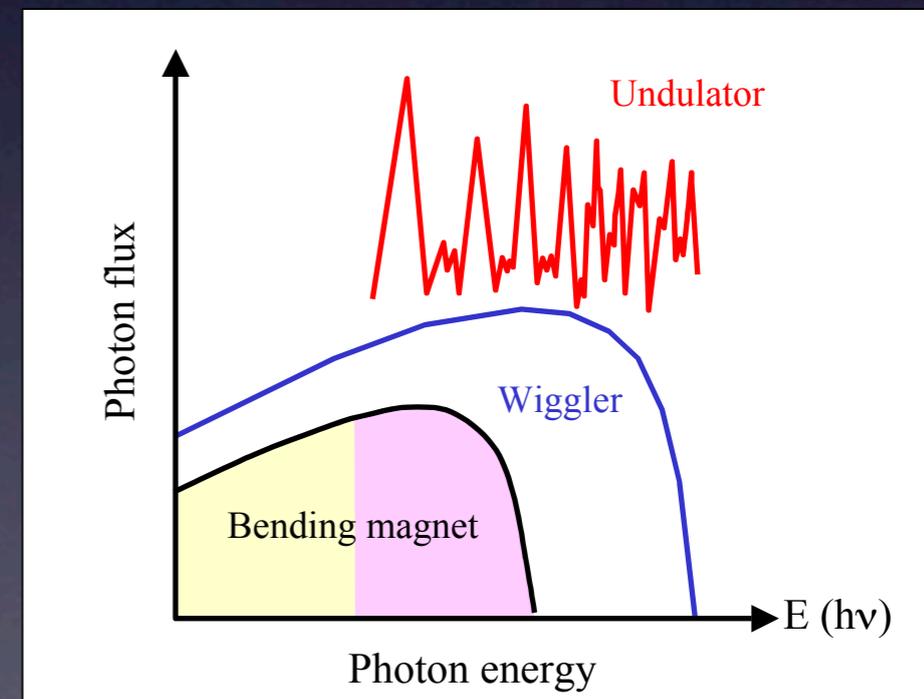
GLI ANELLI DI ACCUMULAZIONE SONO CAMERE DA VUOTO DOVE UN FASCIO DI PARTICELLE CARICHE (ES. ELETTRONI) VIAGGIA A VELOCITA' RELATIVISTICHE.



GLI ELETTRONI CIRCOLANDO EMETTONO LUCE (E.G. RADIAZIONE E.M.) CON UNA STRUTTURA TEMPORALE PULSATA (~NS). LO SPETTRO DELLA RADIAZIONE EMESA E' CONTINUO (O DISCRETO) CON ENERGIE VARIABILI DALL'INFRAROSSO AI RAGGI X DURI.



QUESTE ENERGIE CORRISPONDONO A LUNGHEZZE D'ONDA DA 0.0001  $\mu\text{M}$  A  $\sim 0.1 \mu\text{M}$  (MEV  $\rightarrow$  KEV).



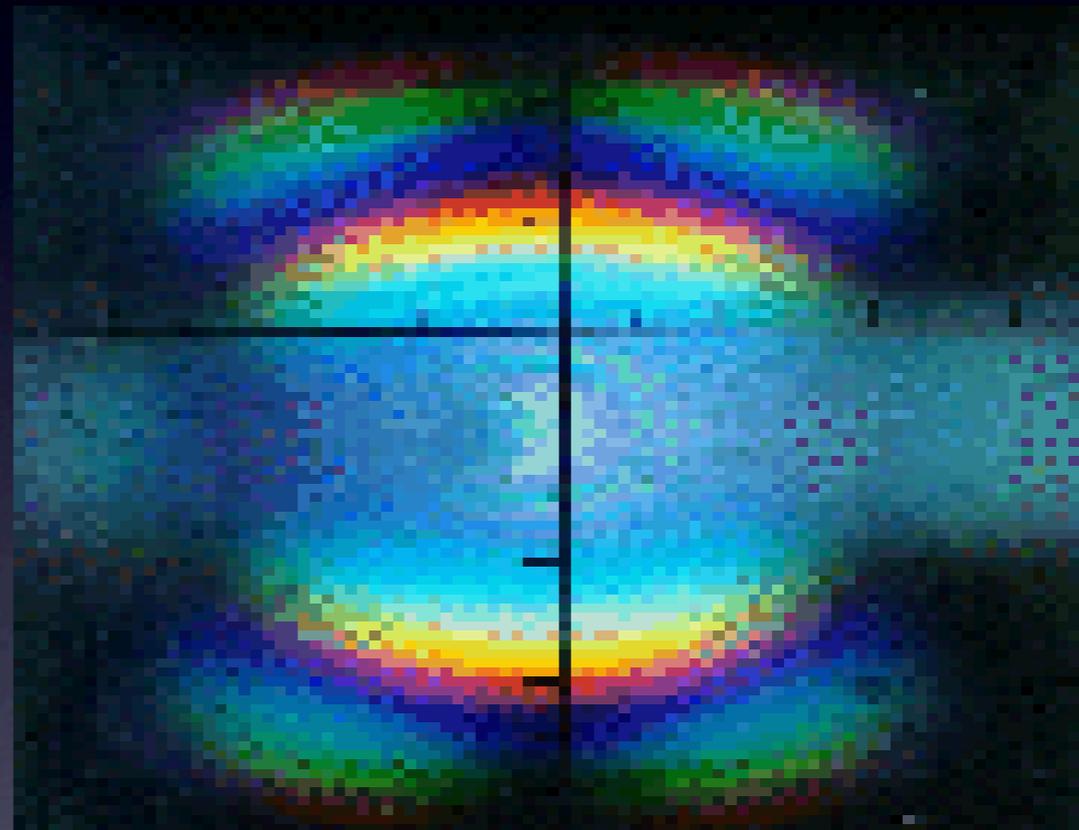
# LA LUCE DI SINCROTRONE

LA LUCE DI SINCROTRONE FU OSSERVATA PER LA PRIMA VOLTA ALL'ESTERNO DELLA CAMERA DA VUOTO DI UN ACCELERATORE DELLA GENERAL ELECTRIC NEL 1947. DA ALLORA QUESTA MAGICA LUCE, COME LA LAMPADA DI ALADINO, HA ILLUMINATO LA STRADA DELLA CONOSCENZA IN MOLTI CAMPI DELLA SCIENZA.

