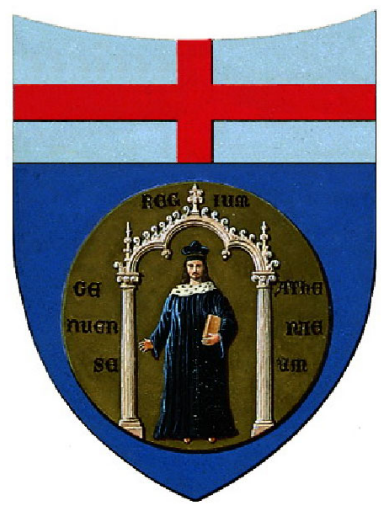


International Cosmic Day 2023

Rivelatori & segnali



Anna Marini, ICD, 13/11/2025

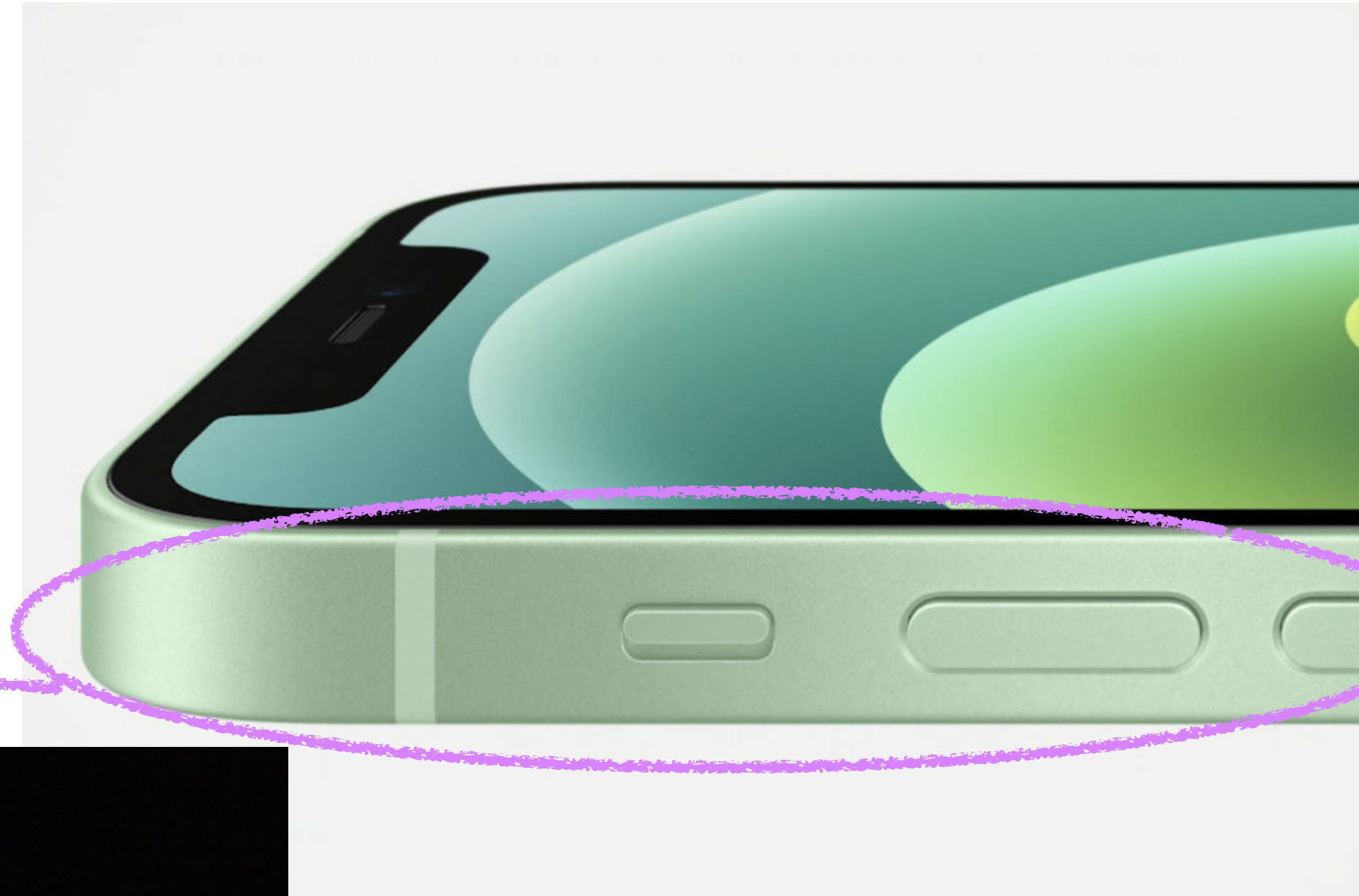
Di cosa è fatto?

