

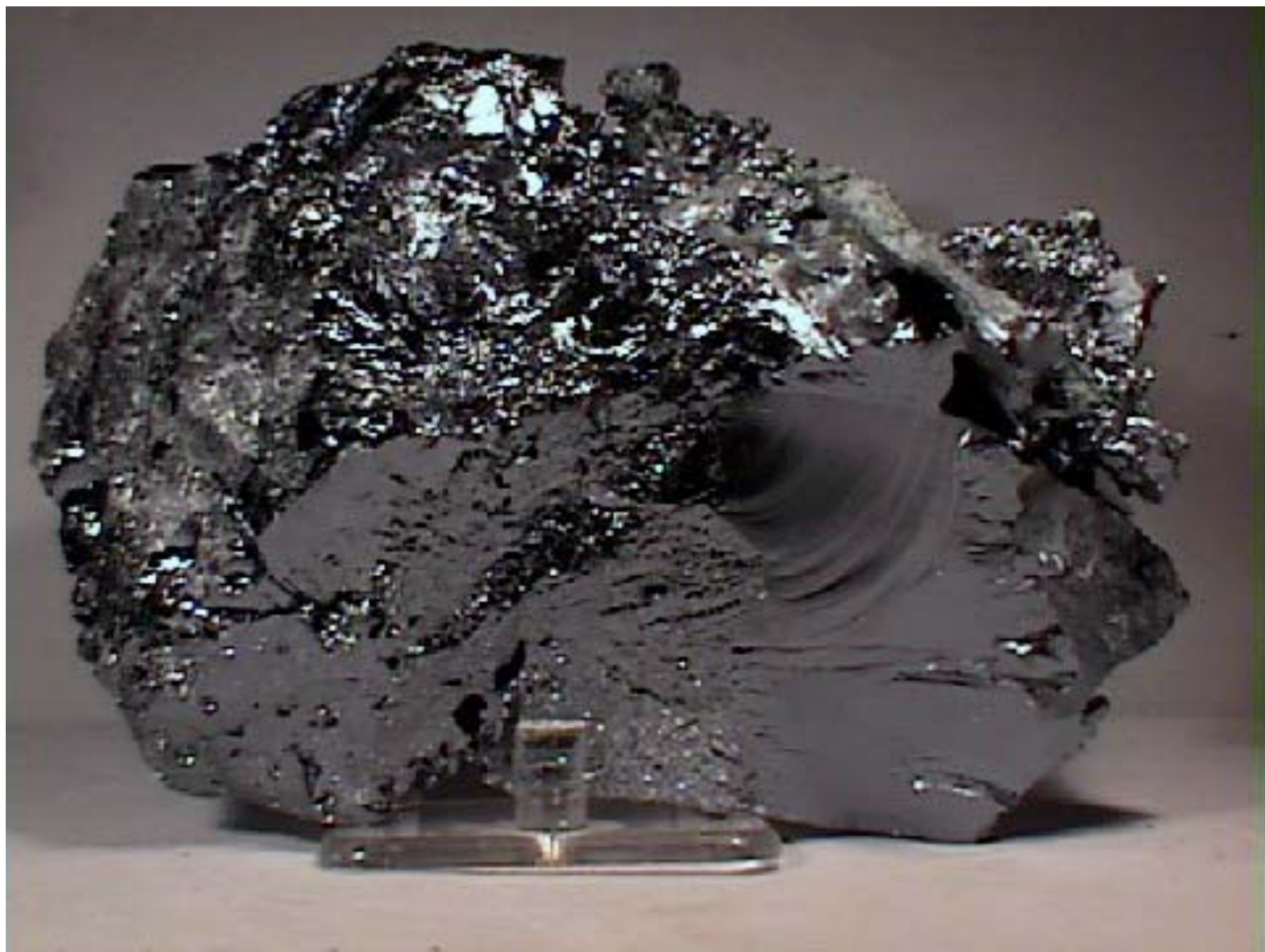
# Quanti amici – introduzione alla MQ

Stefano Sandrelli  
INAF – Osservatorio Astronomico di Brera

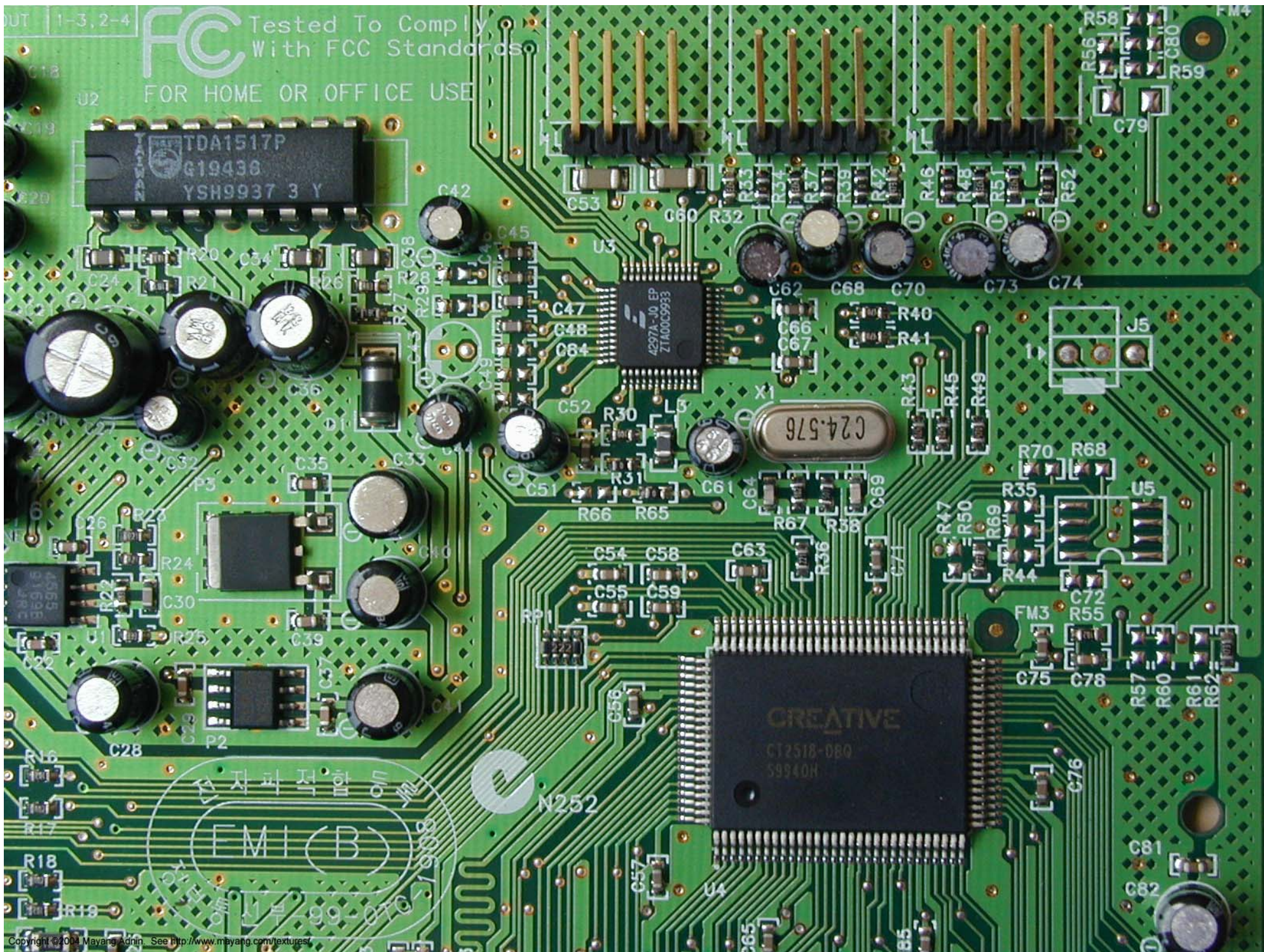


La luce e l'elettrone











# Scanning Tunneling Microscope

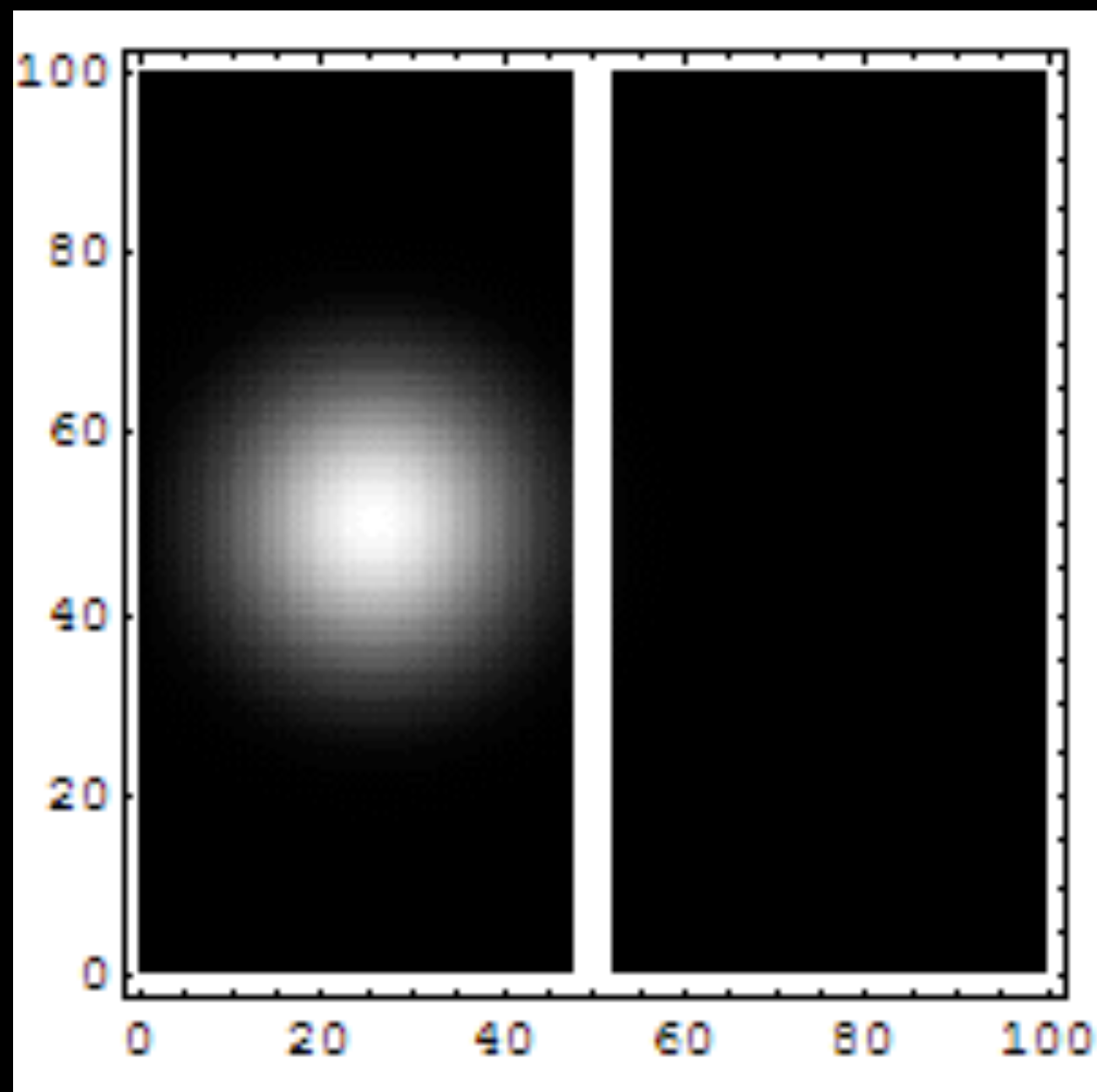
## TUNNEL EFFECT

All the animations and explanations on  
[www.toutestquantique.fr](http://www.toutestquantique.fr)

Video visibile su questo sito

<http://www.toutestquantique.fr/#tunnel>





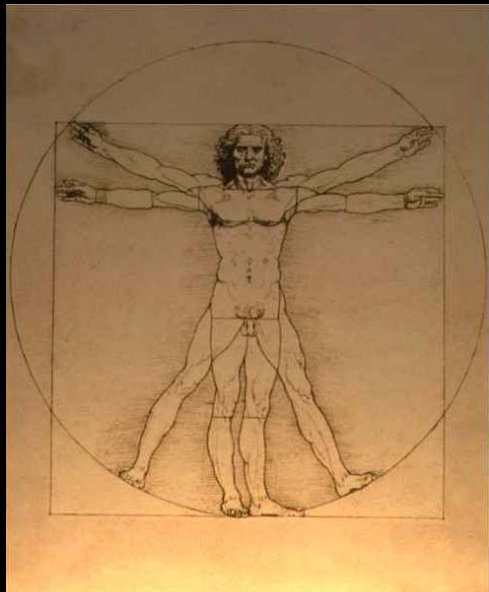




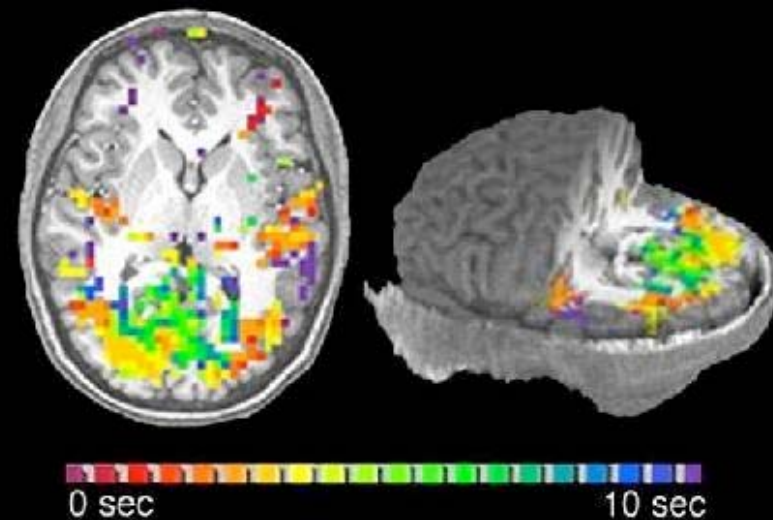


Qual è il campo di applicazione della fisica?