**I.M. TERNOV**

*Physics-Uspekhi 38, 409 (1995)*

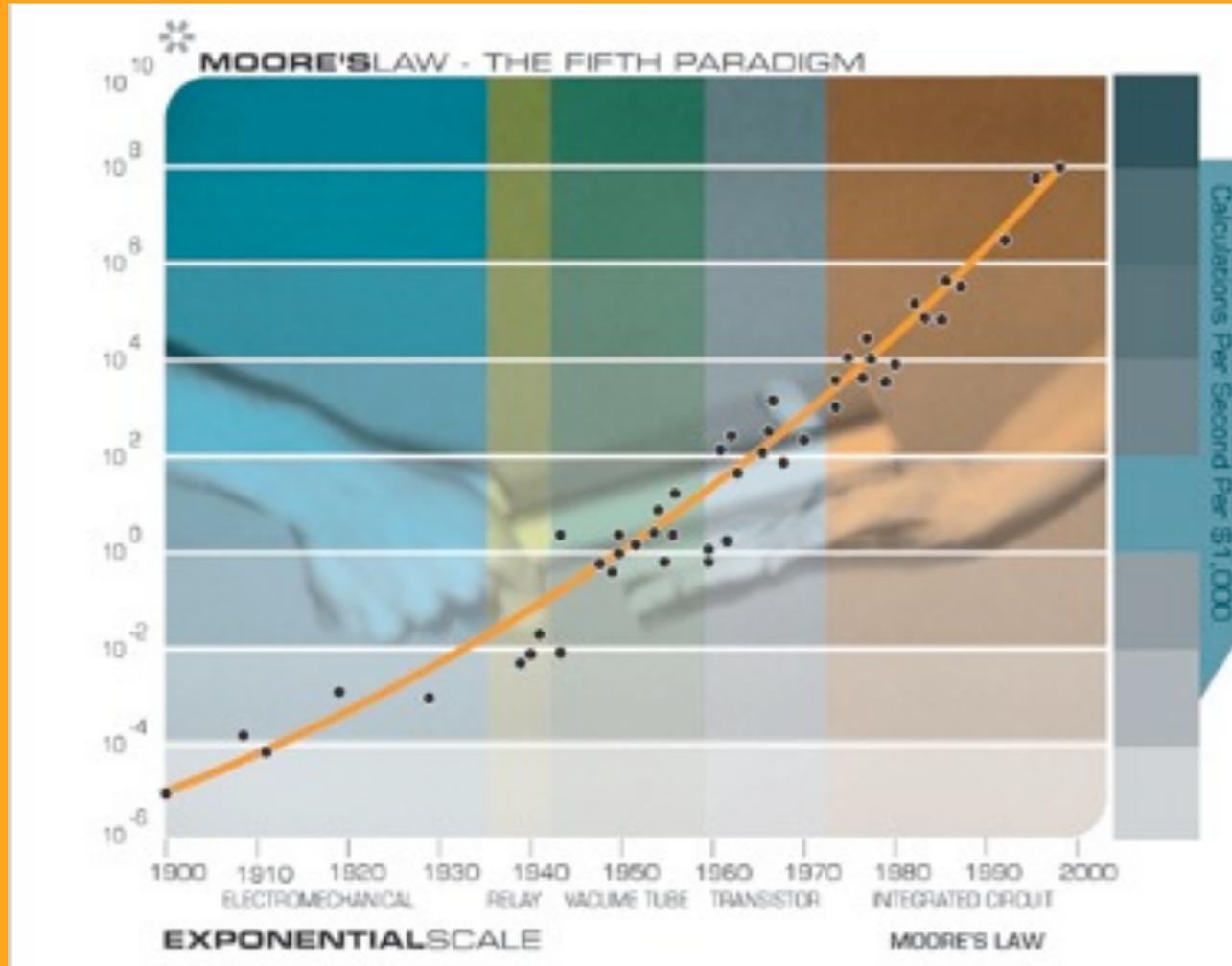
**LUCE DALL'IR AI RAGGI X**



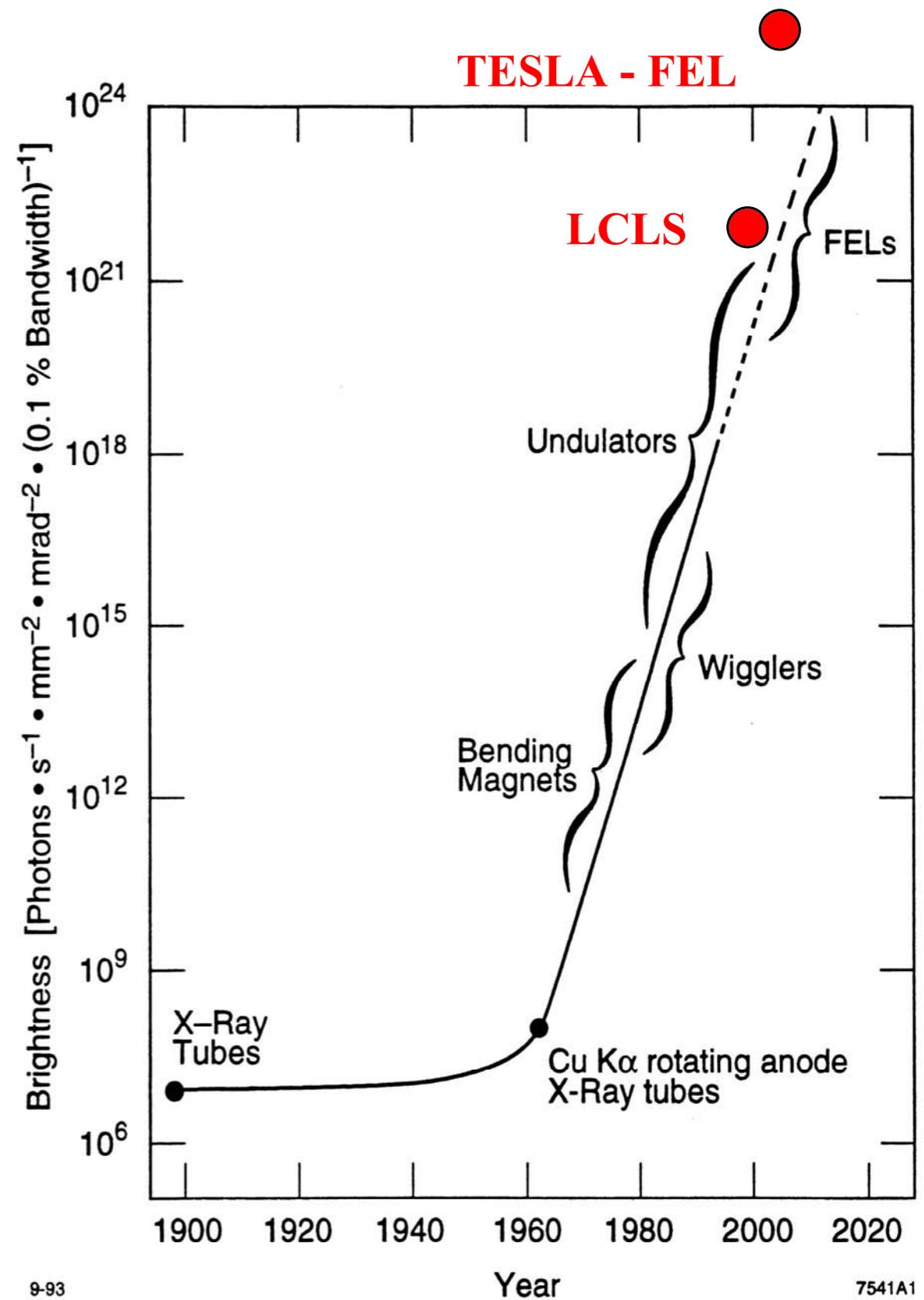
**18 PREMI NOBEL IN CHIMICA - FISICA E  
MEDICINA HANNO REALIZZATO LE LORO  
RICERCHE CON I RAGGI X**