Uno sguardo alla materia



Fe-C

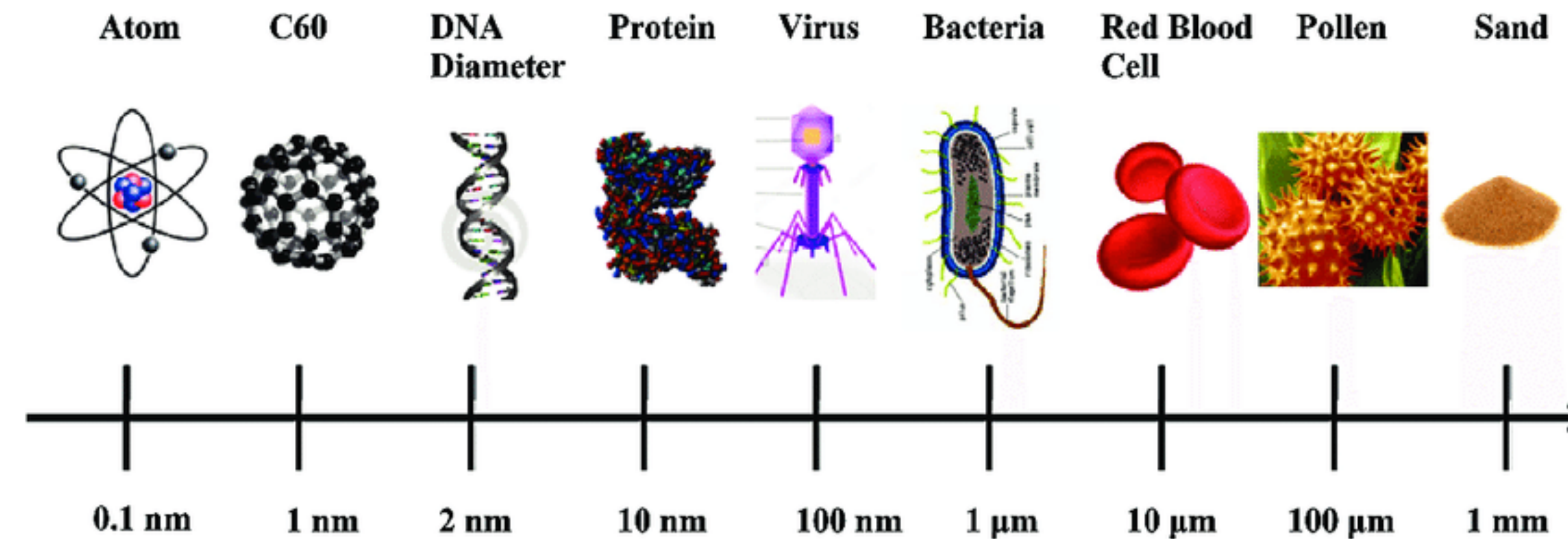
Al



Plastica

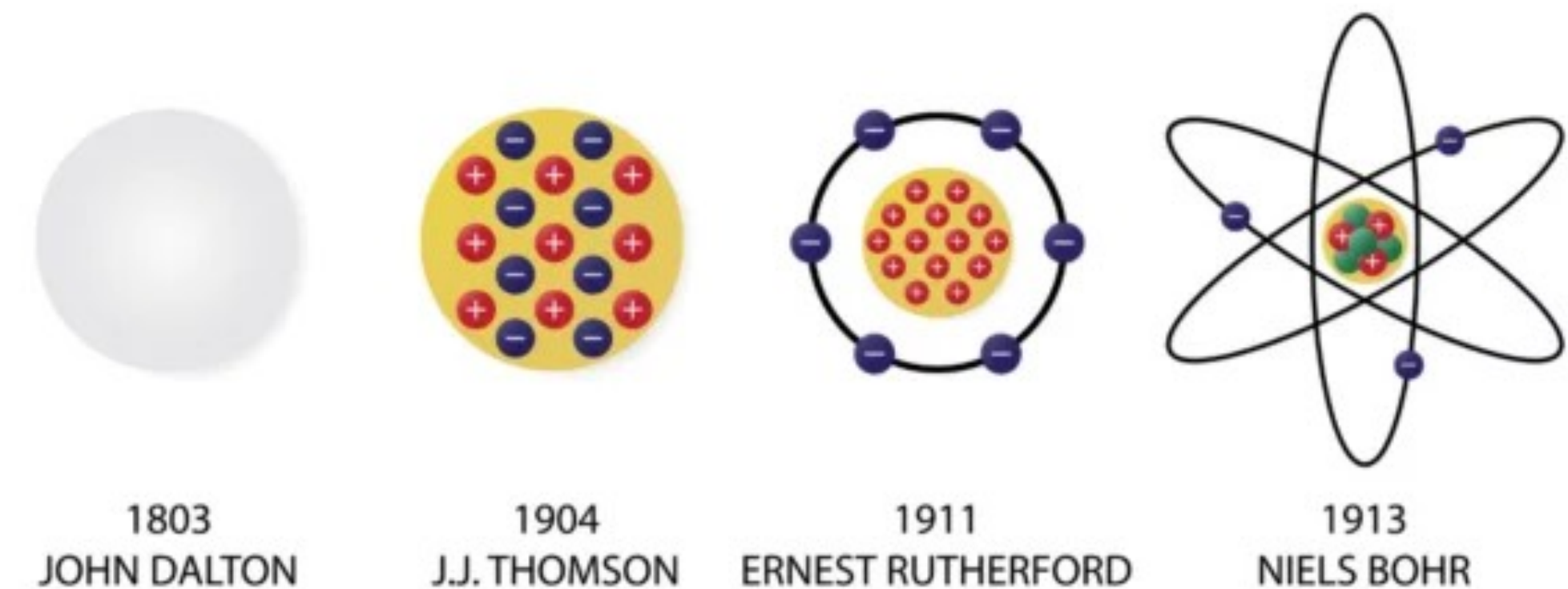
Di cosa è fatto?

- Tutto ciò che ci circonda è fatto di determinati materiali
- A loro volta questi sono formati da molecole
- Le molecole sono formate da atomi, in varie combinazioni tra loro, e legati secondo determinate regole (legame covalente, ionico, metallico...)



Modelli atomici

- Atomo = α + τέμνω.
- Letteralmente: indivisibile
- Il primo a parlare di atomi è stato Democrito (400 a.C.), che aveva ipotizzando un costituente elementare della materia, chiamandolo appunto atomo.



L'atomo è la
particella
elementare

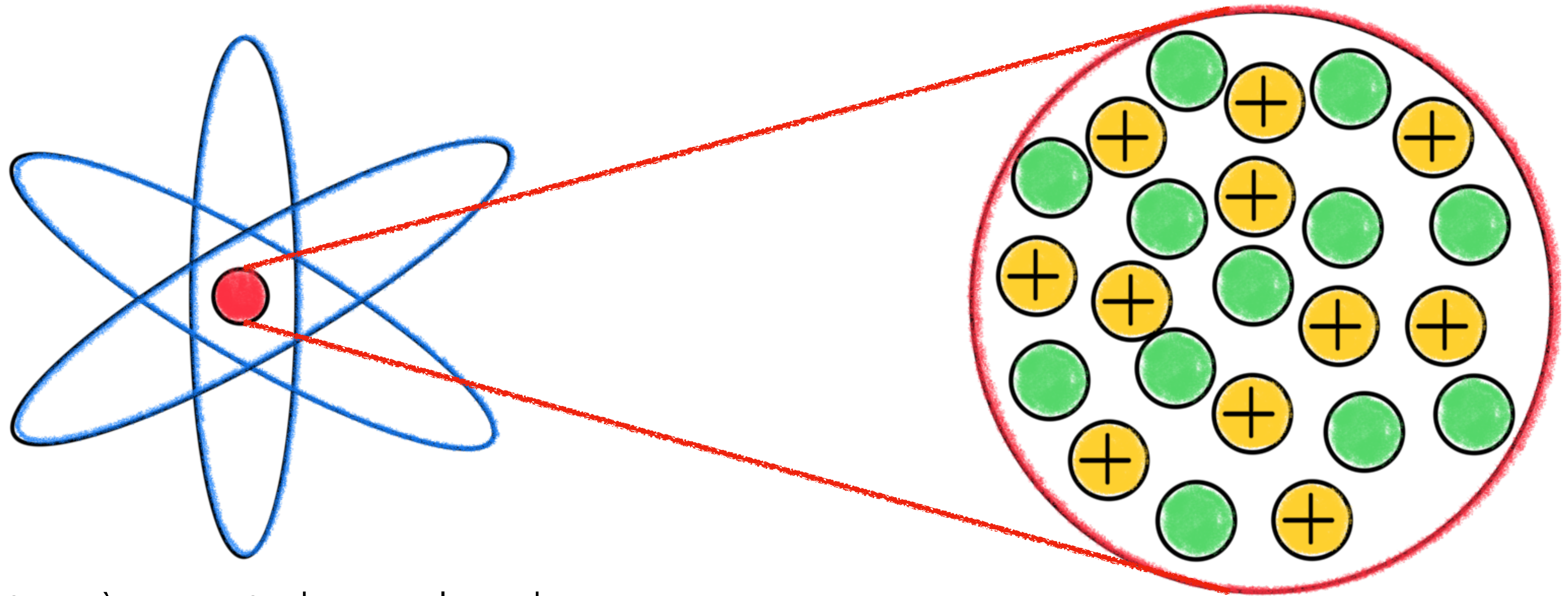
Modello "a
panettone"

Gli elettroni
stanno
fuori dal
nucleo

Gli elettroni si
muovono intorno
al nucleo secondo
orbite definite

... + Schrödinger

Finalmente...!



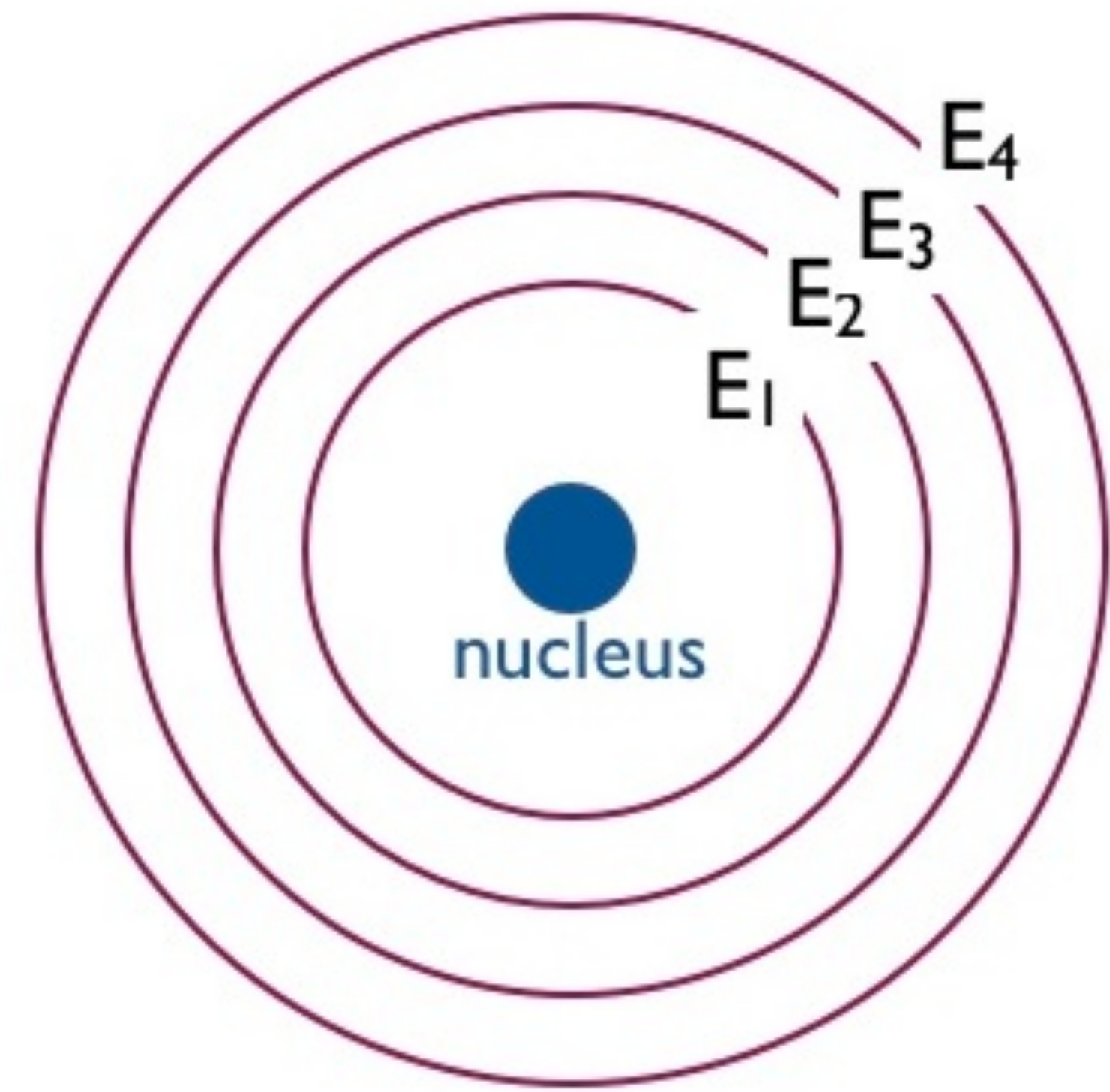
L'atomo è composto da un nucleo e da elettroni.