Un uomo?



La psiche di un uomo?

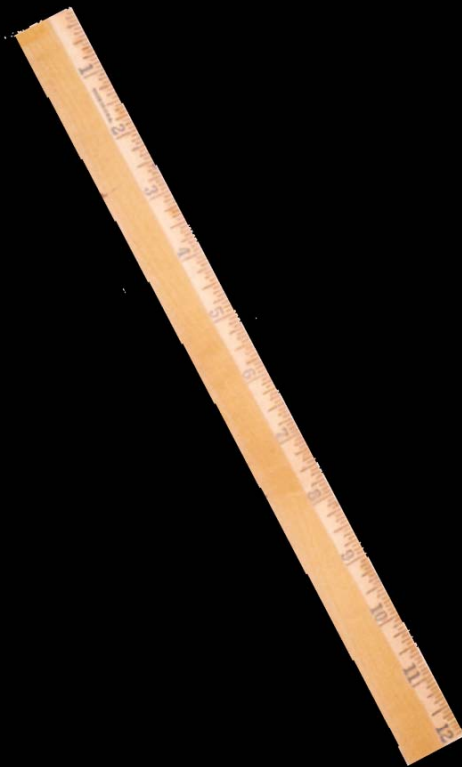


Servono definizioni *ostensive* o un sistema ben individuato (individuato senza margini di ambiguità)

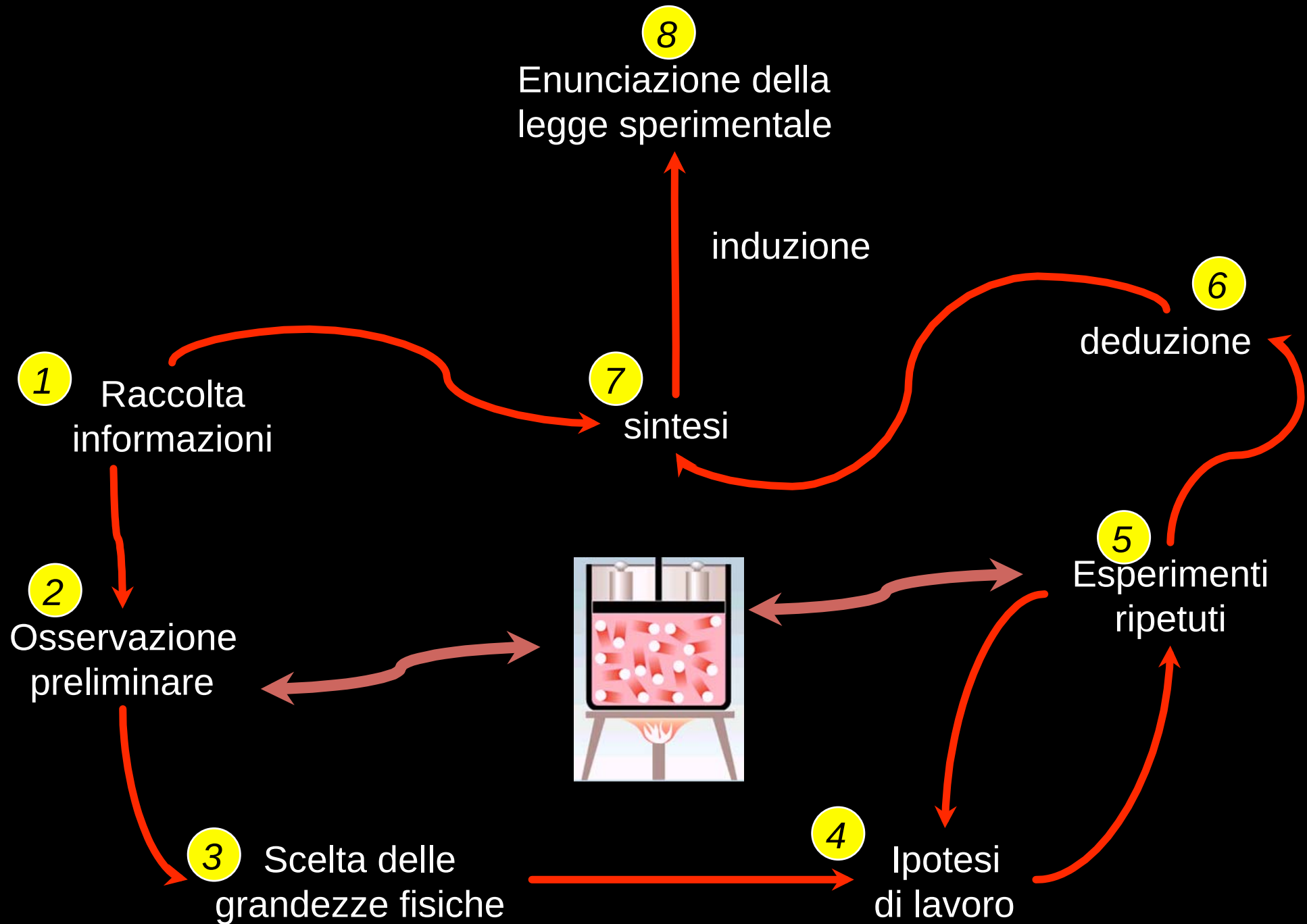


Su quali aspetti di un sistema si concentra l'indagine fisica?

Le grandezze fisiche sono arbitrarie e si scelgono in modo da caratterizzare il sistema che si vuole descrivere.



L'utilizzo di una grandezza fisica è condizionato dall'esistenza di uno strumento di misura in grado di determinarne i valori assunti





## Il metodo della scienza

Formalizzazione del linguaggio

matematica / teoria

Ricorso all'esperimento

laboratorio

Quantificazione delle osservazioni

misura

Ripetibilità dell'esperimento

evidenza

A historical black and white photograph of a city street, likely from the late 19th or early 20th century. The street is filled with numerous overhead power lines and poles, creating a dense web of wires. A trolley or tram is visible in the middle of the street, and several people are walking on the sidewalks. The buildings lining the street are multi-story and appear to be made of brick or stone. The overall scene depicts a busy urban environment during the industrial revolution.

Fine '800

**meccanica**

**termodinamica**

**elettromagnetismo**

**relatività**

1905

# Meccanica (classica)

Dove si trova?

Quando?

Come si sposta? È possibile predire il suo comportamento?



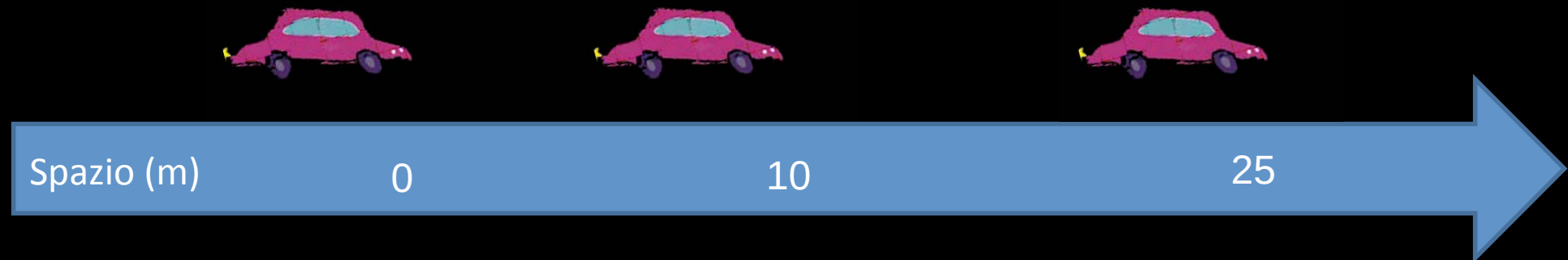
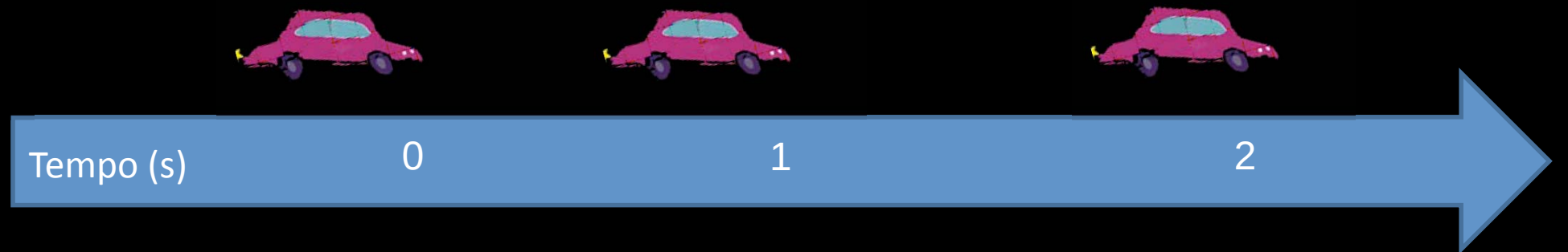
Tempo (s)

Spazio (m)





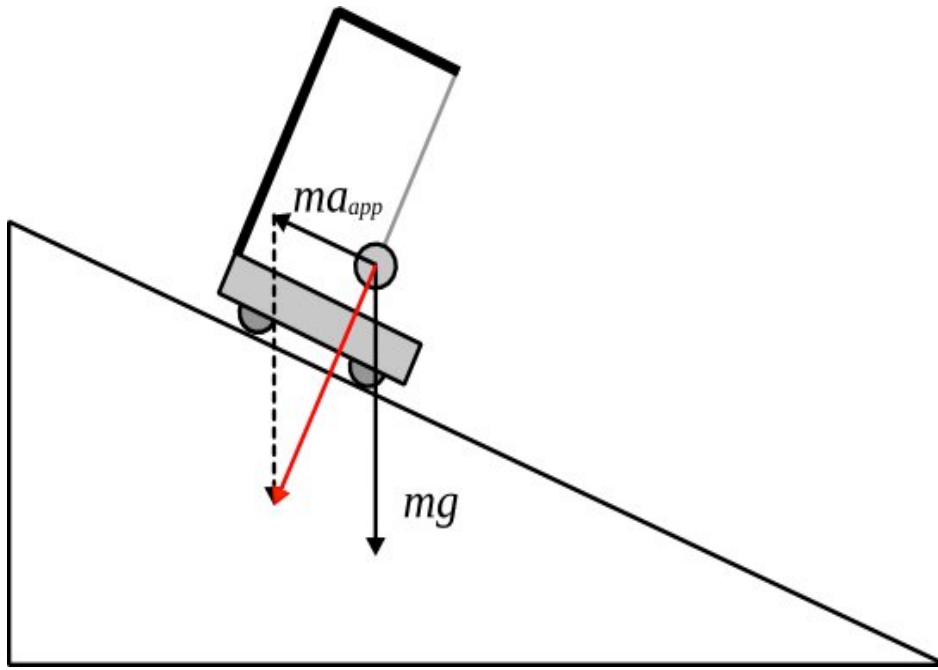
## Meccanica (classica)



↓  
velocità (m/s)

↓  
accelerazione (m/s<sup>2</sup>)