# UNA CRESCITA ESPONENZIALE

Open Day  
19 Aprile 2010



## LA LEGGE DI MOORE



# LA CONTAMINAZIONE DELL'ATMOSFERA



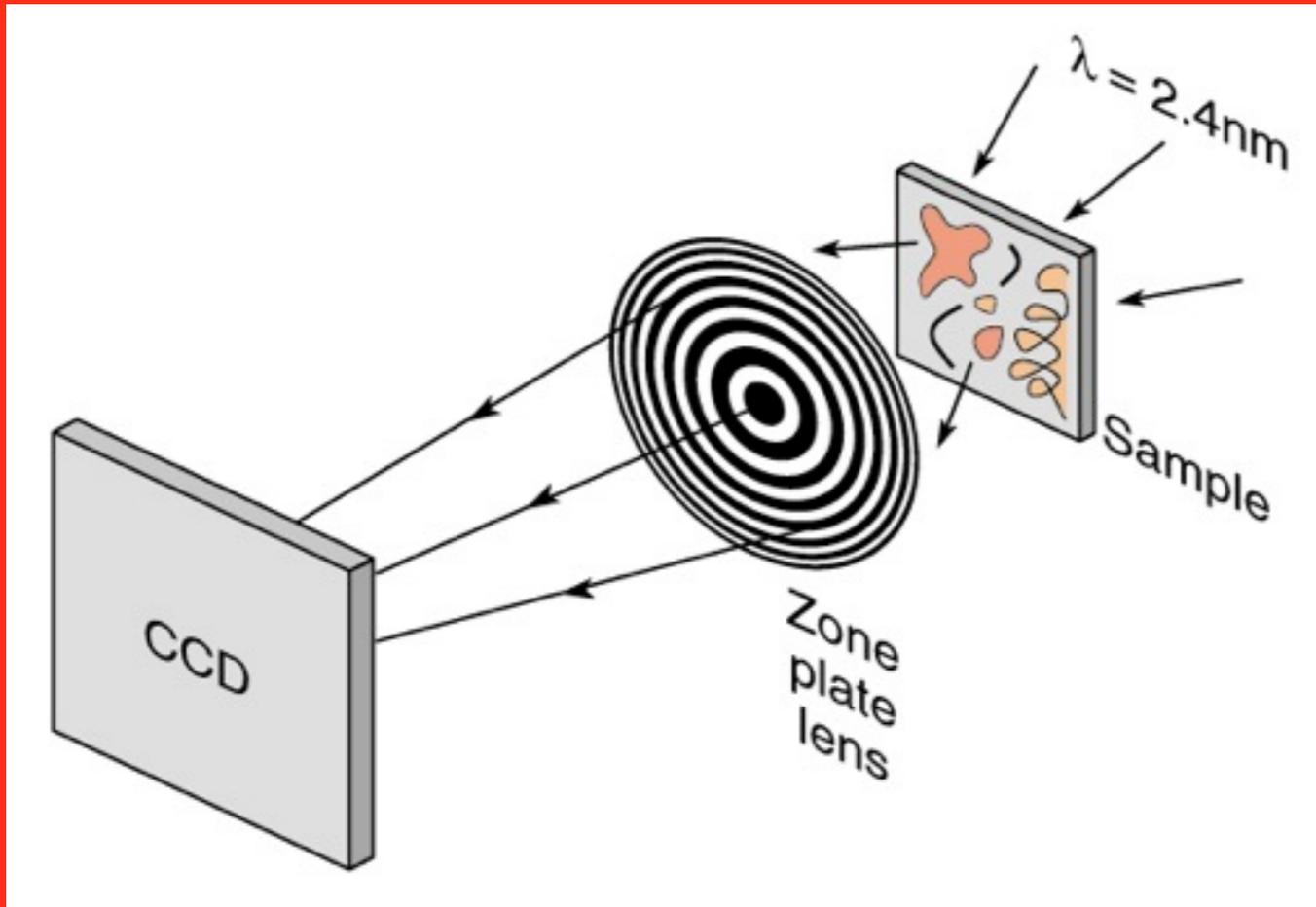
## IMPATTO DELLE MINIERE ABBANDONATE



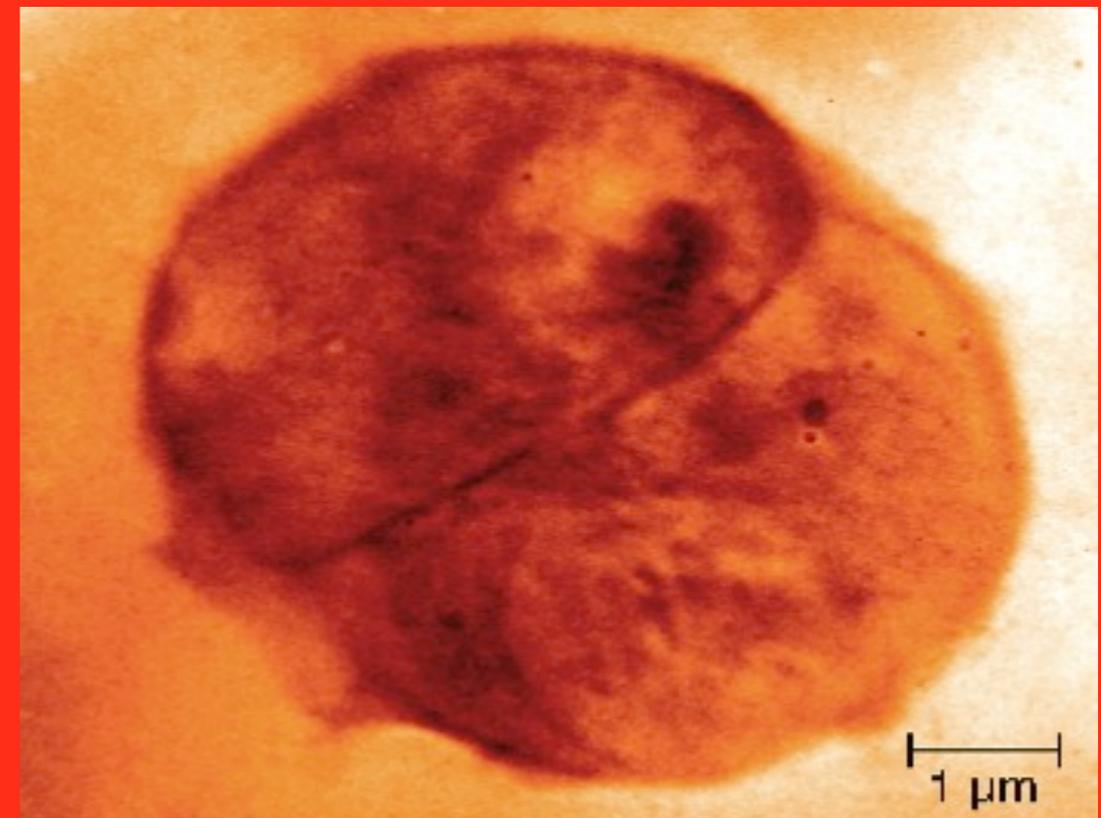
La miniera di Montevecchio



# MICROSCOPIA CON RAGGI X



*Globulo rosso infettato dalla malaria*



# LA MICRO-TOMOGRAFIA

Open Day  
19 Aprile 2010

**LE OSSA SONO COMPOSTE DI UNA CORTECCIA ESTERNA DURA CHE CIRCONDA UNA PARTE INTERNA POROSA COMPOSTA DA BASTONCINI (TRABECULAE) CHE