Gli elettroni si muovono intorno al nucleo secondo orbite definite.

Il nucleo è a sua volta composto da protoni e neutroni

Salto quantico

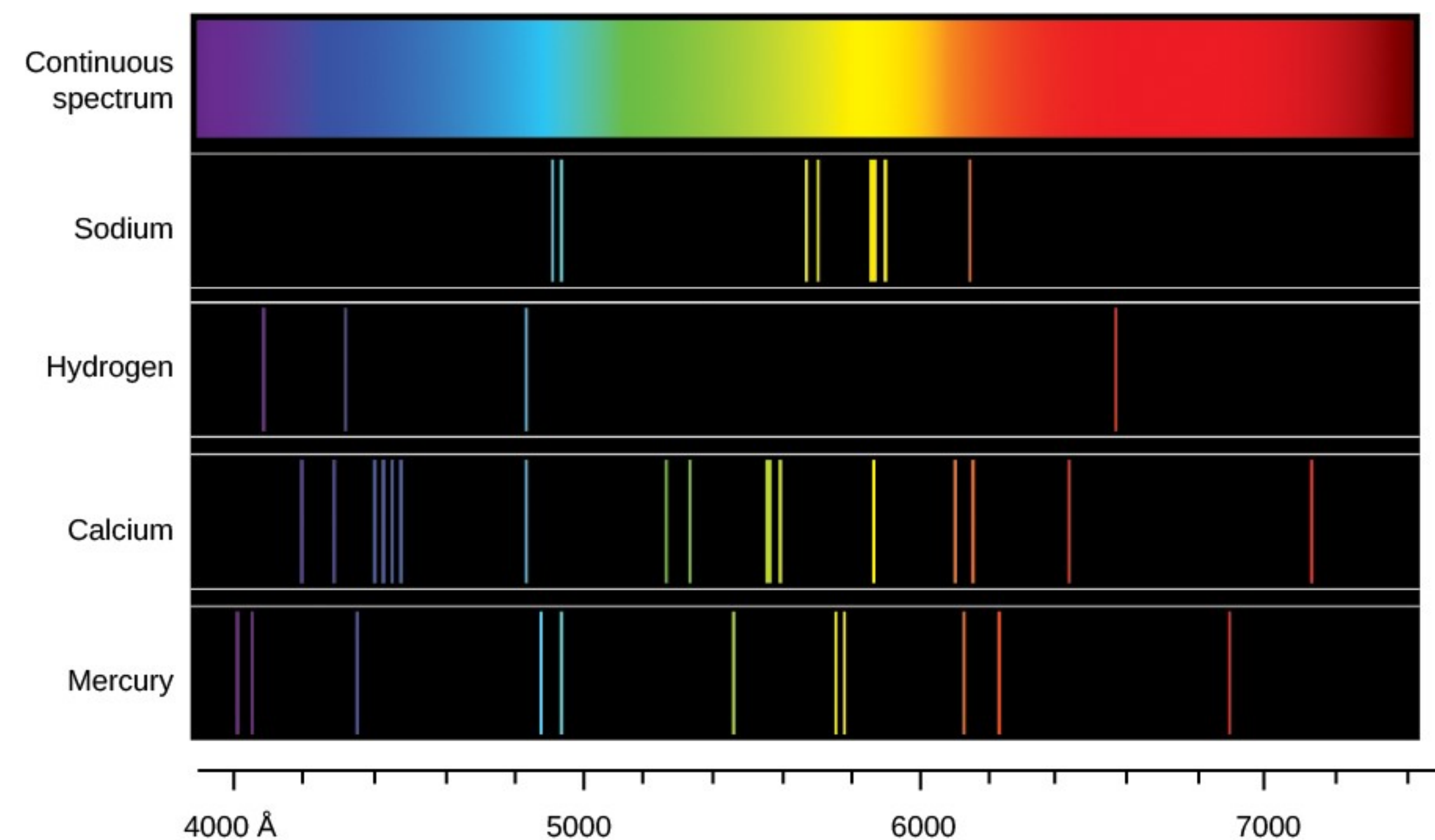
- Un elettrone al livello E_1 , può assorbire una certa quantità di energia e saltare al livello E_2
- Questo processo prende il nome di salto *quantico*
- Quindi: le particelle possono assorbire energia ed effettuare determinate transizioni



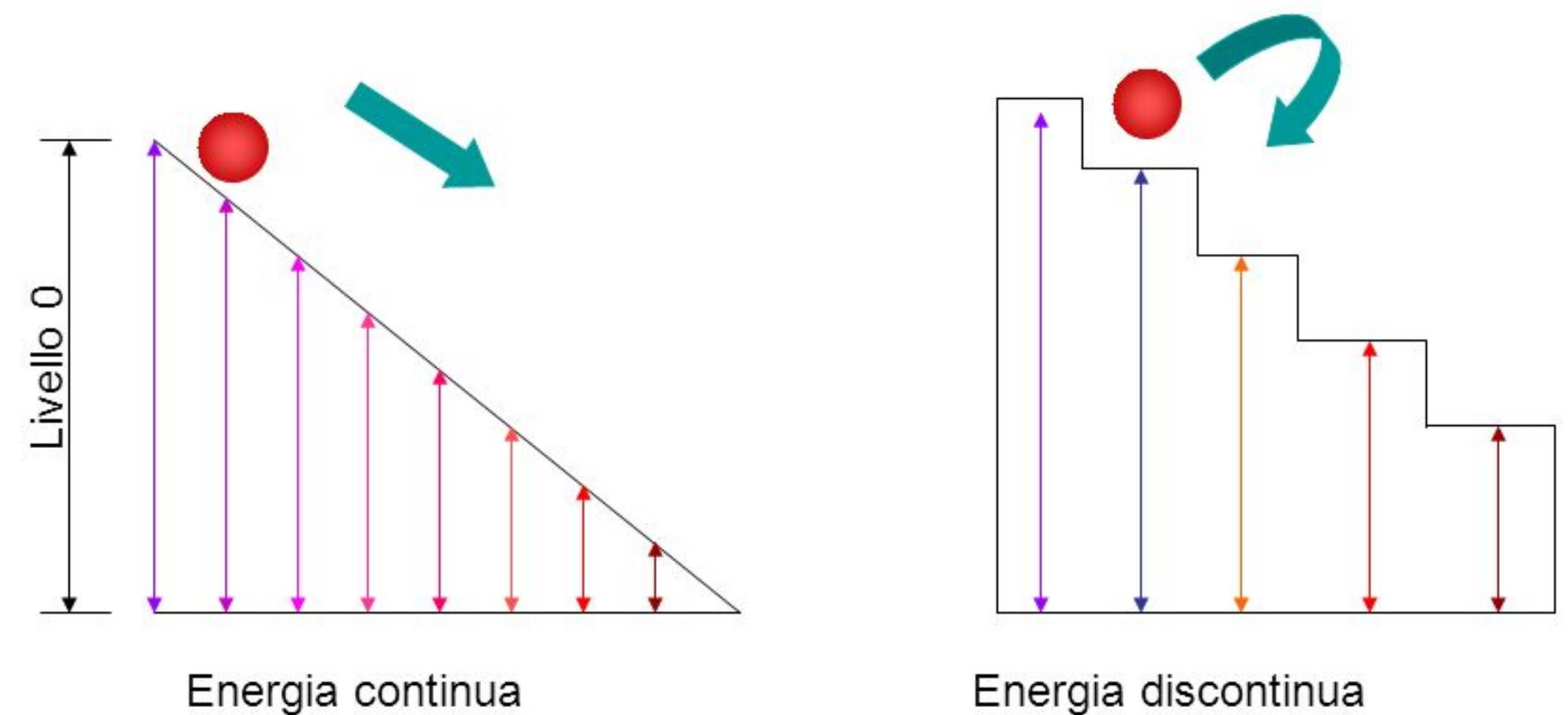
ALT!

Quanto...?

- Lo spettro di emissione di un elemento chimico è l'insieme delle frequenze dell'energia rilasciata dagli elettroni quando compiono una transizione da uno stato energia ad un altro
- Possiamo verificare quali siano le frequenze di una sostanza eccitandola (ad esempio scaldandola)
- In questo modo si ottiene lo spettro di emissione della sostanza. L'energia della transizione è uguale alla differenza dello stato finale e dello stato iniziale.