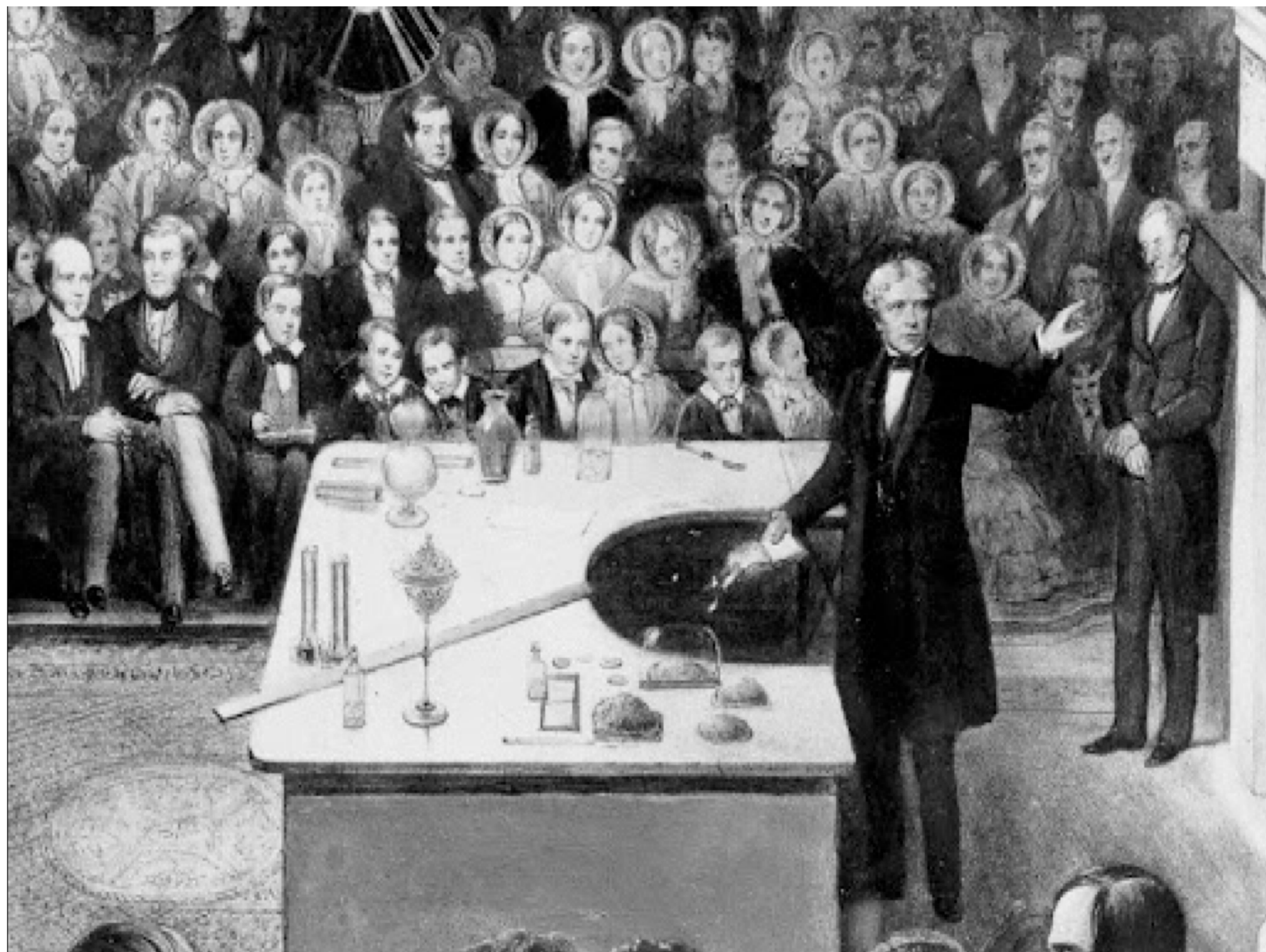
## Meccanica (classica)



Identificazione delle forze

Equazione del moto

Previsione dei risultati





# Elettromagnetismo (classico)



Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids

## Elettromagnetismo (classico)

la **lunghezza d'onda** è la distanza fra due creste consecutive.



la **FREQUENZA** è il numero di creste al secondo.

## Elettromagnetismo (classico)

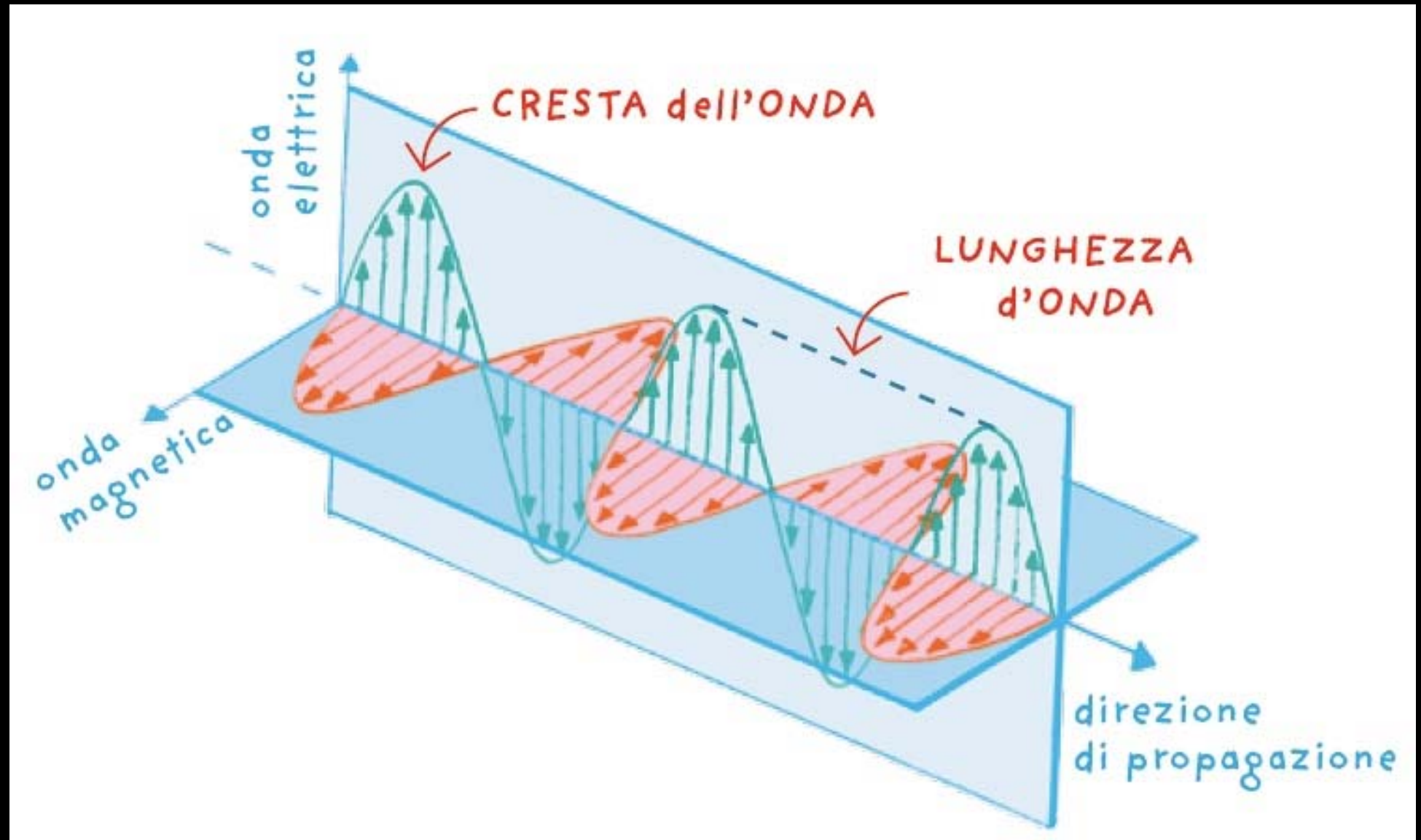
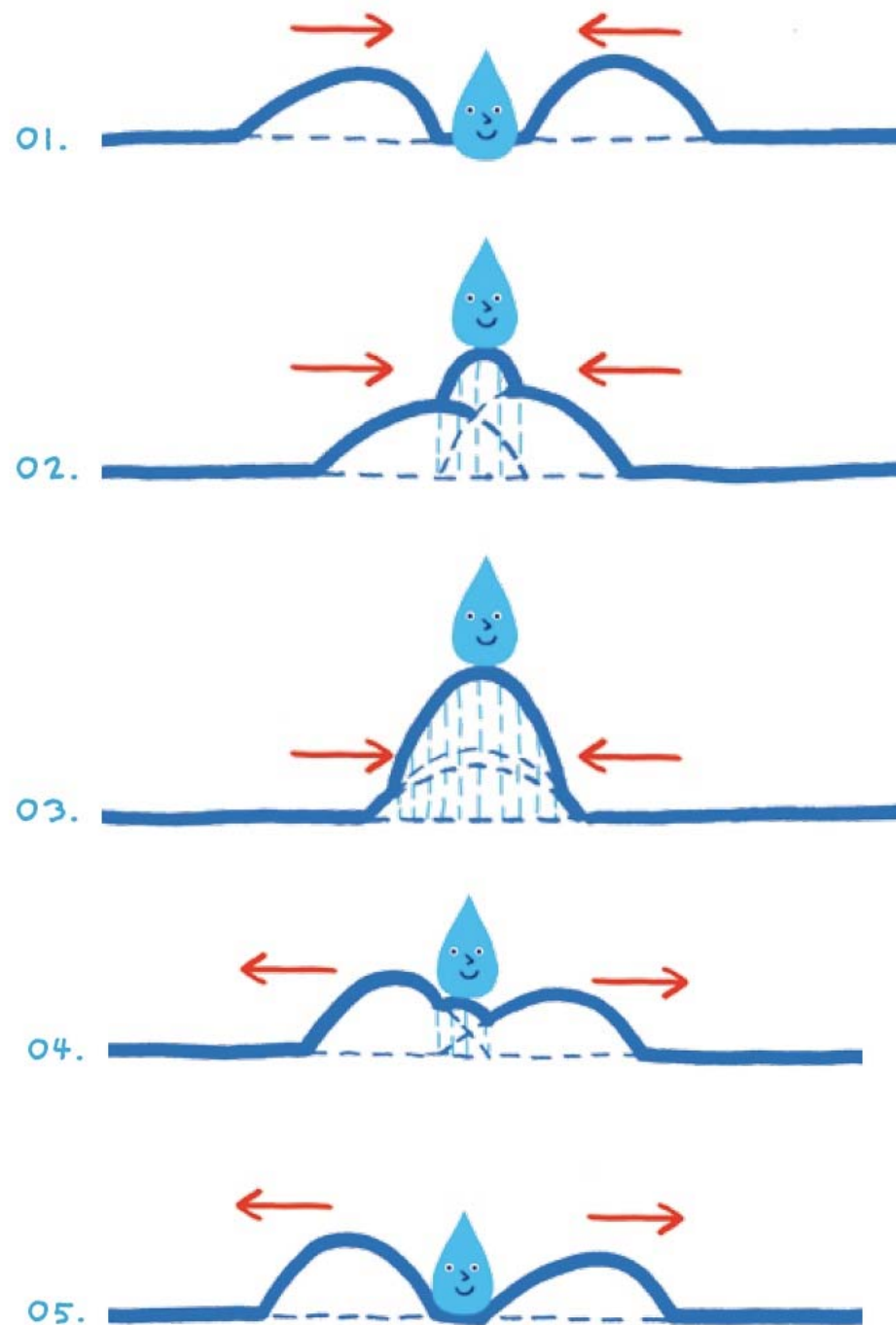


Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



# Il principio di sovrapposizione

Le onde si sommano punto per punto



# Che cosa è l'energia?

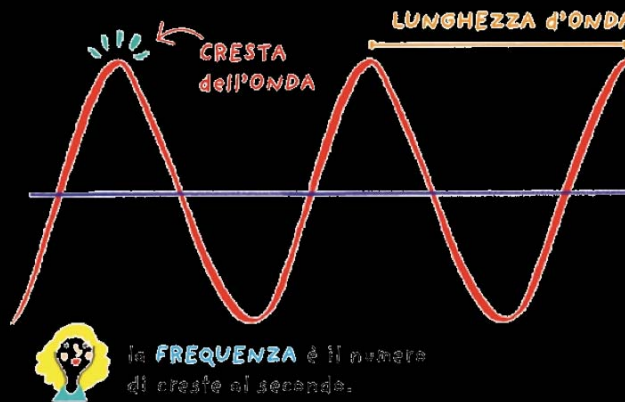
Energia cinetica



Massa

Velocità

Energia di un'onda



Volume

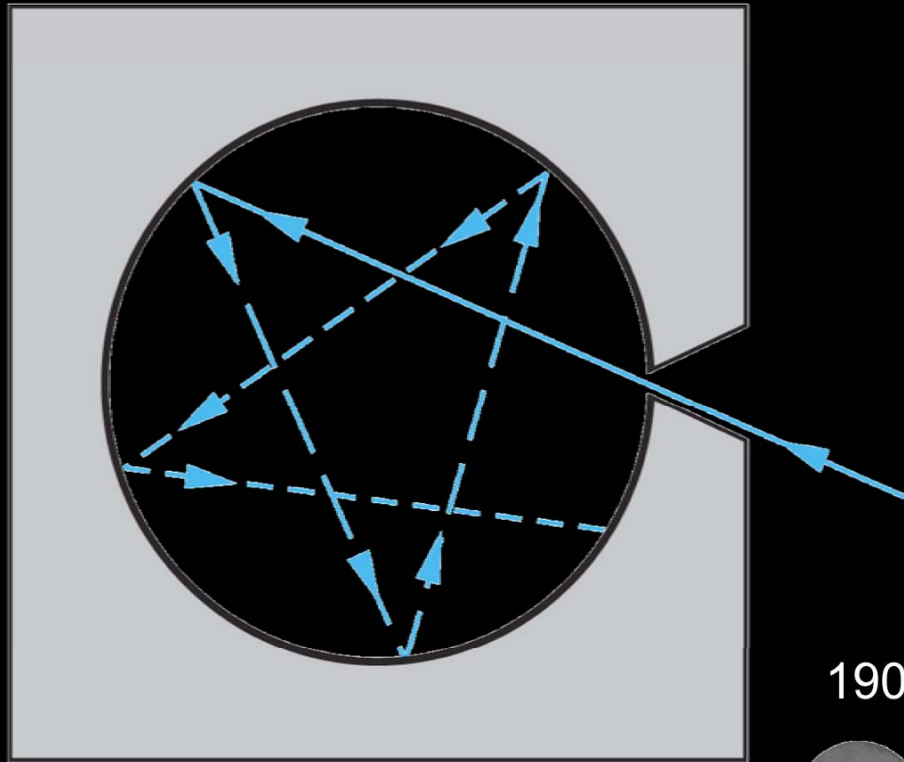
intensità



# La strana storia della luce



## L'energia del corpo nero



1879  
1884



$$R = \sigma T^4$$

1900



$$u(\lambda) = a \frac{T}{\lambda^4}$$

1900



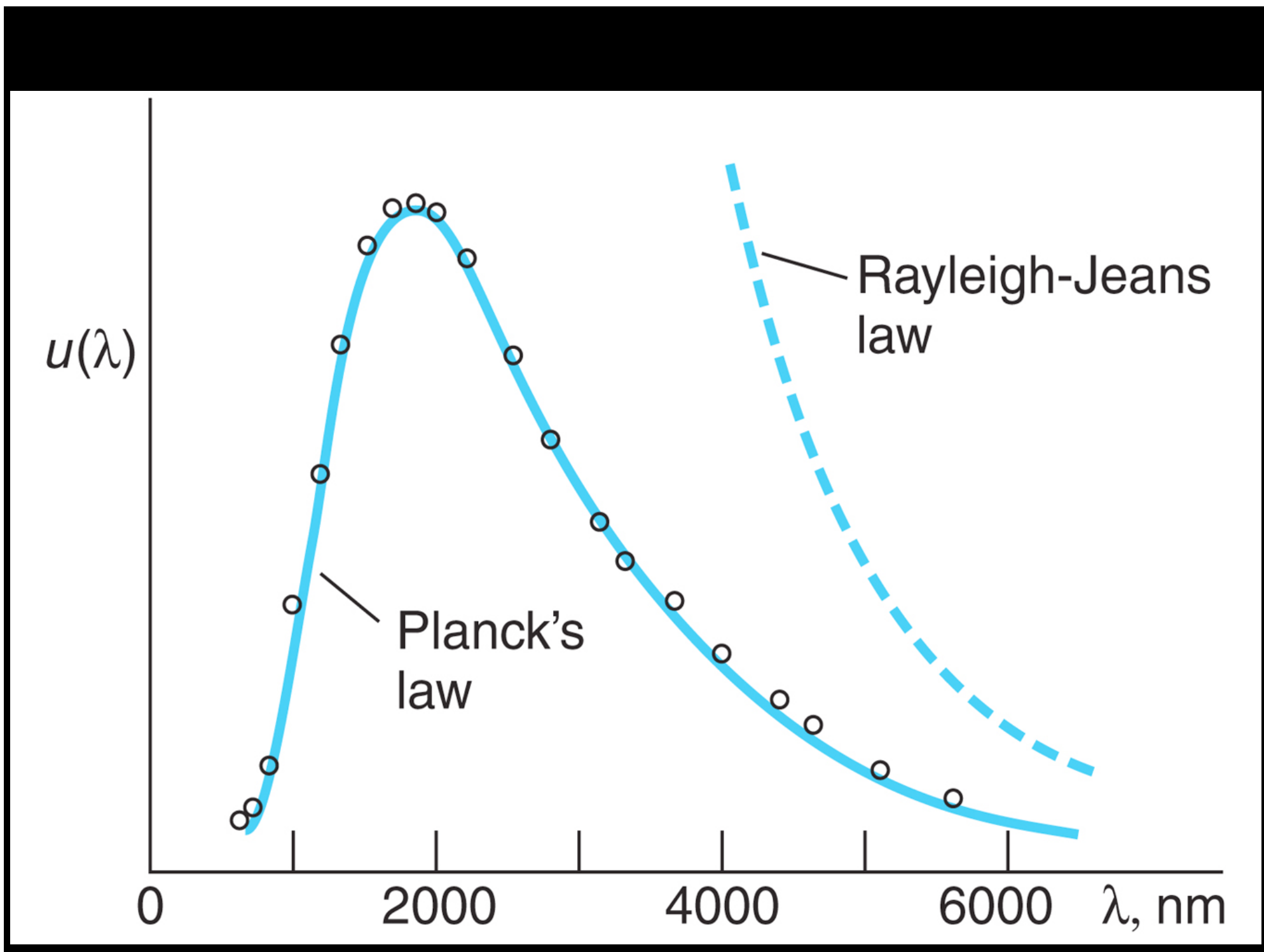
$$u(\lambda) = \frac{8\pi}{\lambda^4} \frac{hc / \lambda}{e^{hc / \lambda kT} - 1}$$

La costante di Planck

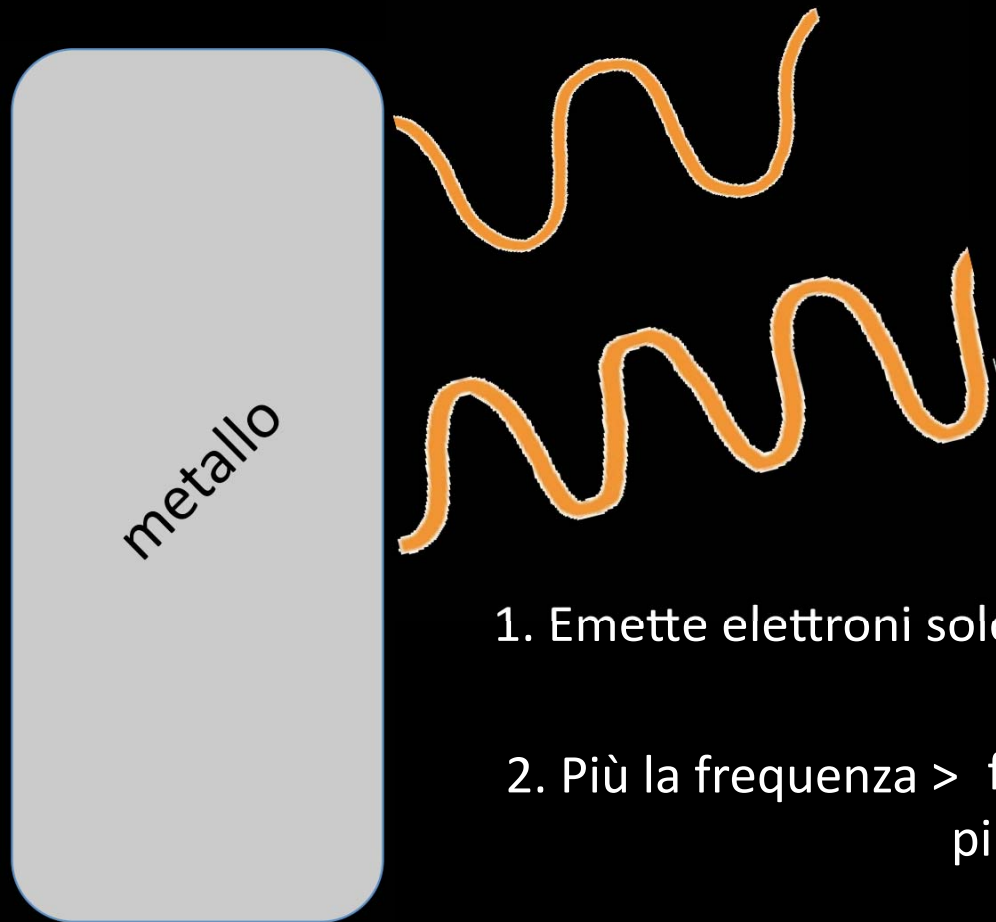
$h$

*Un atto di disperazione*

| Values of $h$                         | Units |
|---------------------------------------|-------|
| $6.626\ 069\ 57(29) \times 10^{-34}$  | J·s   |
| $4.135\ 667\ 516(91) \times 10^{-15}$ | eV·s  |
| $6.626\ 069\ 57(29) \times 10^{-27}$  | erg·s |
| Values of $\hbar$                     | Units |
| $1.054\ 571\ 726(47) \times 10^{-34}$ | J·s   |
| $6.582\ 119\ 28(15) \times 10^{-16}$  | eV·s  |
| $1.054\ 571\ 726(47) \times 10^{-27}$ | erg·s |



## Uno strano fenomeno. L'effetto fotoelettrico



Becquerel, 1839

Hertz, 1887

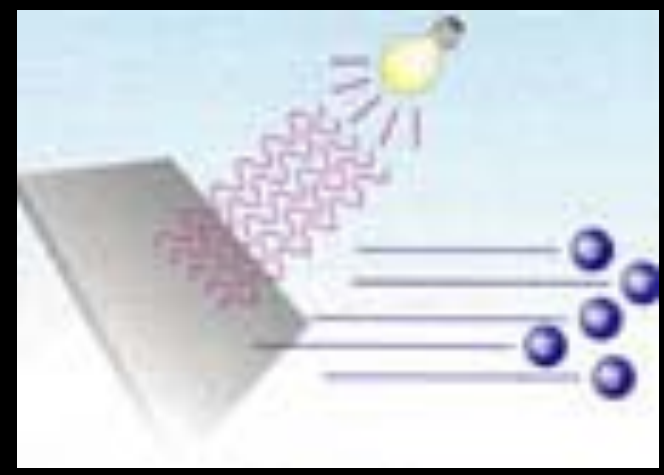
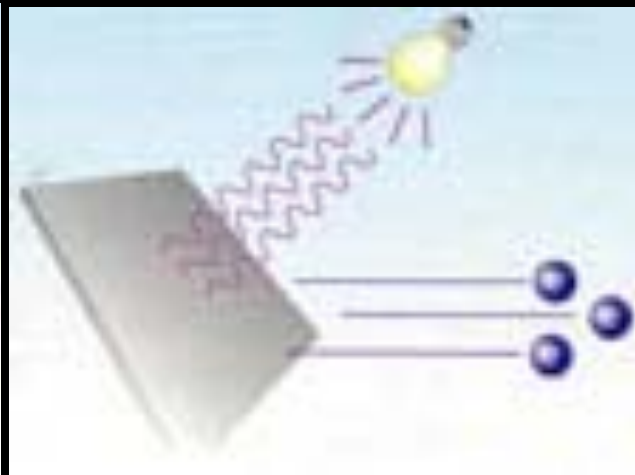
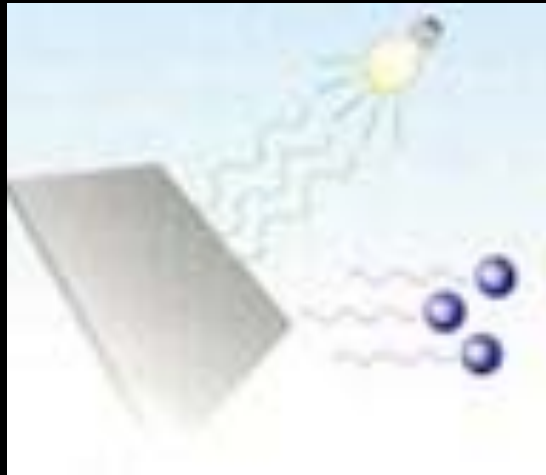
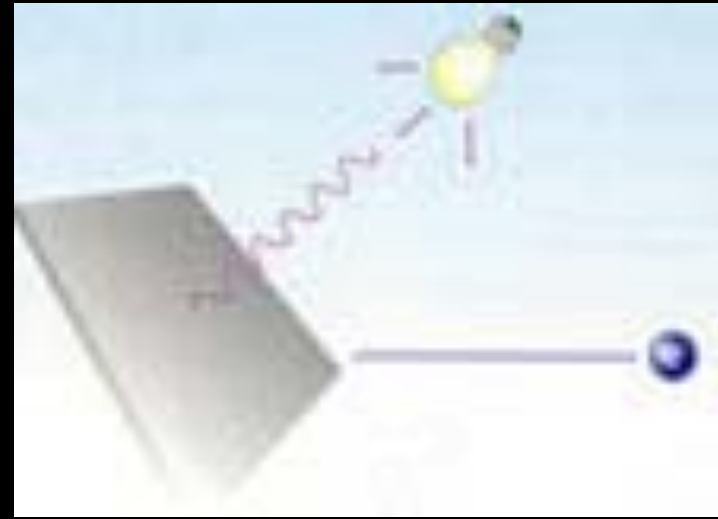
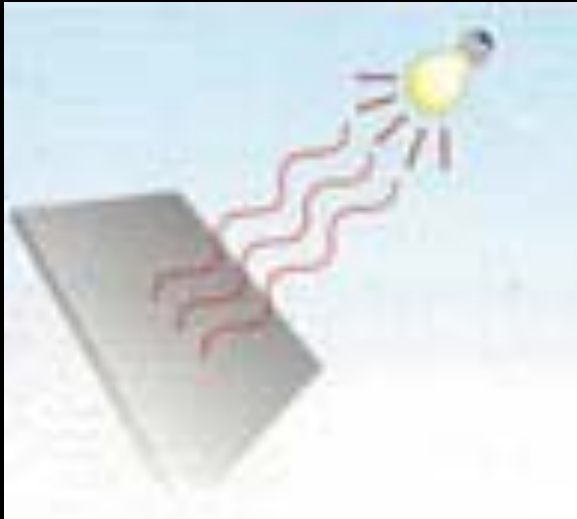
Lenard, 1900

Einstein, 1905

1. Emette elettroni solo se la frequenza  $>$  frequenza di soglia
2. Più la frequenza  $>$  frequenza di soglia,  
più gli elettroni emessi  
sono veloci
3. Il numero degli elettroni emessi dipende dalla intensità