FORMANO UNA STRUTTURA CONNESSA IN GRADO CON IL MINIMO PESO DI OFFRIRE LA MASSIMA RESISTENZA.**



33 ANNI

**PER STUDIARE L'ARCHITETTURA MICROSCOPICA DELLE OSSA CON SUFFICIENTE RISOLUZIONE E' POSSIBILE USARE GLI INTENSI FASCI DI LUCE DI SINCROTRONE DI DIMENSIONI  $\sim 1 \mu\text{m}$  CON QUESTA RISOLUZIONE SPAZIALE.**



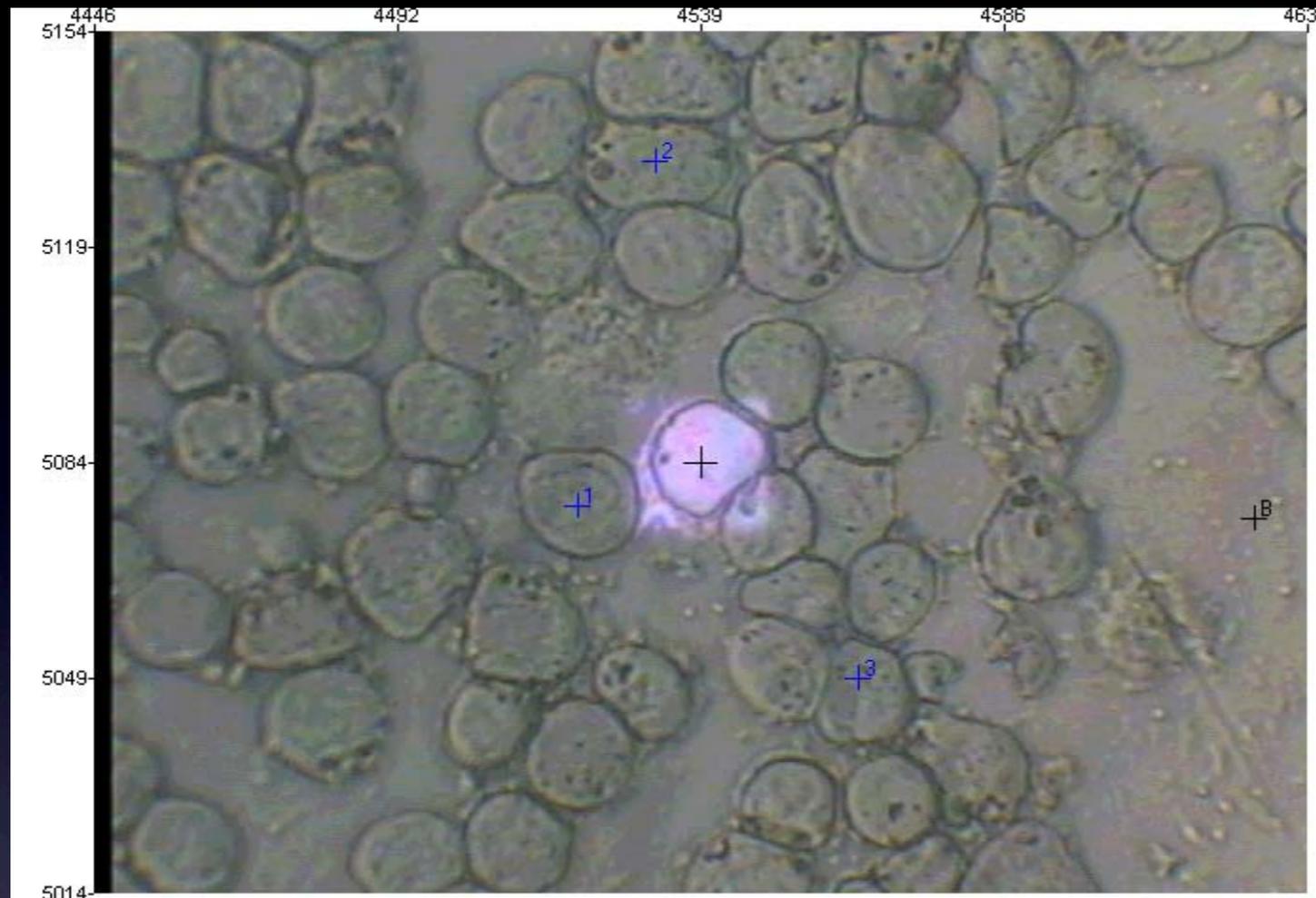
55 ANNI

**CON QUESTE TECNICHE SI PUO' STUDIARE AD ESEMPIO IL PROCESSO DI INVECCHIAMENTO DELLE OSSA (VEDI FIGURE) ATTRAVERSO LE VARIAZIONI DELLA MICROSTRUTTURA.**