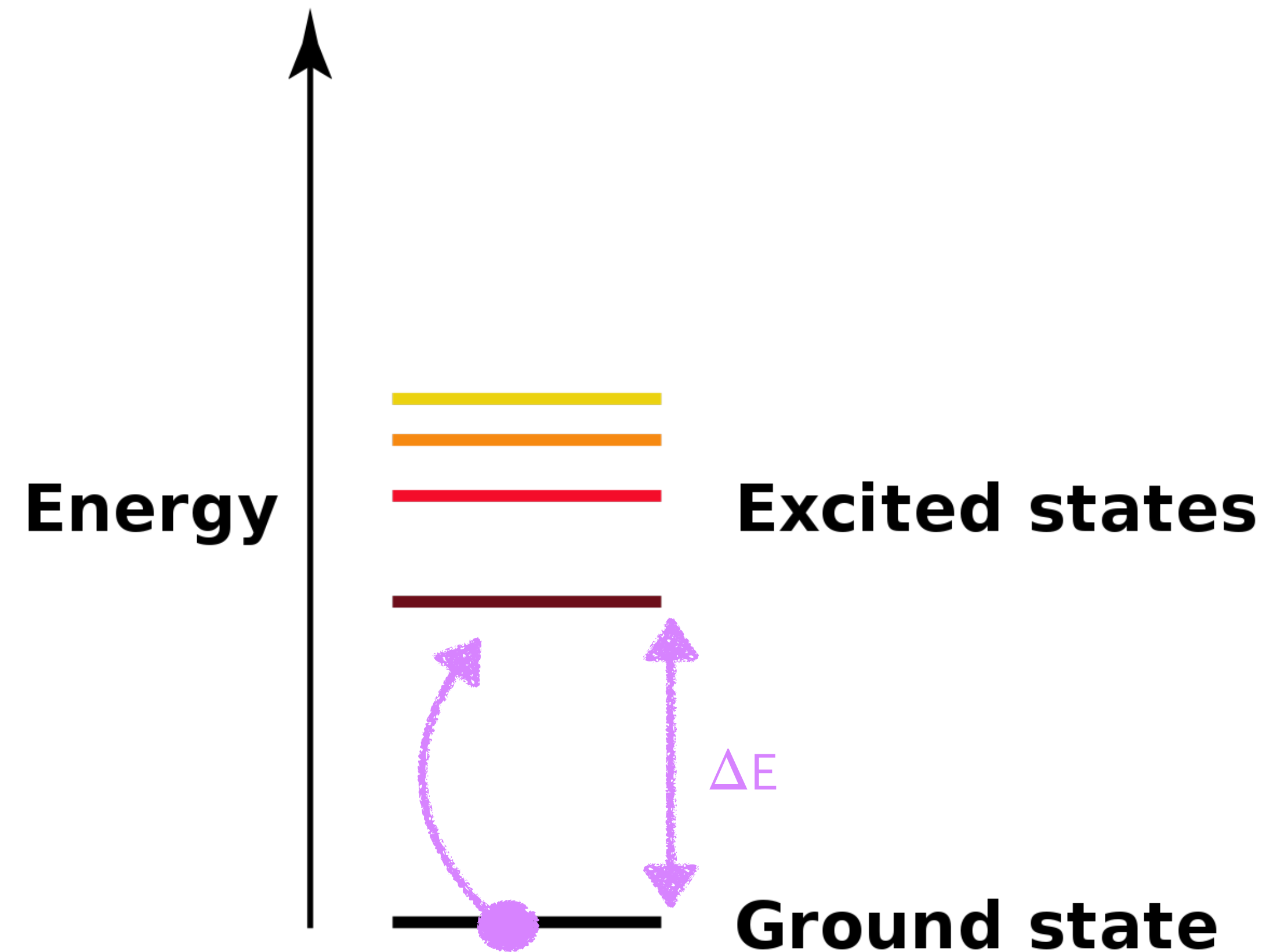


$$E = h\nu$$



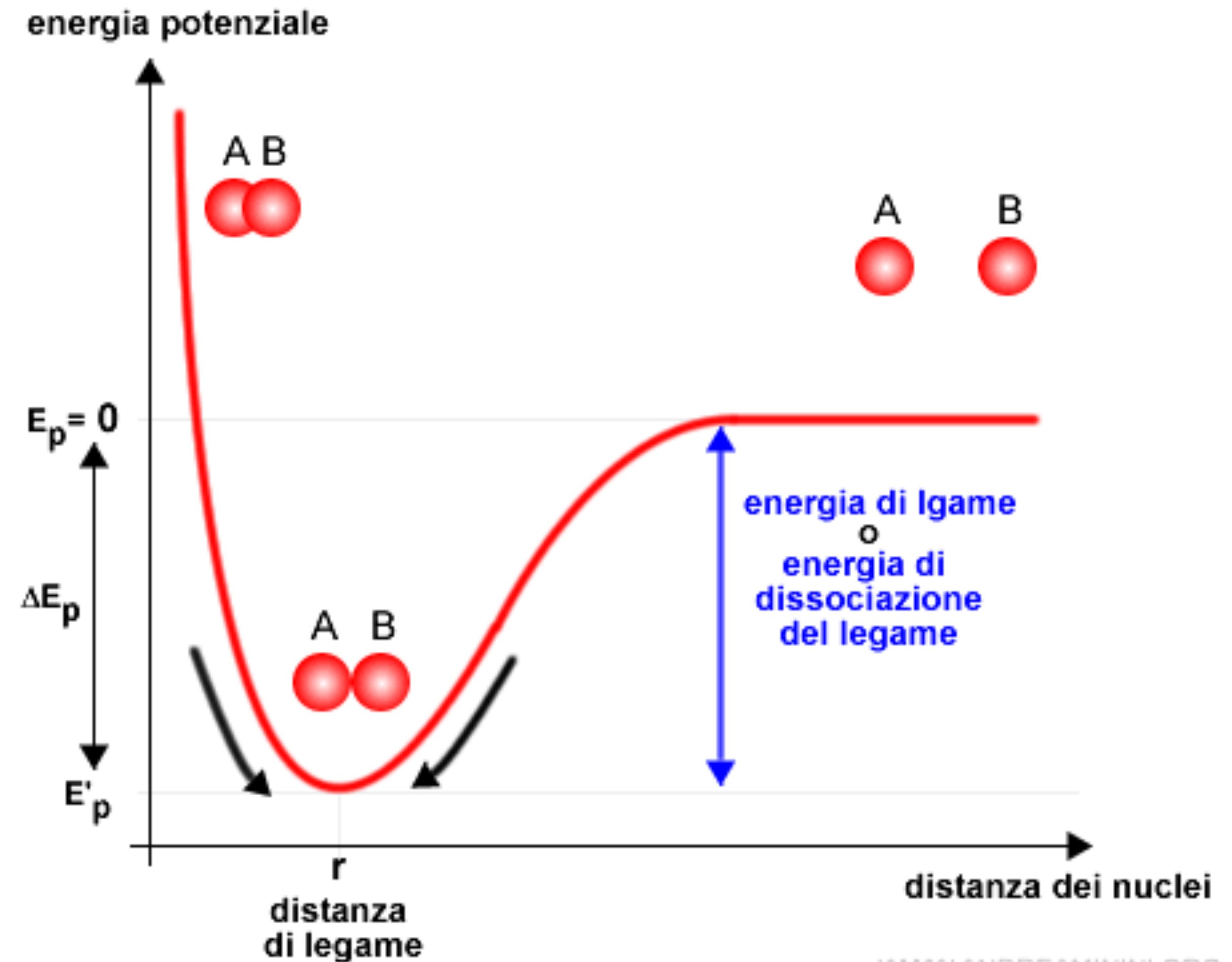
Livelli energetici

- I livelli energetici si possono schematizzare in questo modo
- Un elettrone può andare al livello successivo, come abbiamo detto, se e solo se assorbe un'energia esattamente pari alla spaziatura tra i livelli
- Ma poi...?