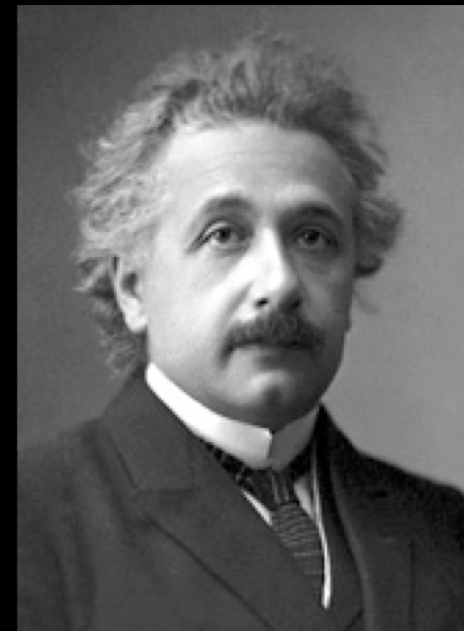
## Uno strano fenomeno. L'effetto fotoelettrico



## Uno strano fenomeno. L'effetto fotoelettrico



1905



Premio Nobel 1921







# Che cosa è la luce?

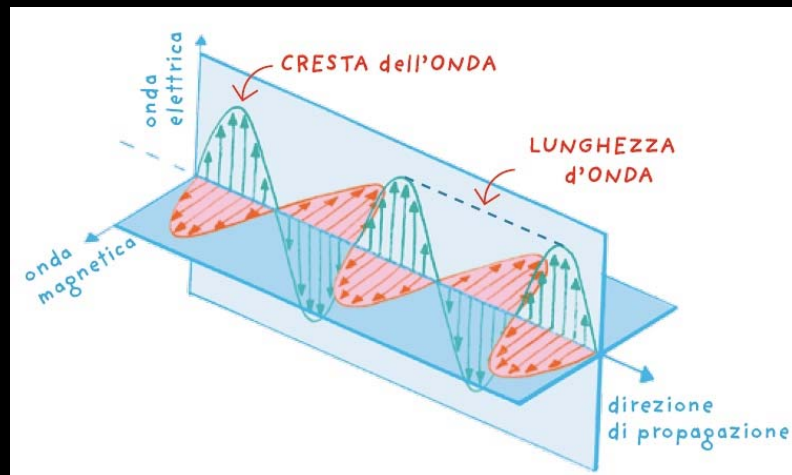
a.



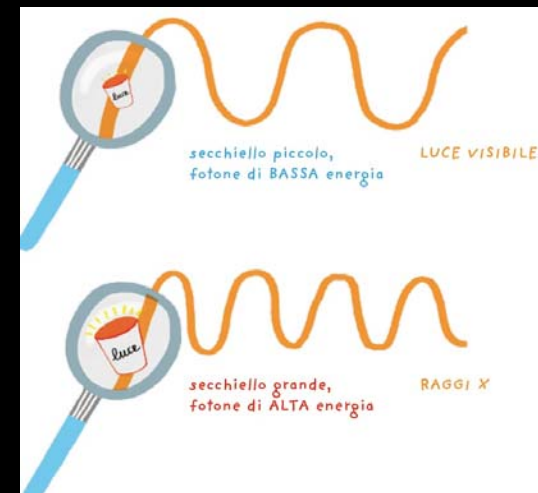
b.



c.



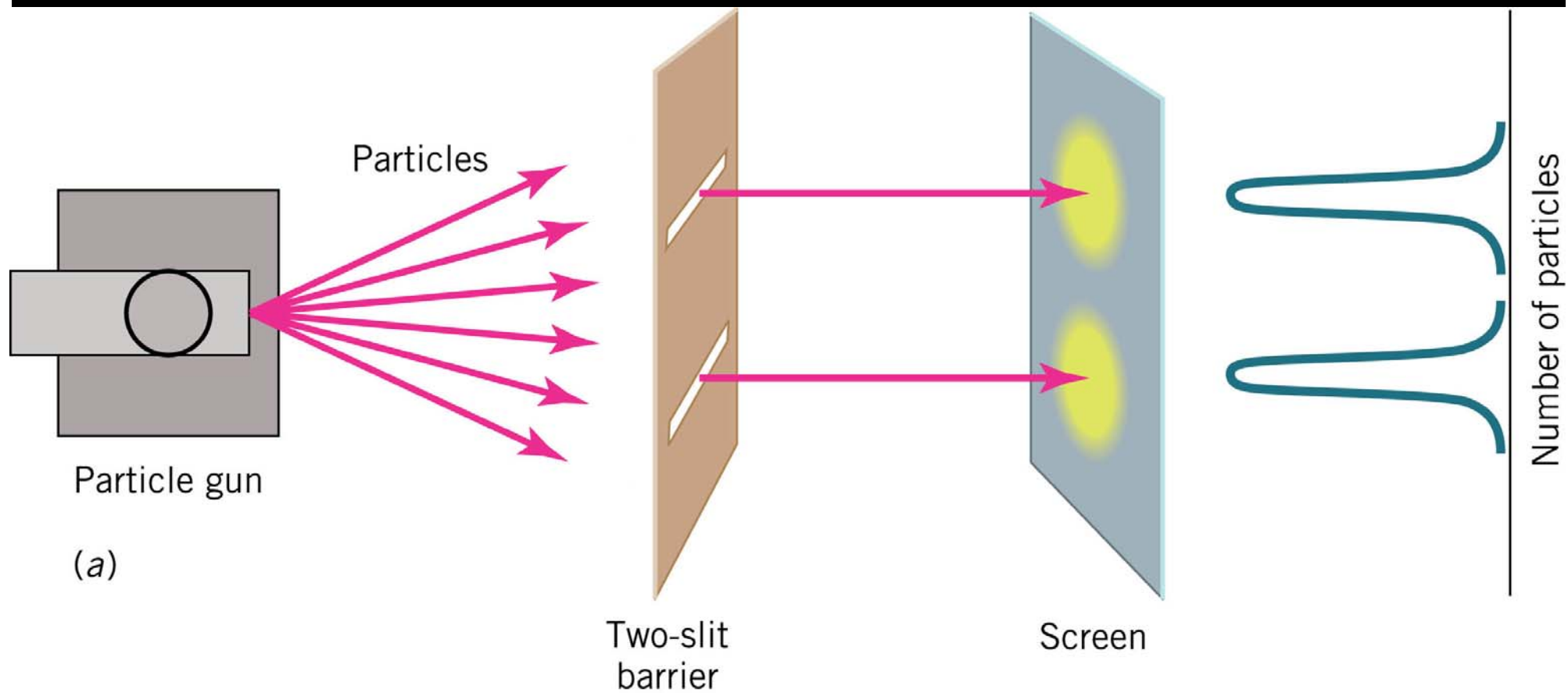
d.



## Esperimento della doppia fenditura



Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



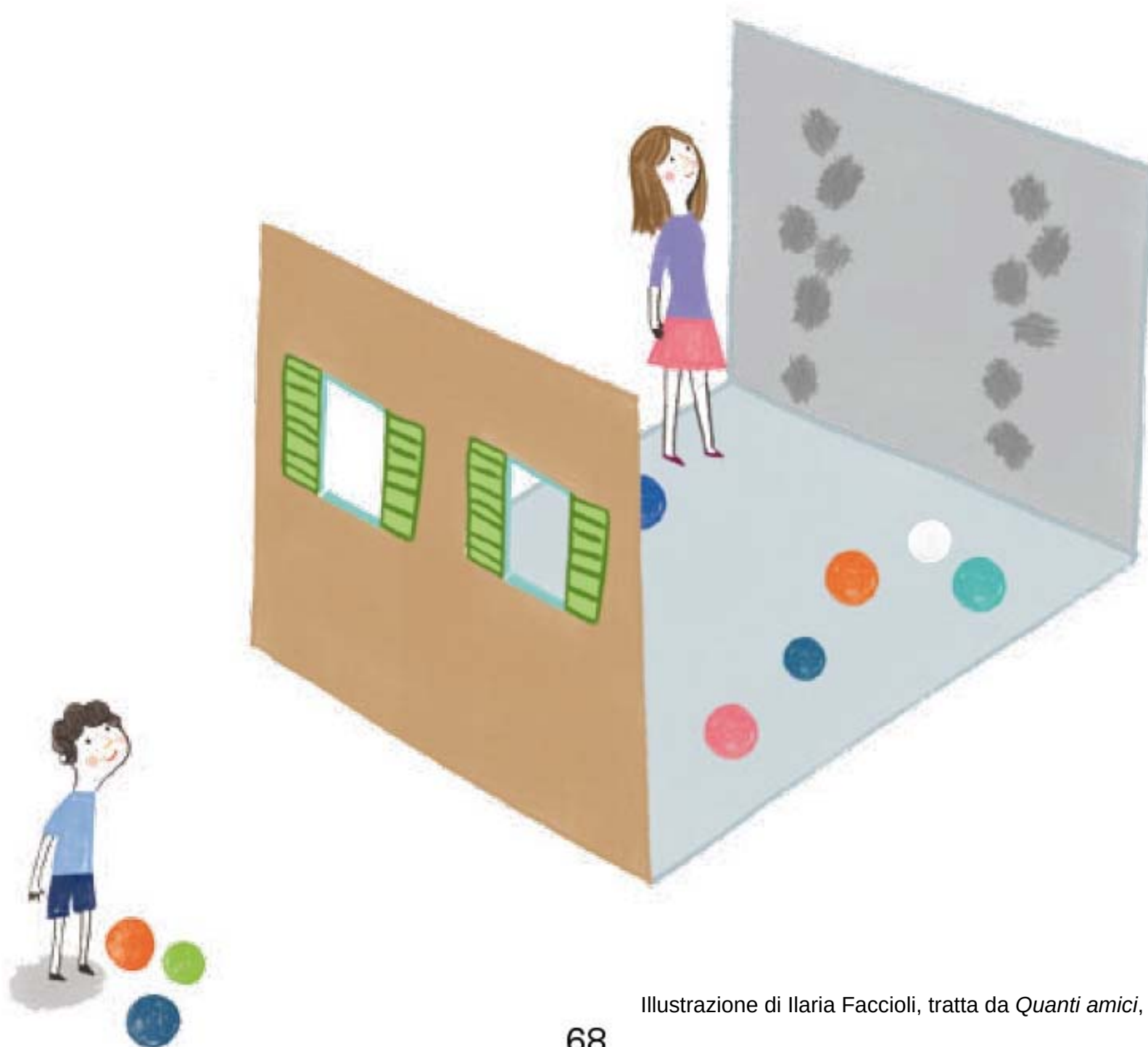
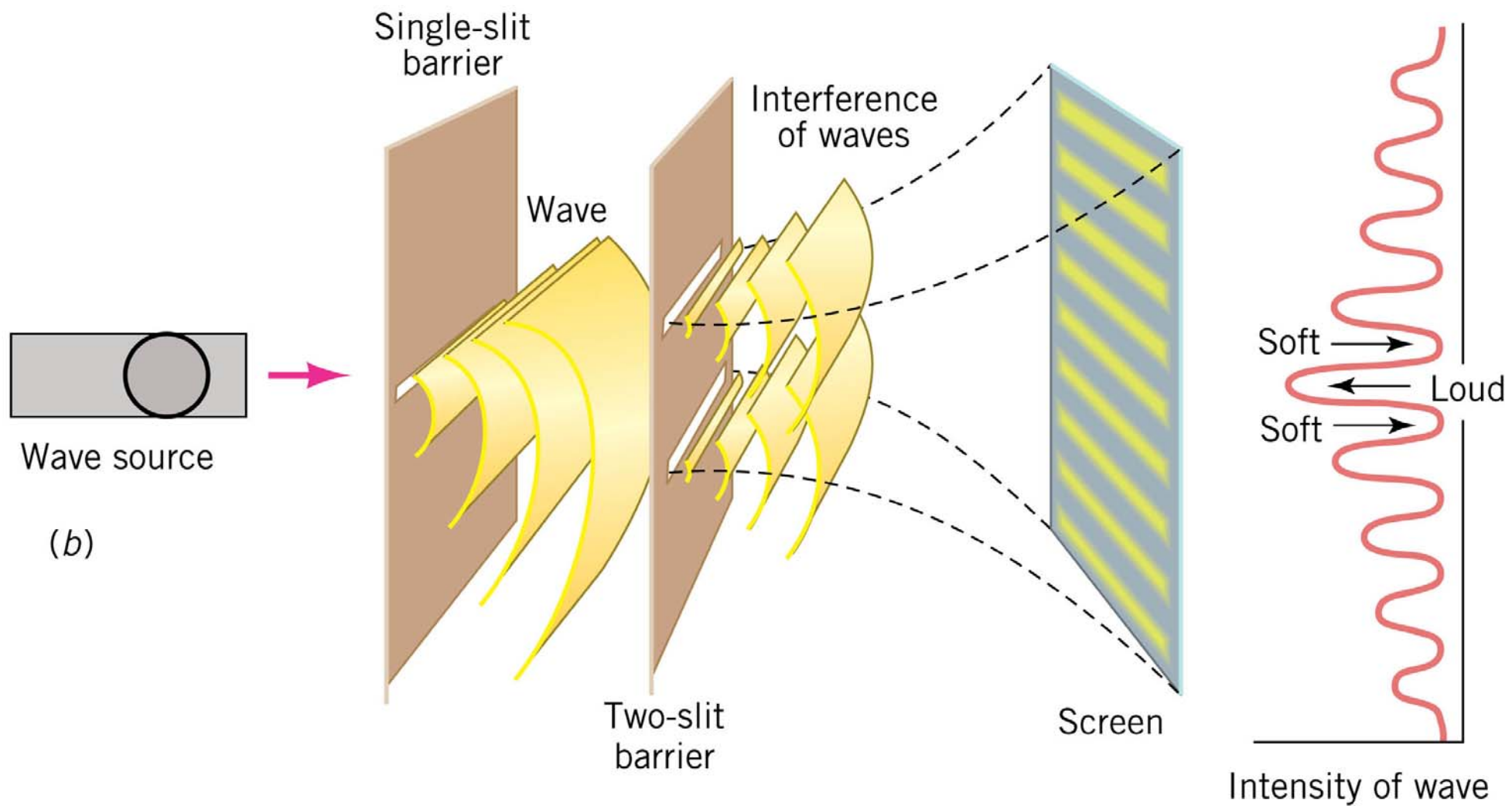


Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids





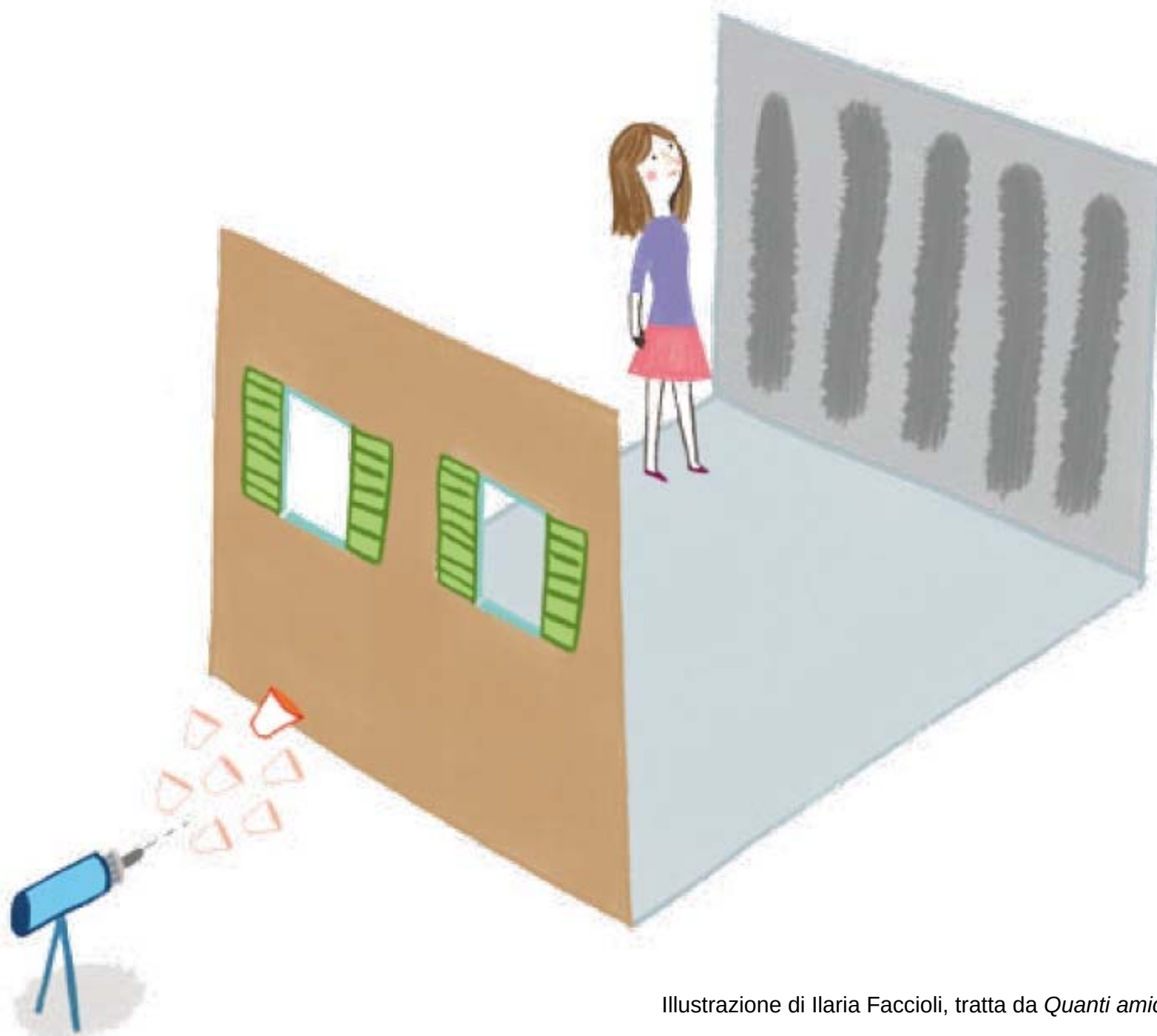
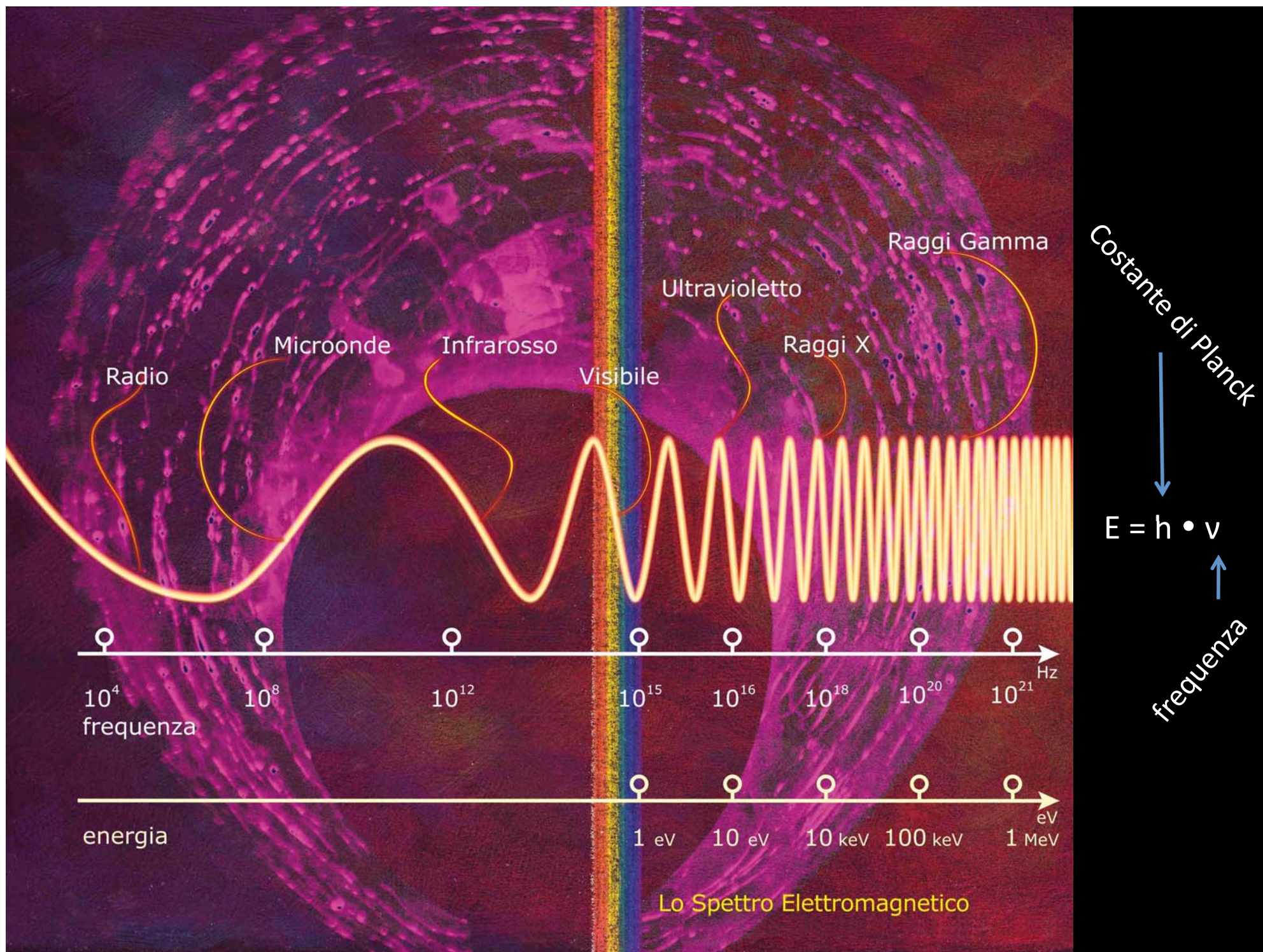


Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



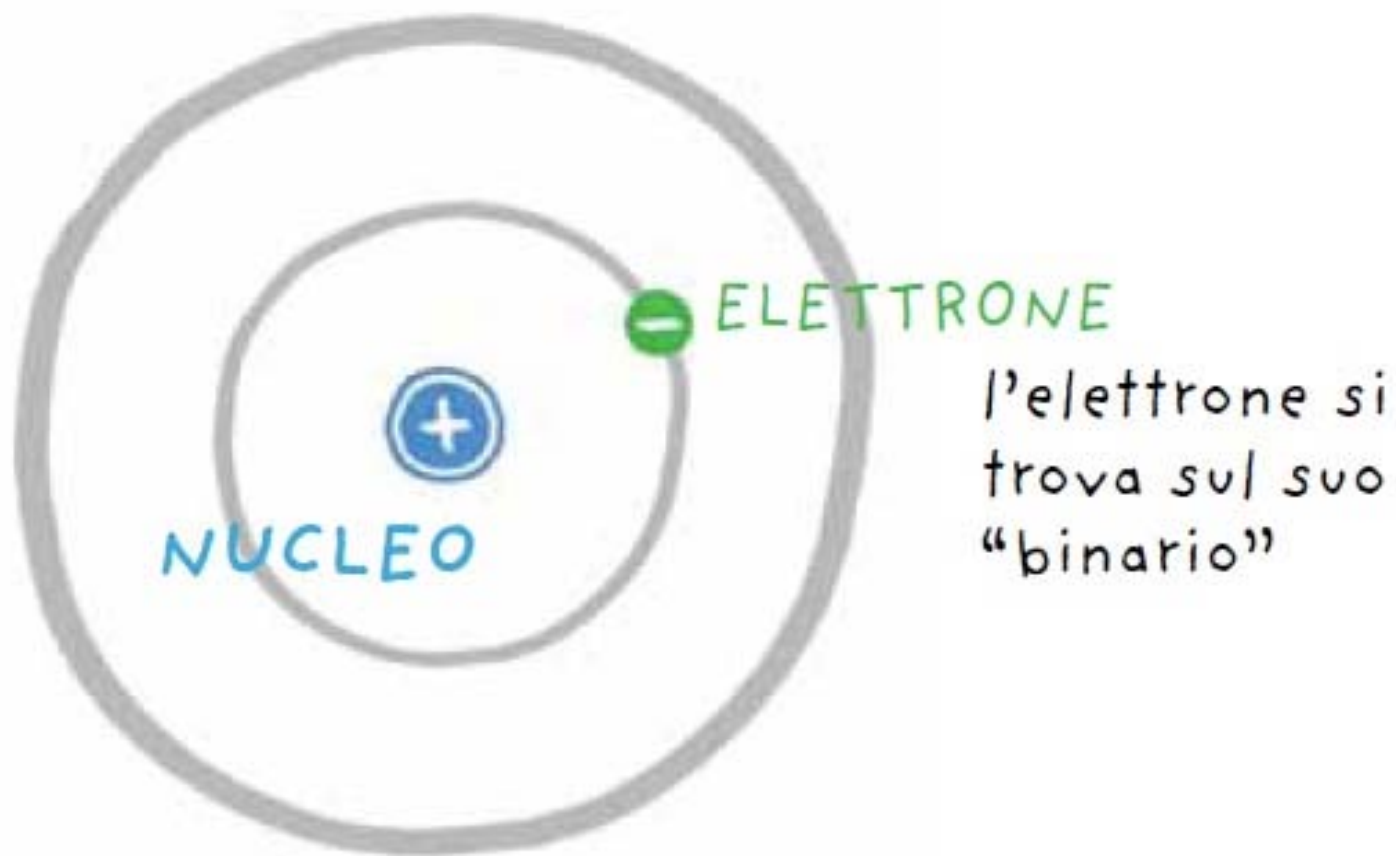


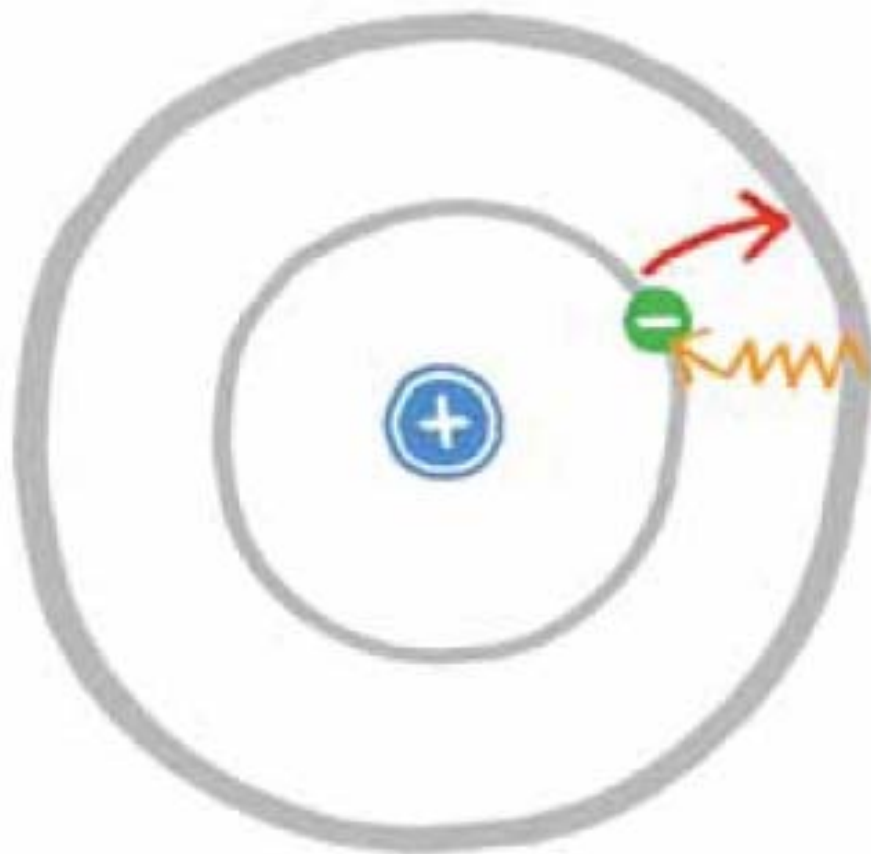




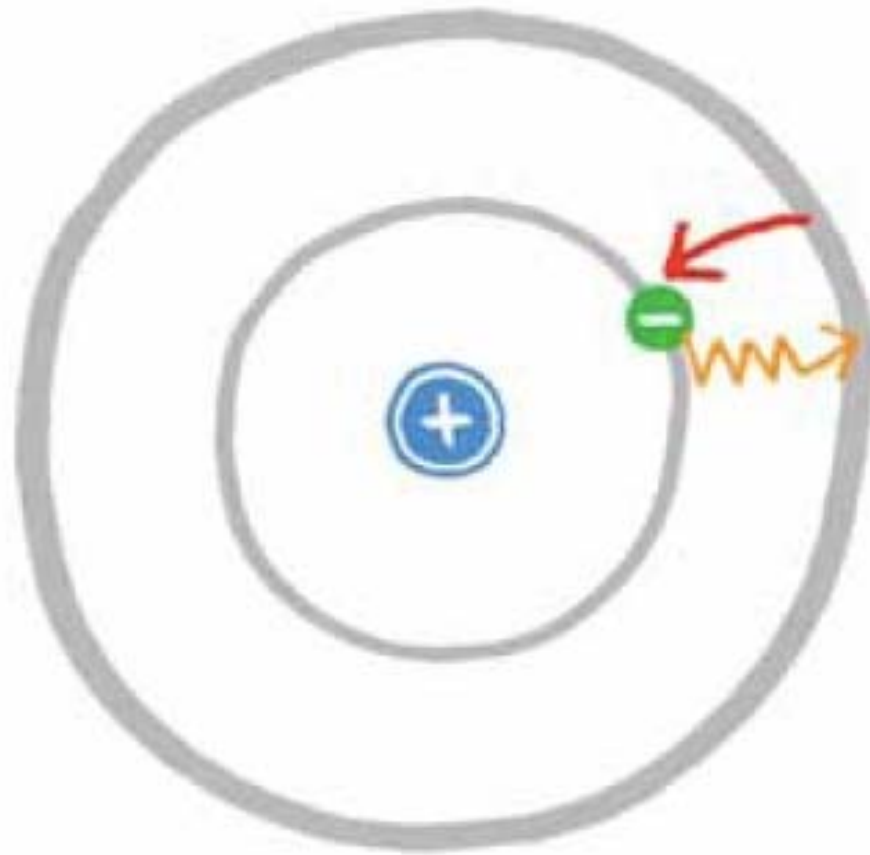


(ATOMO DI IDROGENO)





l'elettrone assorbe  
l'energia del FOTONE  
e fa il SALTO  
ENERGETICO



l'elettrone torna  
sul suo "binario" e  
facendolo restituisce  
l'energia del FOTONE



l'elettrone di un atomo fa  
un SALTO ENERGETICO!

e quando torna indietro  
restituisce ENERGIA  
sotto forma di LUCE!





# La strana storia dell'elettrone

*L'interferenza degli elettroni*

Video visibile su questo sito

<http://www.youtube.com/watch?v=7z-fZfgubWg>



De Broglie, 1923-24

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$



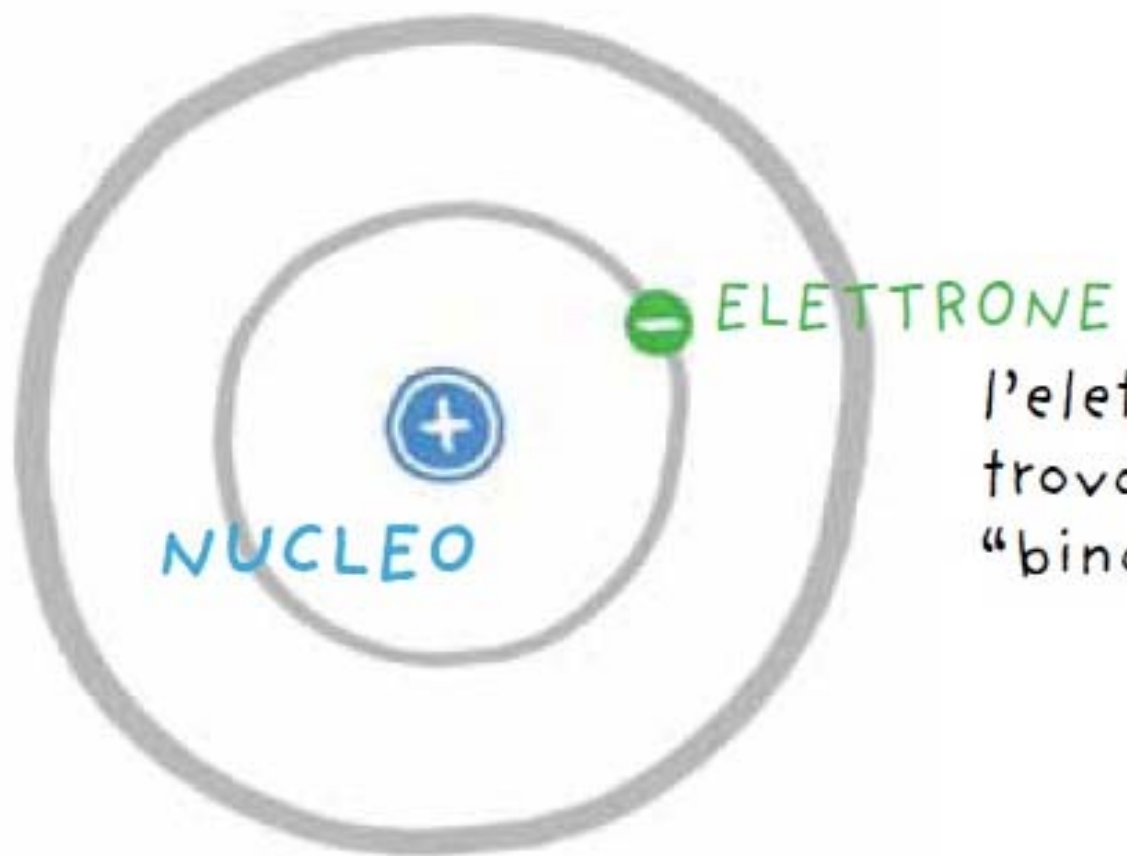
Schroedinger, 1926

$$i \hbar \psi = H \psi$$

A photograph of a person's back, showing a large tattoo of the Schrödinger equation. The person has dark hair and is wearing a light-colored top. The tattoo is in black ink and is oriented horizontally across the upper back. The equation is written as 
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

(ATOMO DI IDROGENO)



l'elettrone si  
trova sul suo  
"binario"

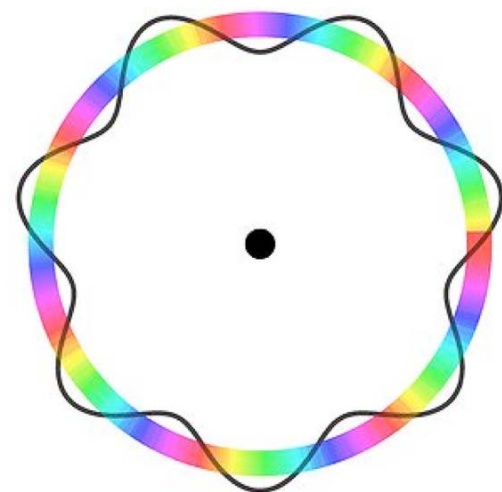
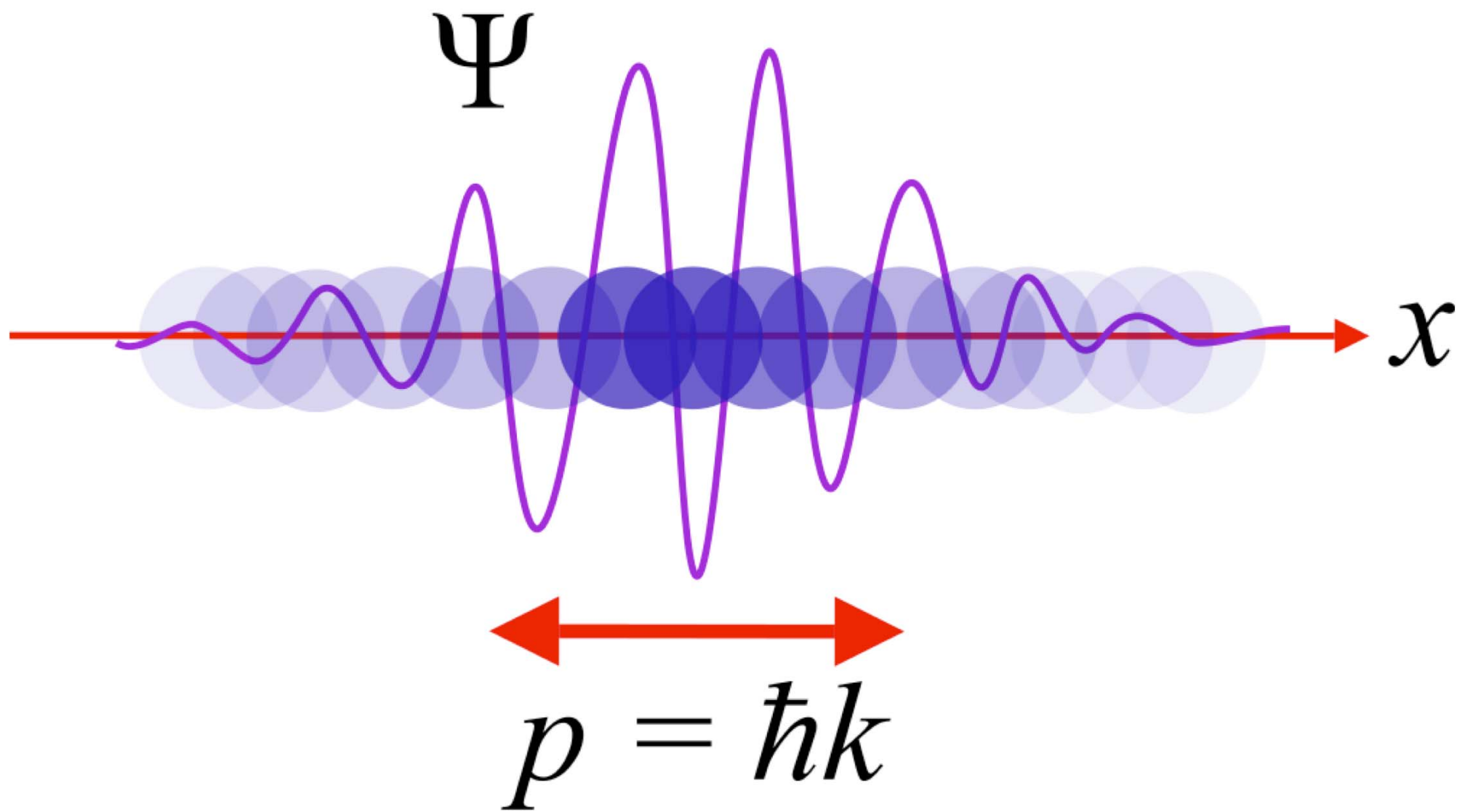