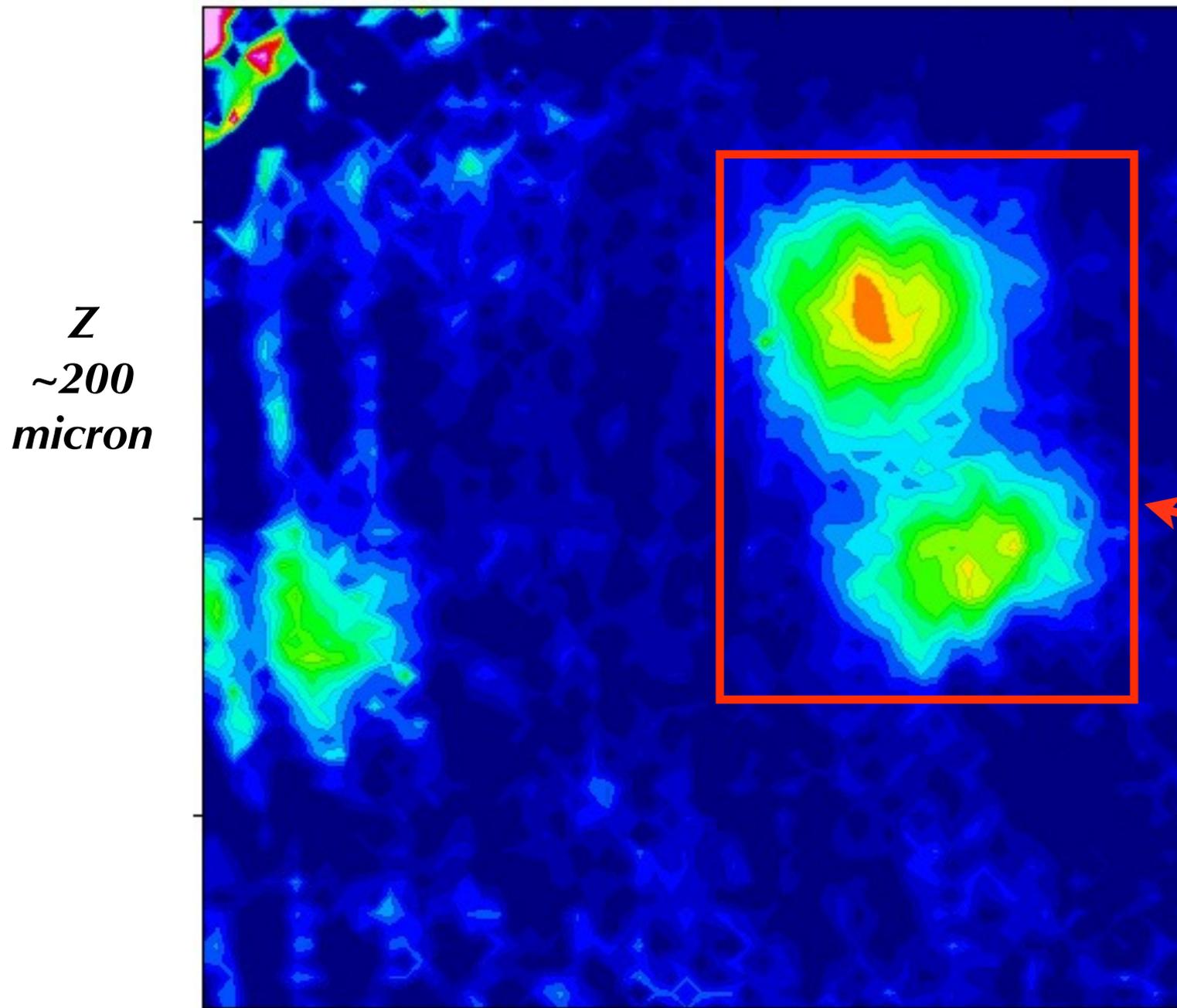
72 ANNI

**ANCORA PIU' INTERESSANTE LO STUDIO SULL'EFFETTO DEI FARMACI SULLE PATOLOGIE OSSEE (ES. OSTEOPOROSI) CHE MODIFICANO APPUNTO LA STRUTTURA INTERNA DELLE OSSA.**



**FOTOGRAFIA DELL'IMMAGINE OSSERVATA ATTRAVERSO UN MICROSCOPIO IR DI UNA COLTURA DI CELLULE CANCEROGENE POSTE SU UNA LASTRINA DI  $\text{CaF}_2$  PREDISPOSTA PER L'ANALISI.**

**L'AREA ILLUMINATA DALLLO SPOT IR HA DIMENSIONI DI CIRCA  $20 \times 20 \mu\text{m}$ .**



*immagine IRrisolta in tempo, di due cellule misurata a Frascati con DAΦNE (~1.5 A)*

**80x100 micron**

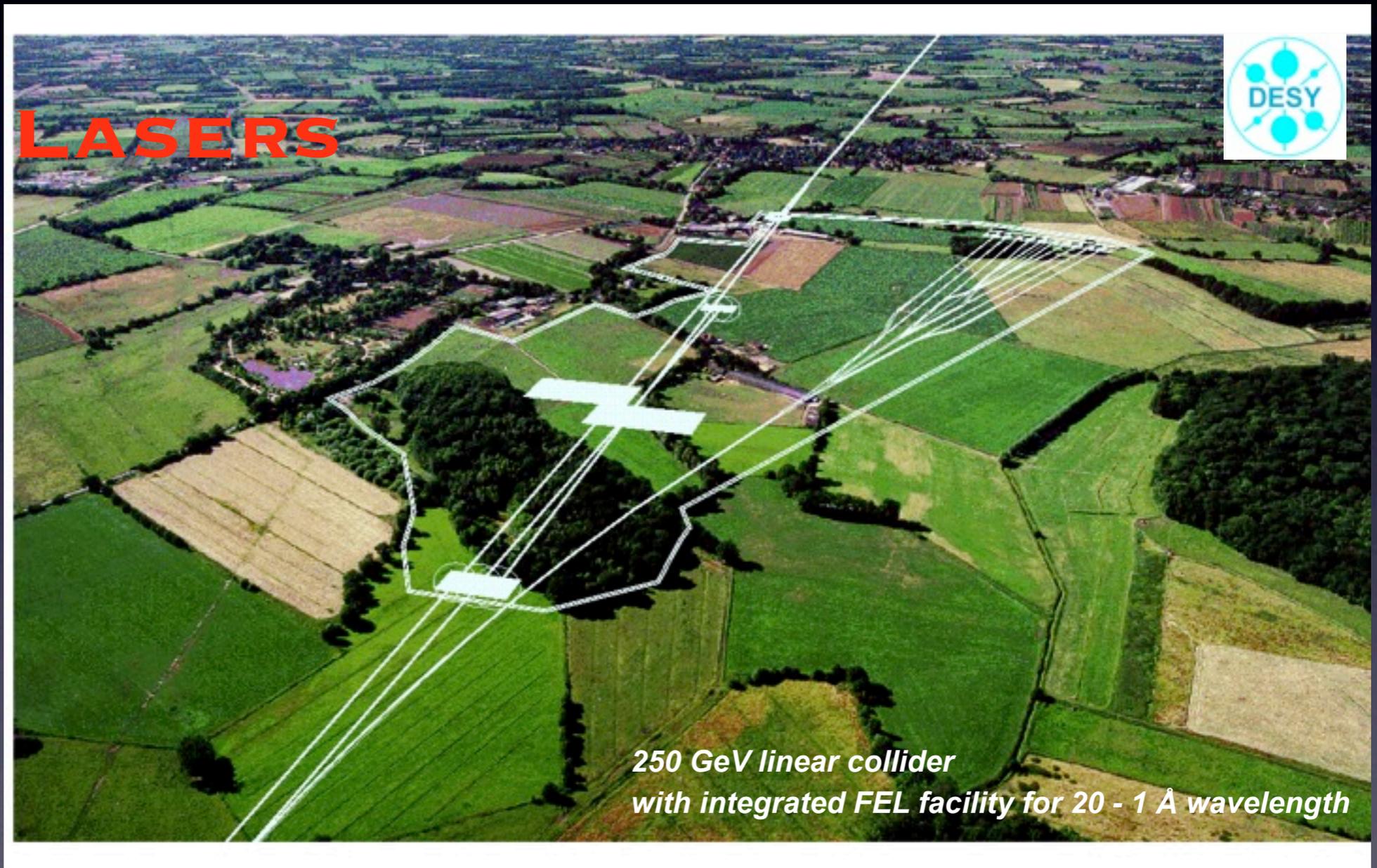
*X ~200 micron*  
Courtesy C. Petibois (Bordeaux University)