Principio di minima energia

- Intorno alla fine del XIX secolo è stato enunciato il principio entropico (Il principio della termodinamica)
- Clausius sosteneva ciò che è generalmente noto come il principio di minima energia
- La materia tende allo stato di minima energia, che risulta infatti più probabilisticamente favorito

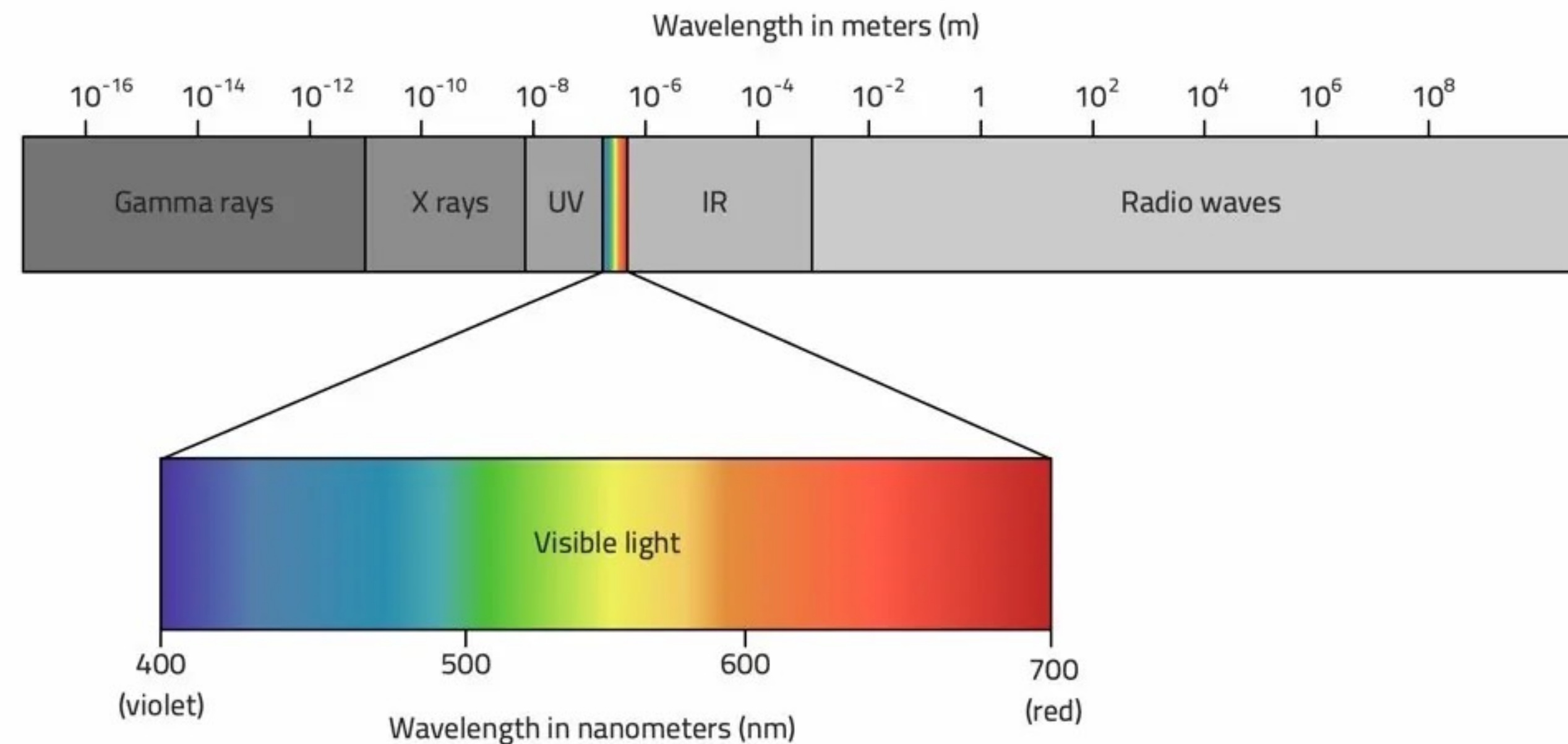


WWW.ANDREAMININI.ORG

Diseccitazione

Emissione di energia

- Come abbiamo visto per le linee spettrali, la materia si diseccita emettendo energia... sotto forma di fotoni, ovvero luce
- Il fotone è una particella elementare, che corrisponde ad un *quanto* di luce
- Il fotone emesso avrà energia pari alla differenza tra stato eccitato e stato fondamentale

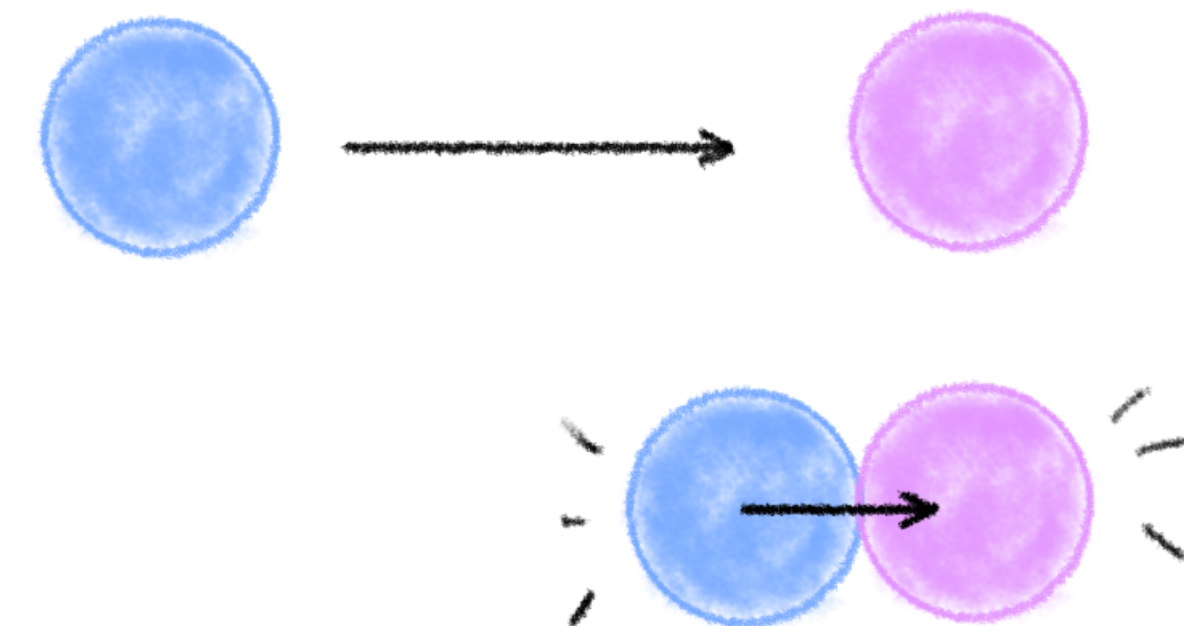
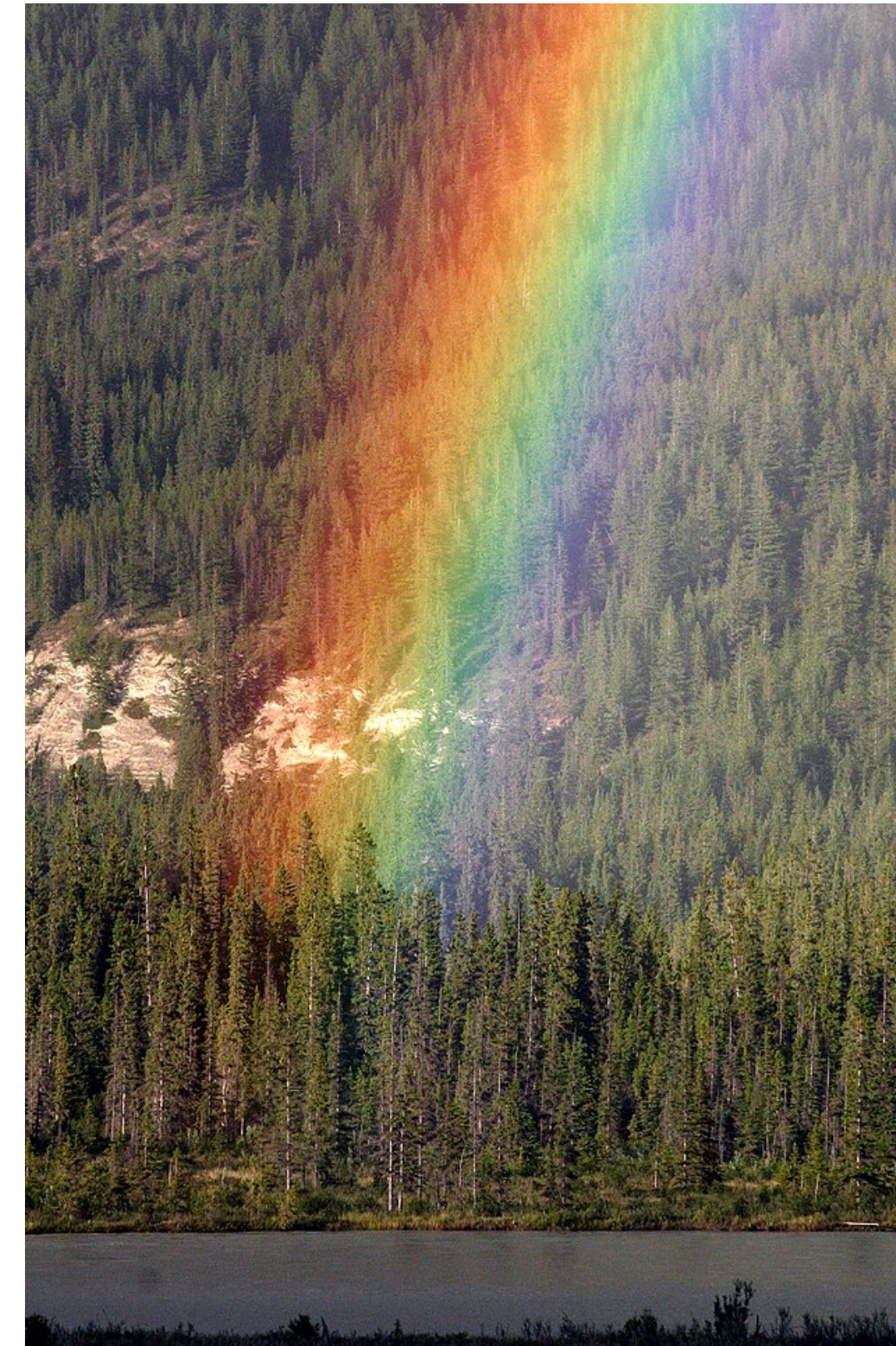


Fotone

- La sua esistenza è stata teorizzata da Einstein
- Il termine deriva dal greco $\phi\omega\tau\acute{o}\varsigma$, ovvero luce.
- È una particella elementare priva di carica elettrica
- È inoltre privo di massa!