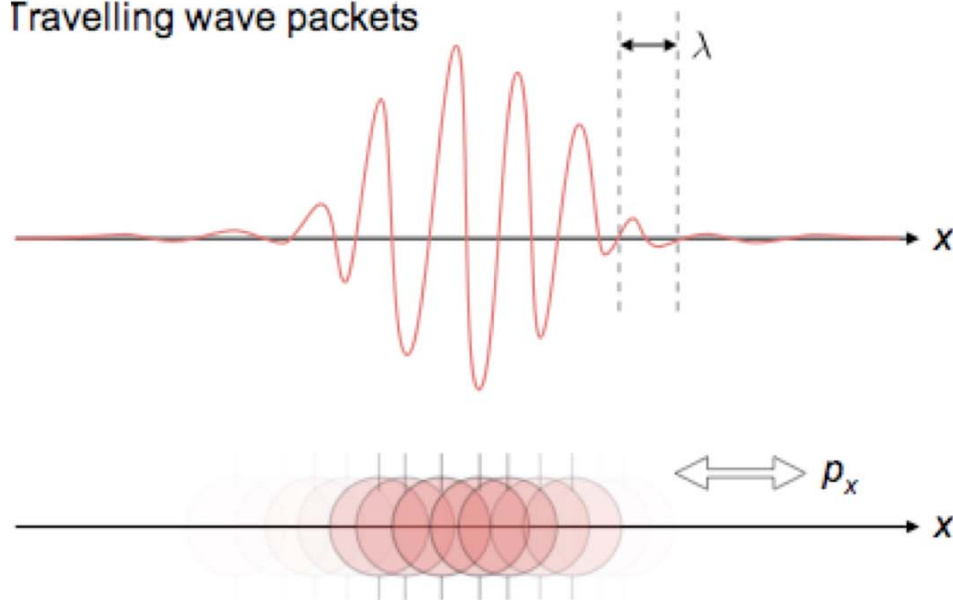
Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



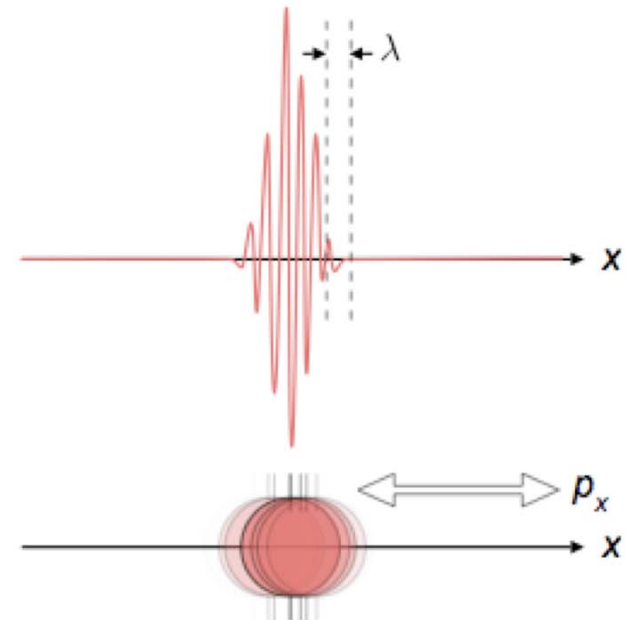


## Lower localization

### Travelling wave packets



## Higher localization



### Travelling wave pulses

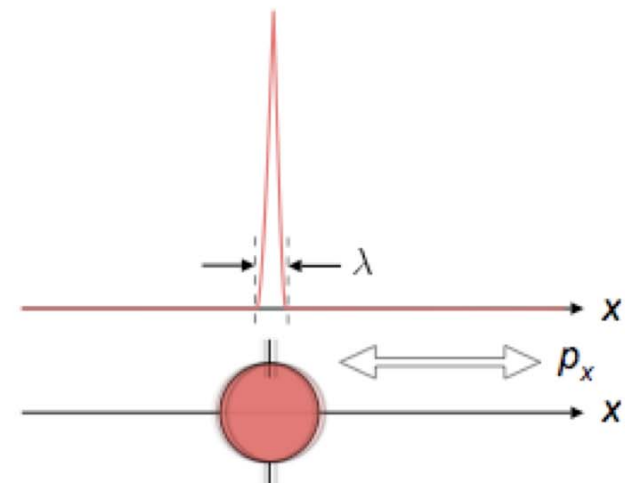
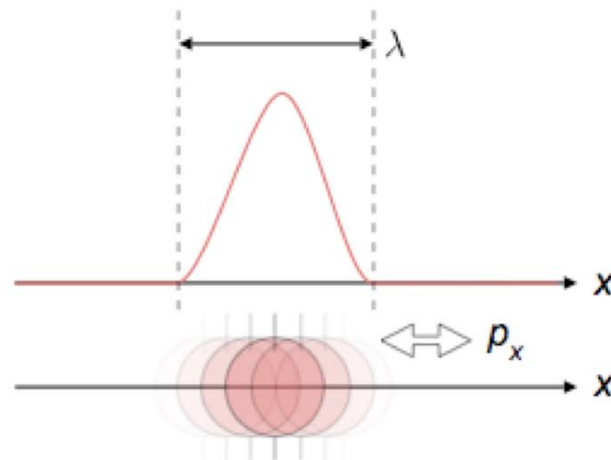
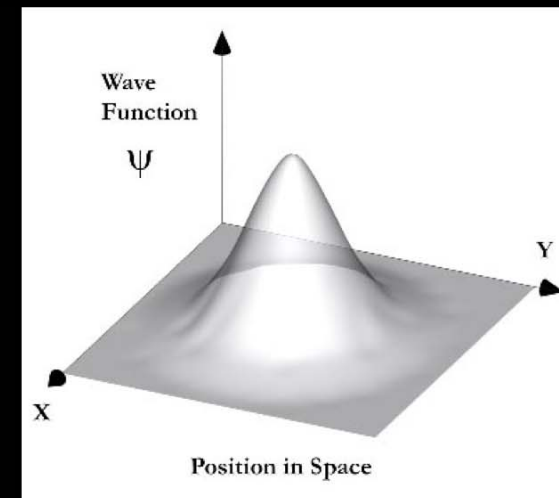
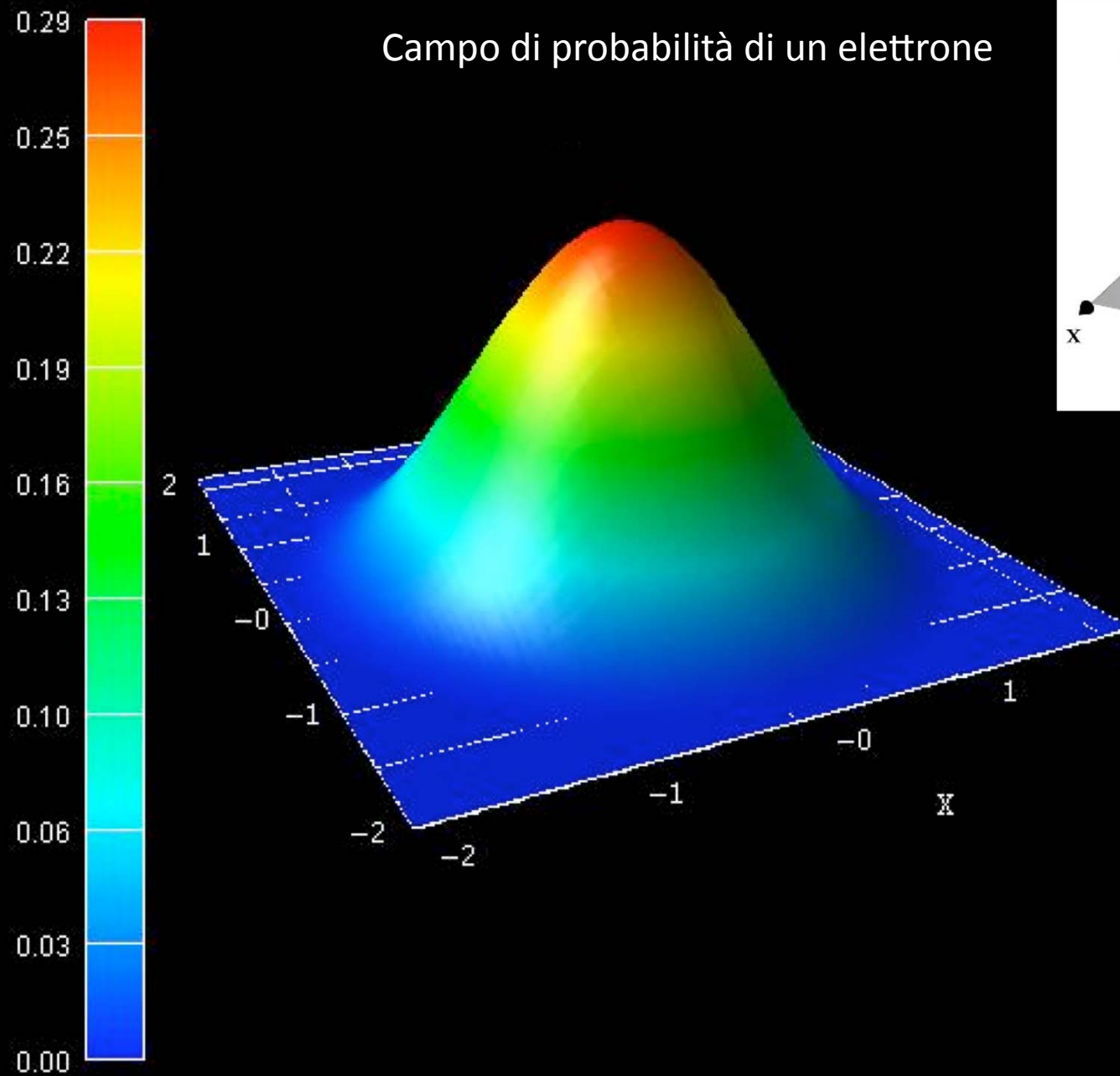




Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids

# Campo di probabilità di un elettrone





Werner Karl Heisenberg  
1901-1976

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Il principio  
di indeterminazione







## Il topo Amleto

Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids

## *Il gatto di Schrödinger*



Erwin Schrödinger

paradosso del gatto chiuso in una scatola

il gatto è in una sovrapposizione coerente di due stati

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

$|0\rangle$  = gatto morto

$|1\rangle$  = gatto vivo

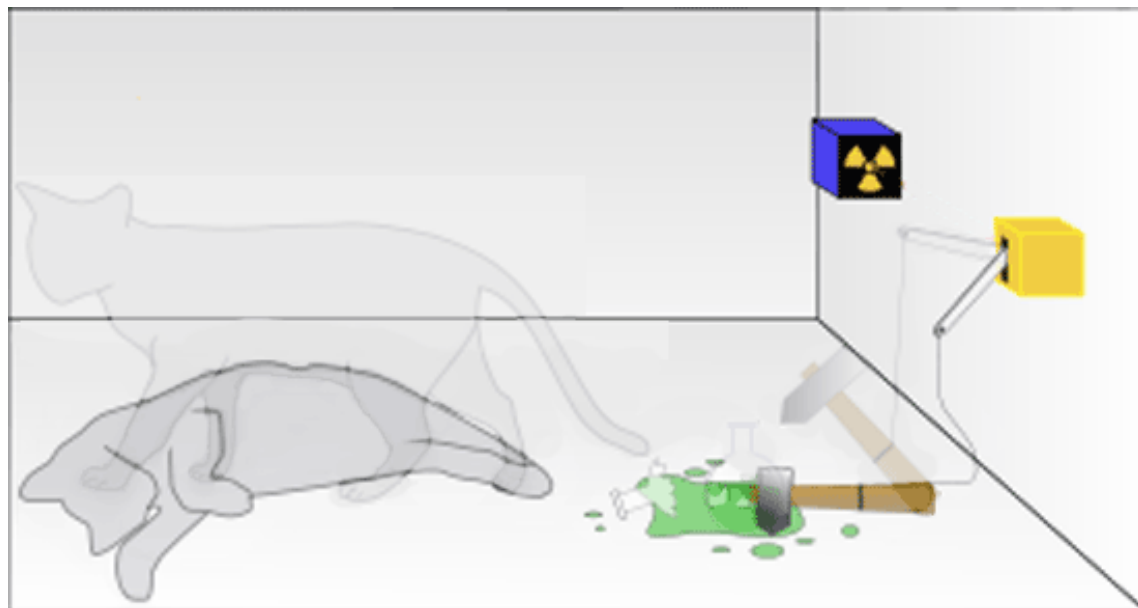




Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids

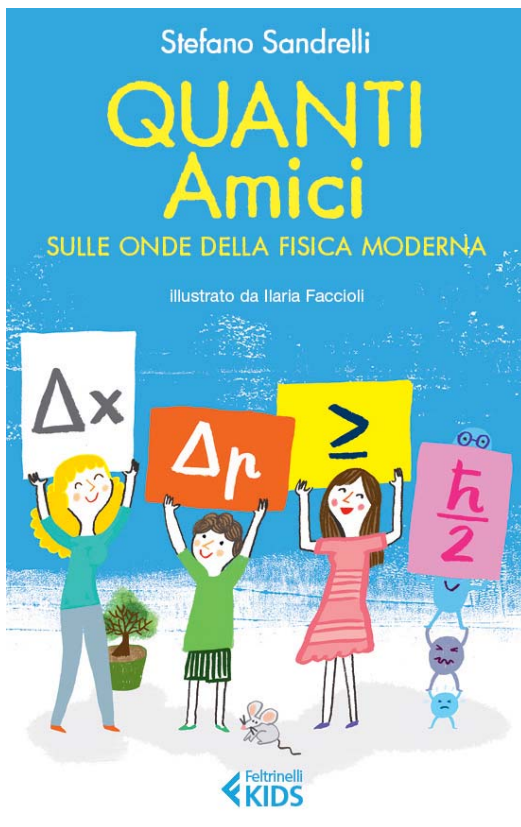




Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



Illustrazione di Ilaria Faccioli, tratta da *Quanti amici*, Feltrinelli kids



## Mini-bibliografia

Piccola Biblioteca 450

*Richard P. Feynman*

SEI PEZZI FACILI



ADELPHI







## Un'idea di Felix