# E IL FUTURO.....?

Open Day  
19 Aprile 2010

## LA COSTRUZIONE DI FREE ELECTRON LASER

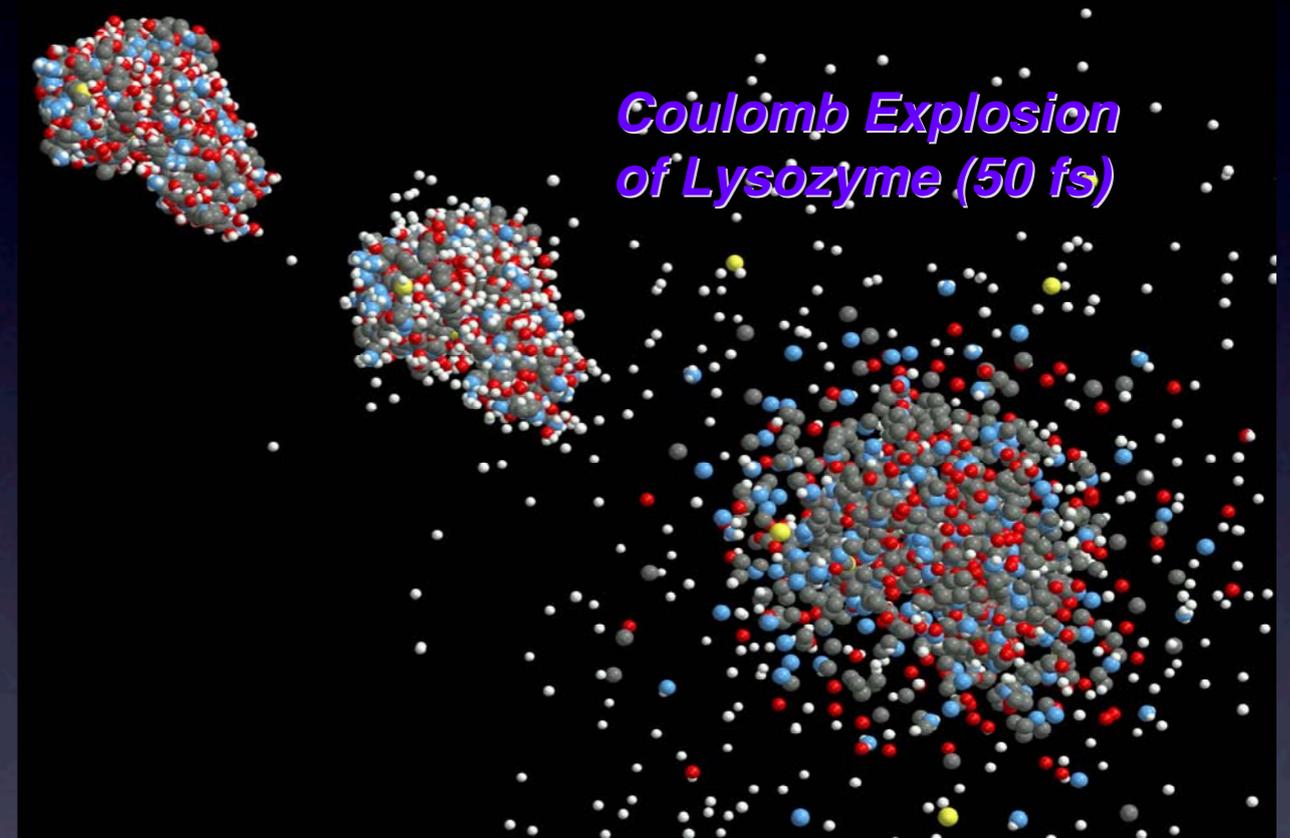
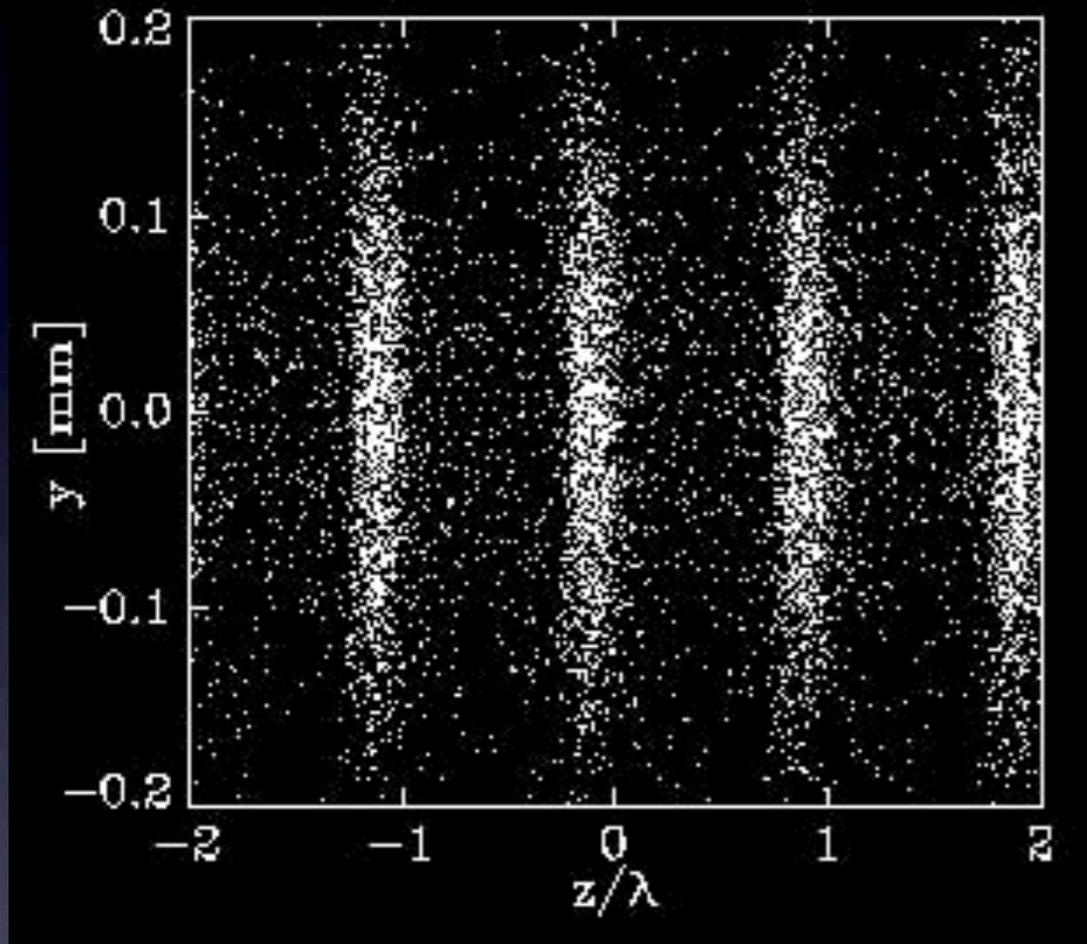
### X-RAY LASERS