Un mezzo materiale può assorbire energia, sotto forma di:

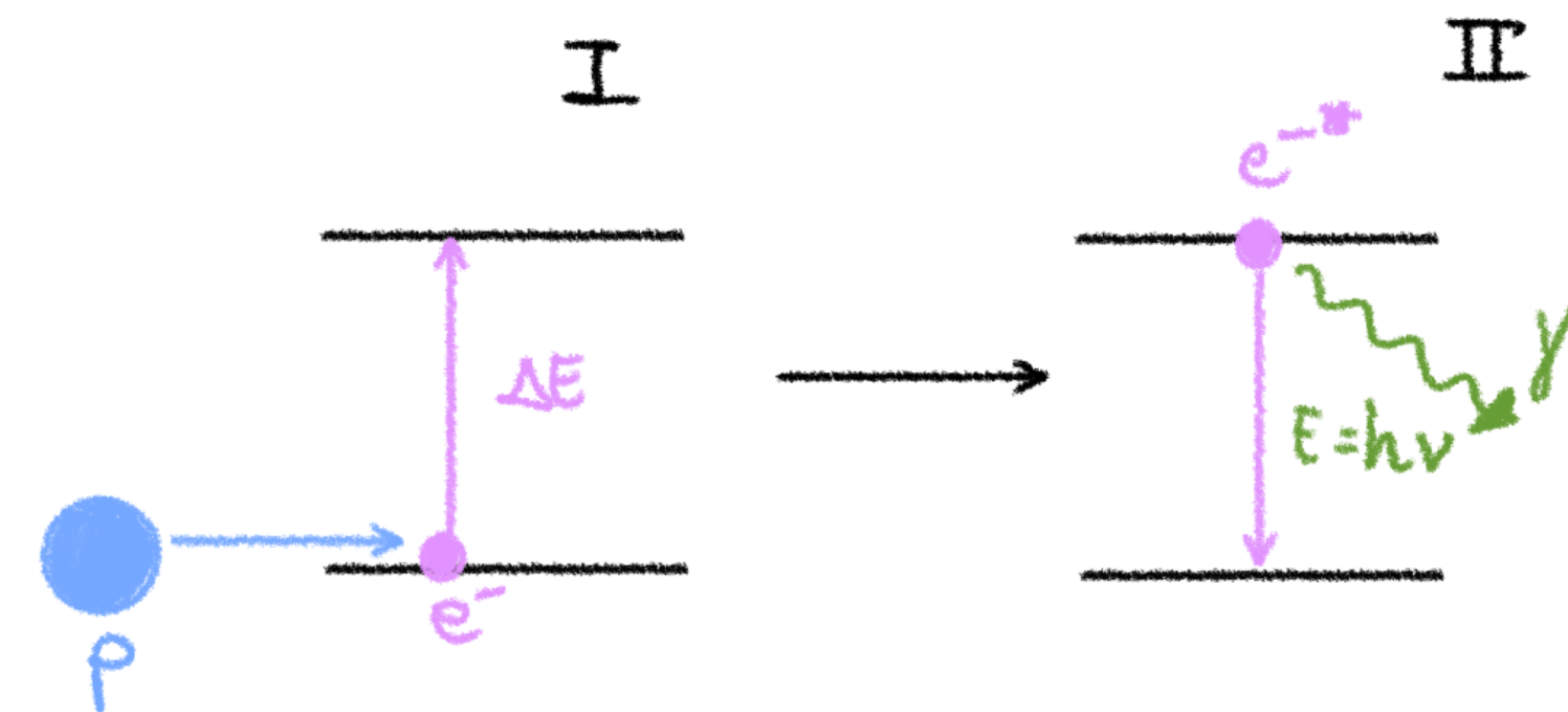
- Calore
- Onde elettromagnetiche (luce)
- Trasferimento di energia da altri corpi



Ok, ma...

Cosa c'entra con noi?

- Quando una particella incontra la materia, è possibile che interagisca con le particelle che la compongono, trasferendo loro la propria energia
- Come abbiamo visto, la materia tenderà poi verso uno stato di minima energia, diseccitandosi



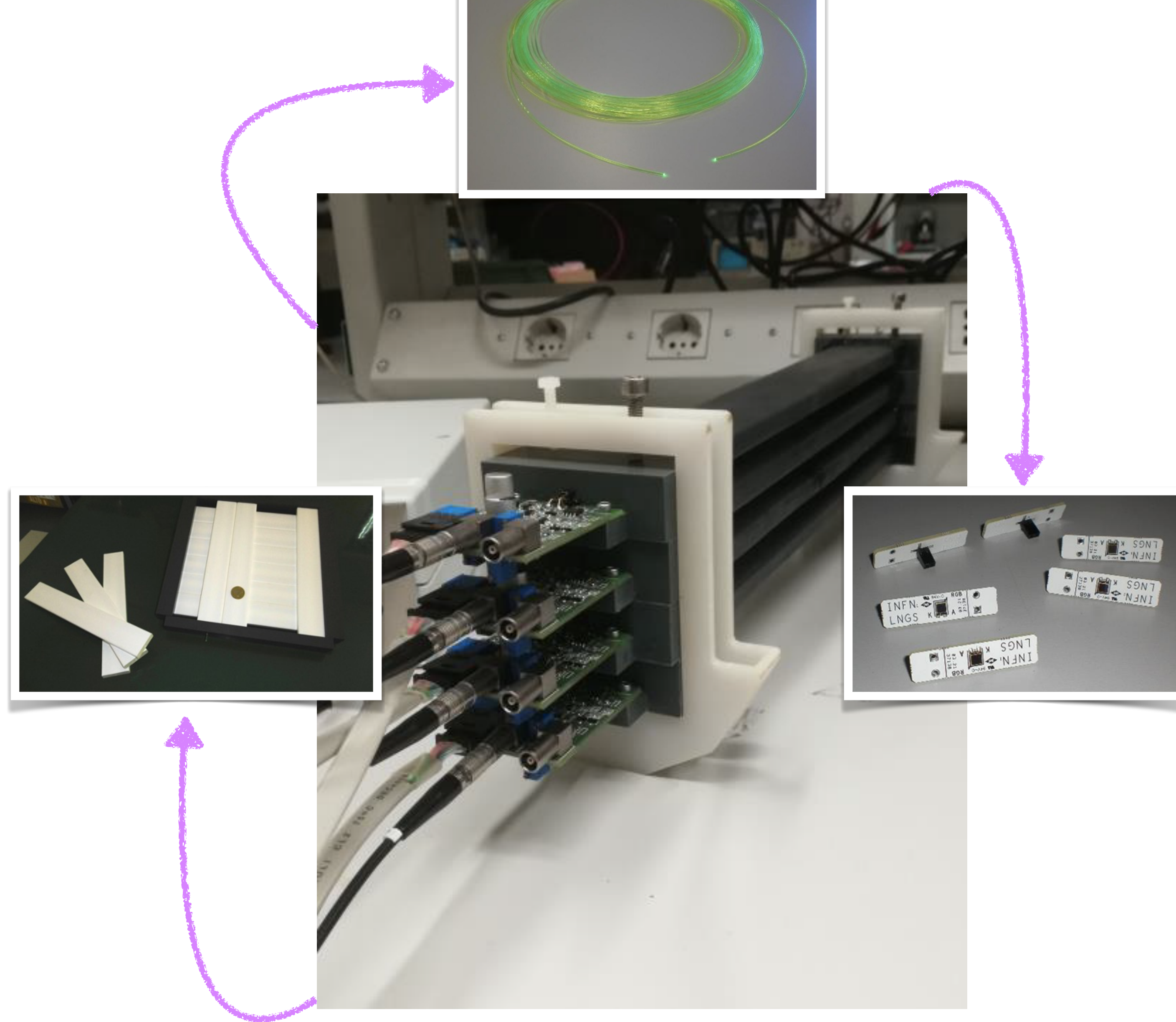
Il nostro obiettivo

- Abbiamo a che fare con un rivelatore che sia in grado di emettere luce quando il nostro muone lo attraversa
- Fatto questo, dobbiamo essere capaci di tradurre questo evento luminoso in un segnale, e poi rendere questo segnale leggibile