**X-FEL Facility at TESLA@DESY (Germany)**

# SORGENTI COERENTI BRILLANTI E IMPULSATE

Open Day  
19 Aprile 2010



R. NEUTZE ET AL., NATURE 406 (2000) 752

**QUALE STRUTTURA TEMPORALE?**

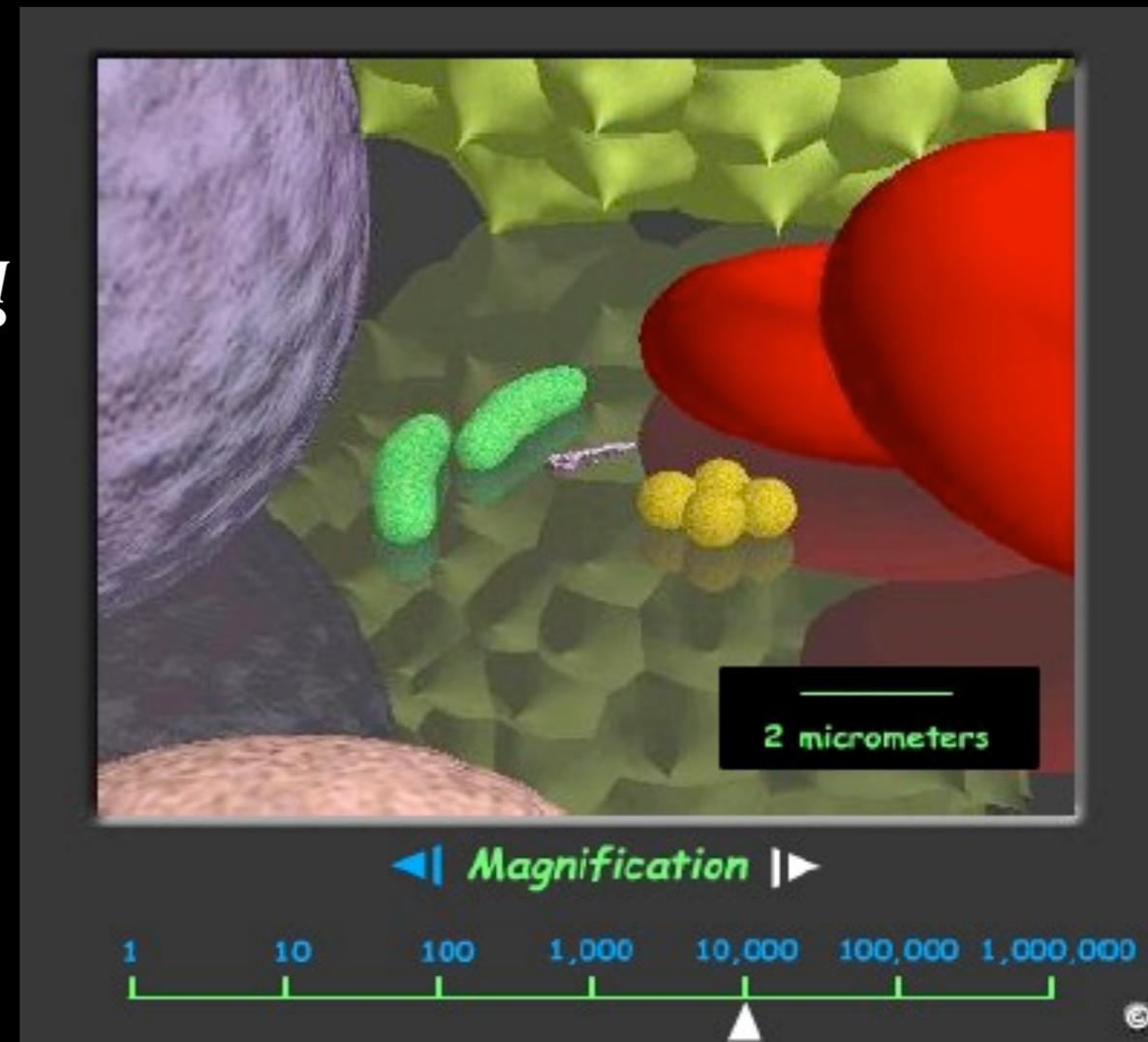
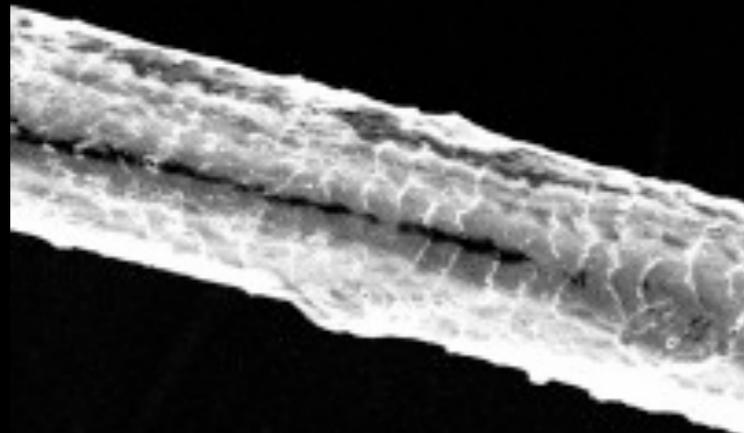
# IMPULSI DELLA DURATA DEI FEMTOSECONDI (FS)!

IN 1 SECONDO LA LUCE FA 7 GIRI INTORNO ALLA TERRA



IN 1 FS 3000 NM

→ 1/10 CAPELLO!





Gjion Mili

# Scienza e Arte

L'arte ha bisogno della scienza?

Esiste oggi una relazione tra queste due culture?