Il nostro obiettivo

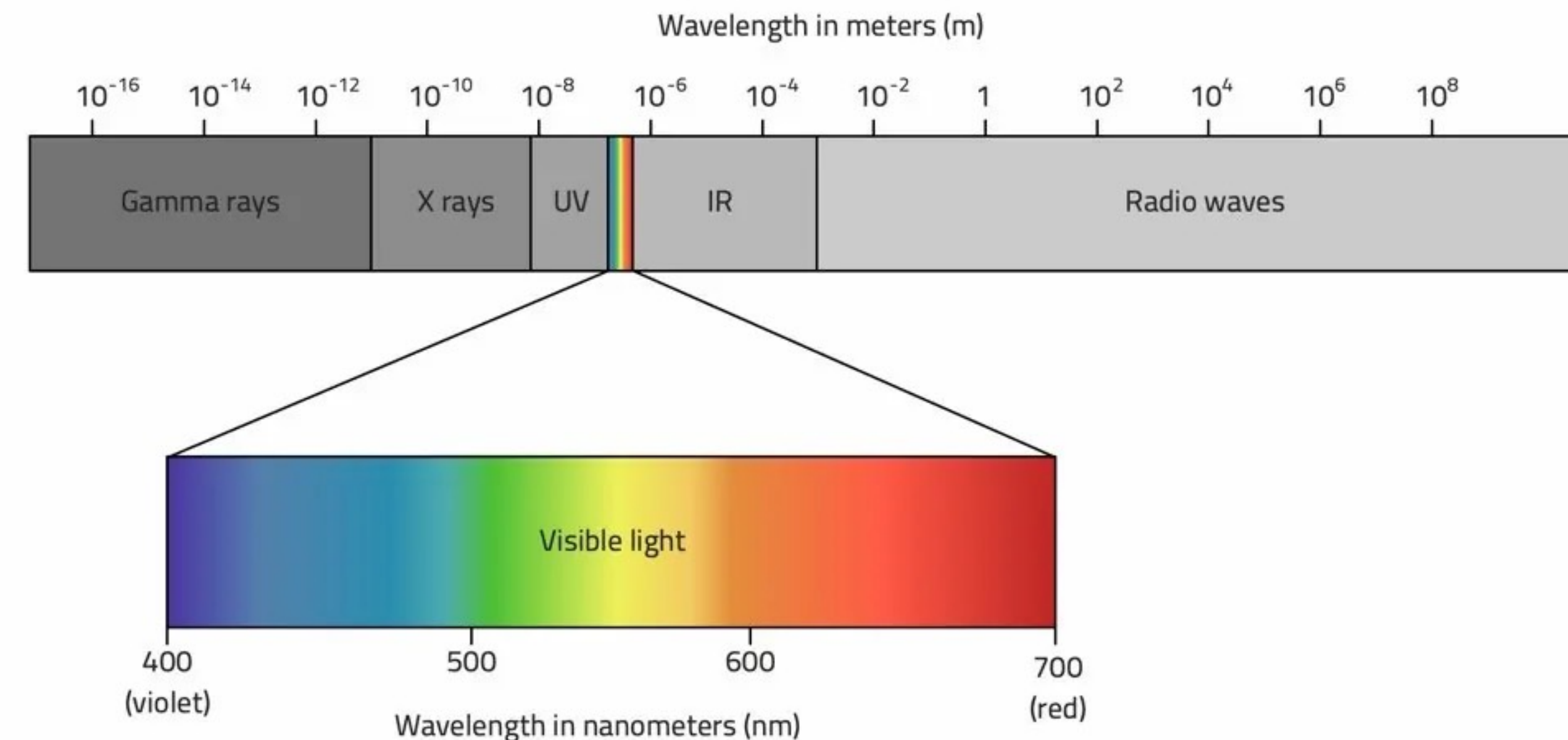
- La luce viene portata ai nostri dispositivi tramite apposite guide d'onda (fibre ottiche).
- Questa luce dovrà essere trasformata in segnale elettrico, da opportuni rivelatori, chiamati SiPM (fotomoltiplicatori al Silicio)



I nostri protagonisti

Rivelatori a scintillazione

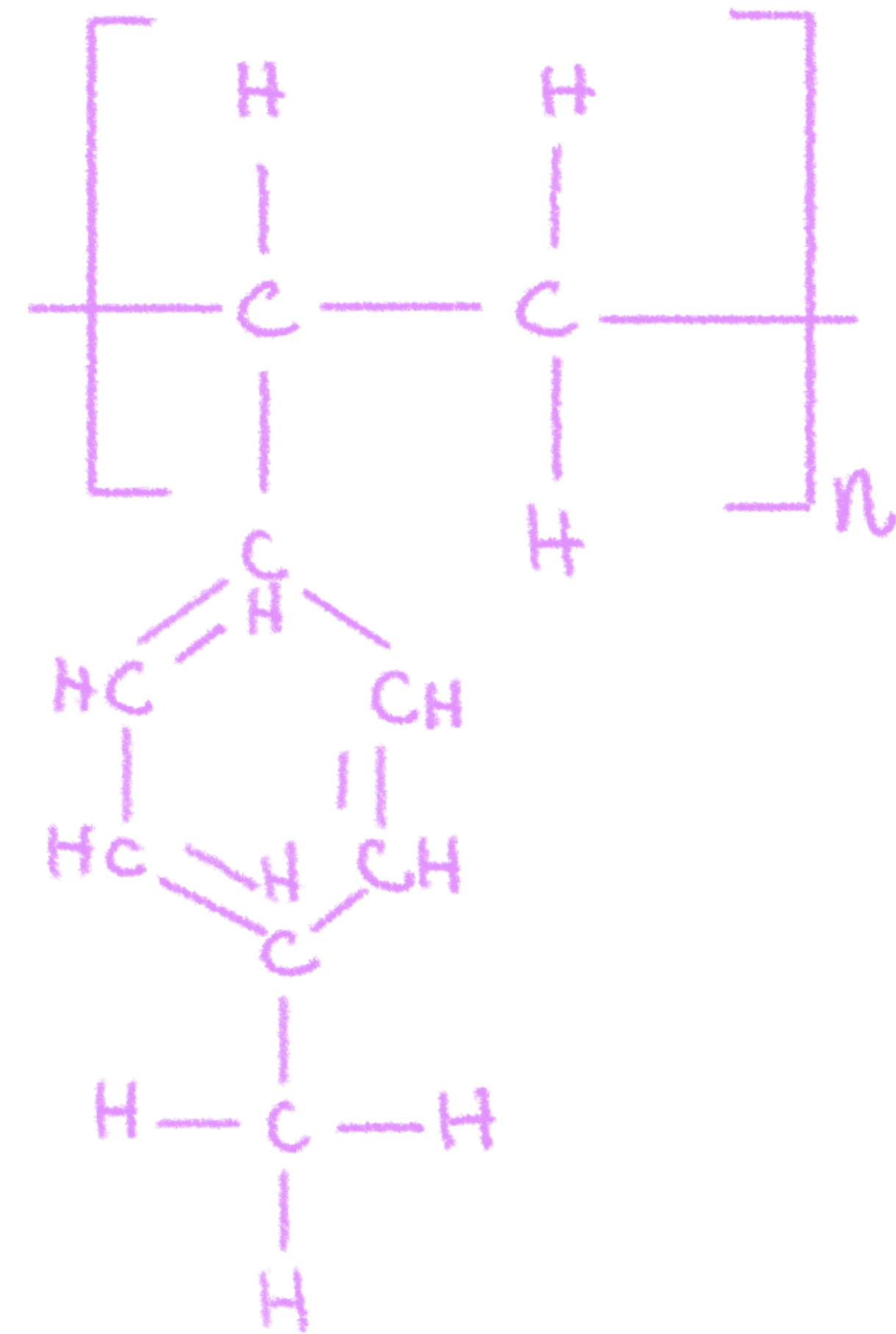
- Rivelatori plastici
- Emettono luce a 425 nm (luce di colore viola-bluetta)
- Hanno un'alta "resa di luce", parametro che si valuta in termini di numero di fotoni per ogni "tot" di energia depositata sull'oggetto.
- Di cosa sono fatti?



Plastica...?

Che significa?