**DE BONAMPAK AL TEMPLO MAYOR**

**EL AZUL MAYA EN MESOAMÉRICA**

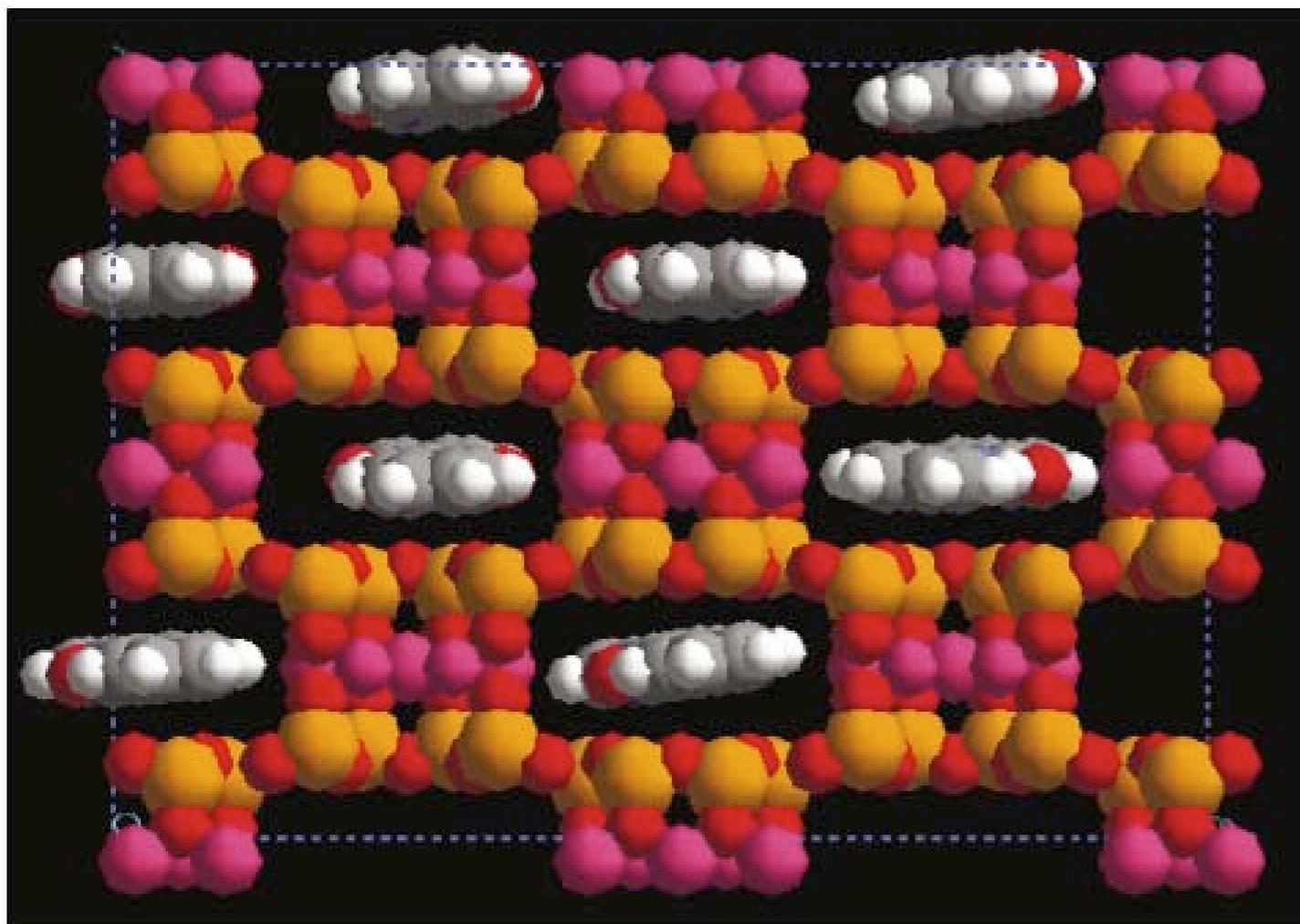
**CONSTANTINO REYES-VALERIO**



# I MISTERI DEL BLU MAYA

OpenDay  
19 Aprile 2010

**PIGMENTO SINTETICO USATO DAI MAYA E DA ALTRI POPOLI NELL'AMERICA CENTRALE**



**ANCORA DA CAPIRE I MOTIVI DELLA SUA STABILITA'. E' STATO PROPOSTO CHE LA MOLECOLA DI INDAGNO SIGILLI (O SI INFILI) NEI CANALI DELLA ARGILLA (PALYGORSKITE). QUAL'E' IL LEGAME CHIMICO CHE SI FORMA?**

**CONTESTO STORICO E ANTROPOLOGICO DA CHIARIRE.**

**ORIGINE E DIFFUSIONE (PIGMENTO, MATERIALI E/O TECNOLOGIA)**

**PERCHE' L'USO E' IMPROVVISAMENTE SCOMPARSO?**

**RITROVATO IN MANUFATTI CUBANI DIVERSI SECOLI DOPO.**

**STUDIO DI CAMPIONI NUOVI E VECCHI.  
SU IN CONDIZIONI CONTROLLATE (ARGILLE  
TEMPERATURA CONTROLLATA, ETC.  
ESPERIMENTAZIONE CON MODERNE TECNICHE**





# due culture?

La reciproca diffidenza tra le "due culture", la mancanza di comunicazione tra scienziati e umanisti è uno dei grandi mali della società occidentale.

Ne sono responsabili principali quei letterati che hanno sempre disprezzato la conoscenza oggettiva della natura e tutta la tecnologia che da essa deriva.

Per guarirne è auspicabile un nuovo "cameratismo" tra scienziati e intellettuali che, senza arbitrari sincretismi, separando la curiosità sterile dal cambiamento reale di prospettiva, si basi sul **denominatore comune capace di tenere insieme discipline umanistiche e scientifiche: la passione per la conoscenza.**

*(The Two Cultures di Charles P. Snow uscì per la prima volta in due puntate sulla rivista Encounter, nel giugno e nel luglio 1959; poi, con l'aggiunta di una seconda sezione, apparve come libro nel 1963)*

## Arte incontra Natura

Leonardo:

*La Vergine delle rocce* (1483-86)



Vasilij  
Kandinsky:  
*Blu di cielo*  
(1940)

Periodo biomorfo





*Cortesía del Prof. Uda*



The rock-cut Tomb of Userhat (18<sup>th</sup> Dynasty, ca.1400 B.C.)





Amenemhat (11<sup>th</sup> Dynasty, ca.2000 B.C.)

L'analisi di un oggetto d'arte non può essere solo estetica, vale a dire riguardare solo il suo aspetto esteriore.

Deve essere accompagnata da un'analisi (scientifica) degli aspetti interni che ne condizionano i caratteri esterni.

Solo così è possibile capire veramente ciò che l'artista ha saputo fare e non fare e collocare l'opera nello sviluppo culturale dell'umanità.