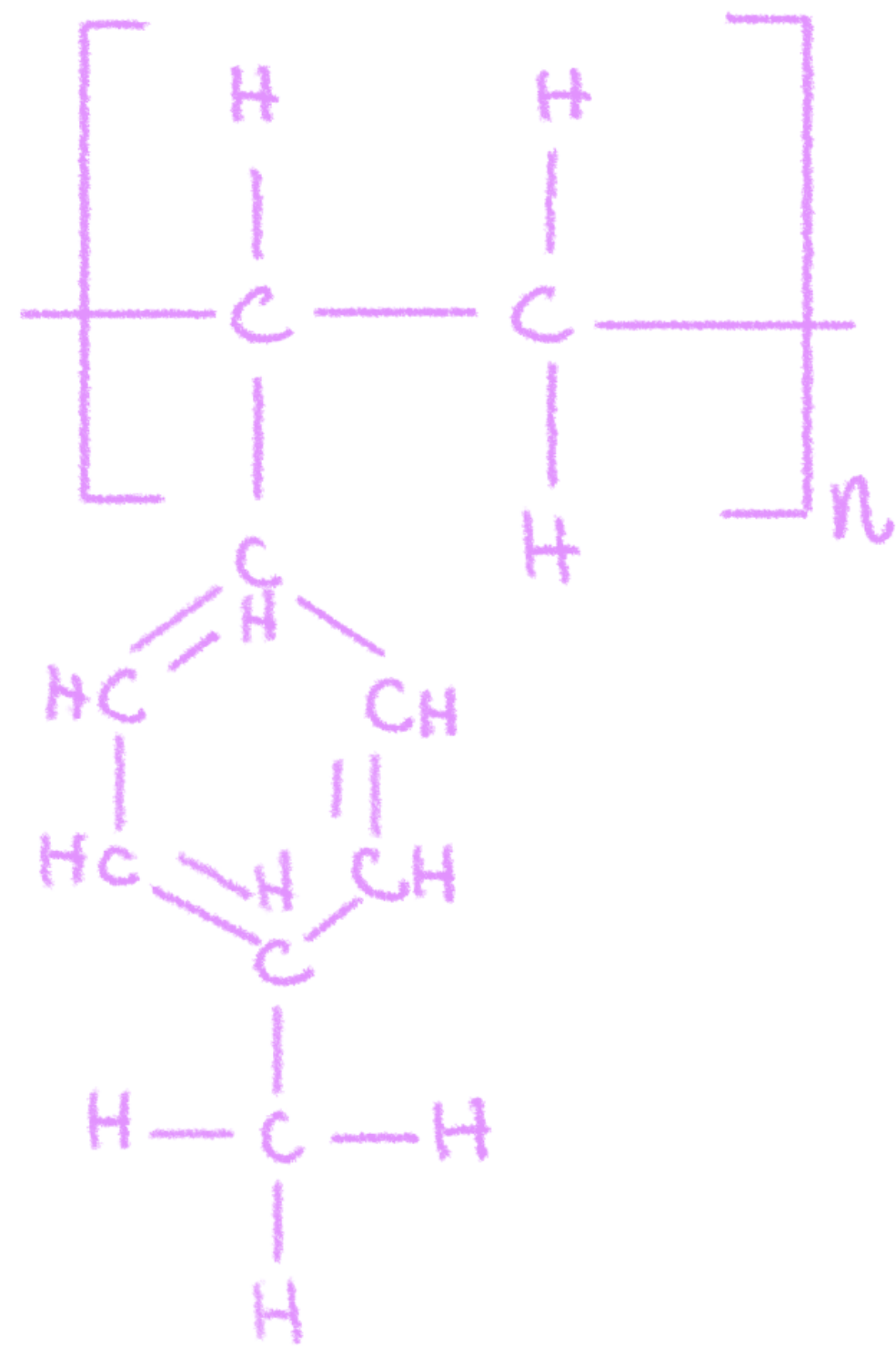
- Plastica è il generico termine usato per definire la categoria dei polimeri
- Πολύς (molti) + μέρος (pezzo).
Ovvero una catena composta dalla ripetizione di un pezzo (μέρος)
- L'unità di ripetizione è denominata monomero, cioè μόνος (uno) + μέρος.



Solo C e H!

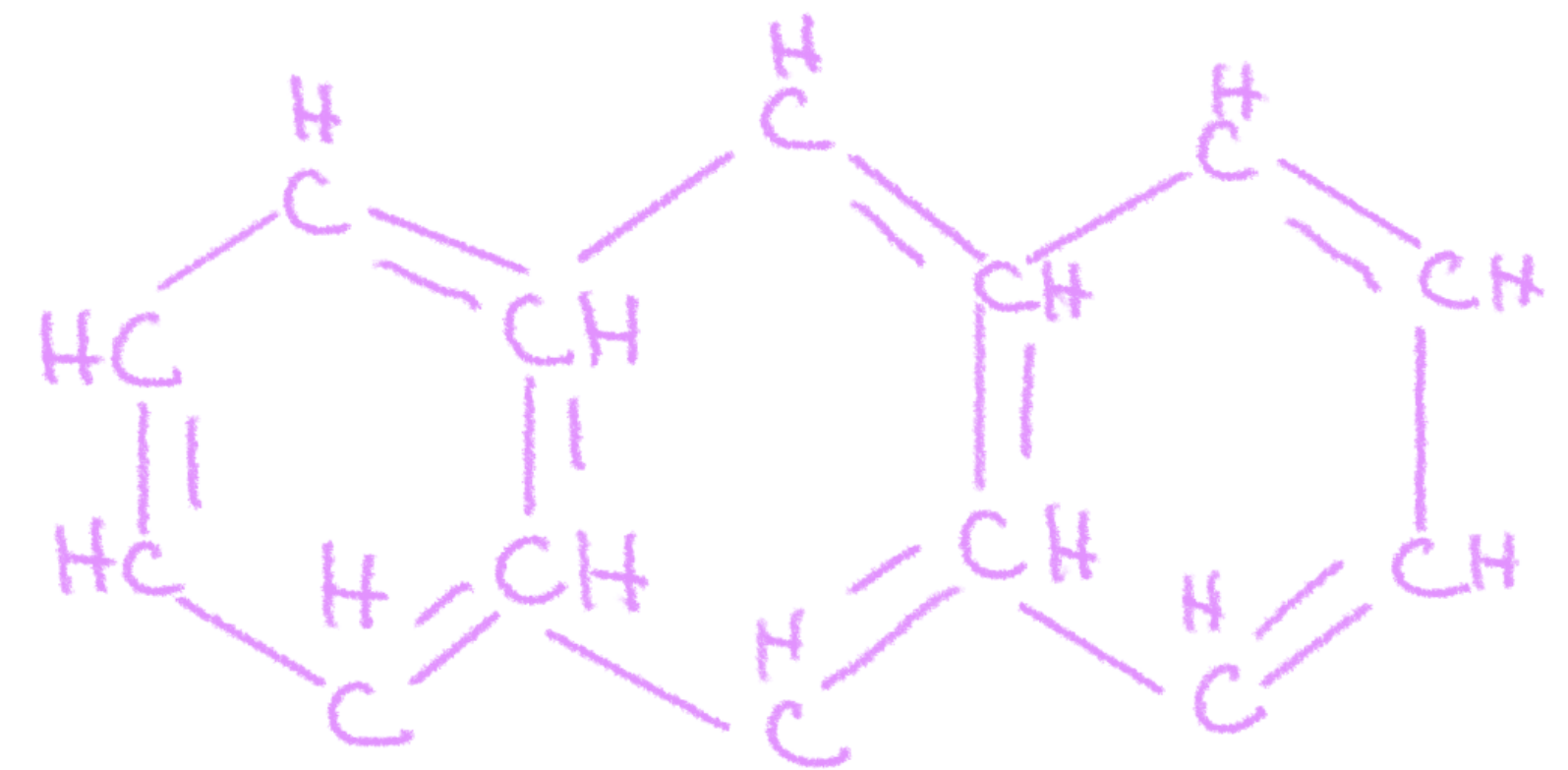
Tirando le somme

I nostri dispositivi sono fatti di...



Poliviniltoluene (PVT)

+

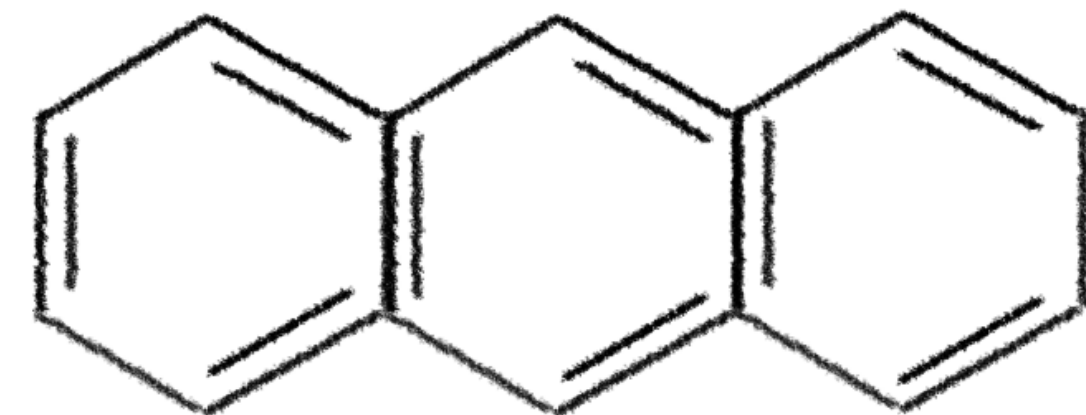
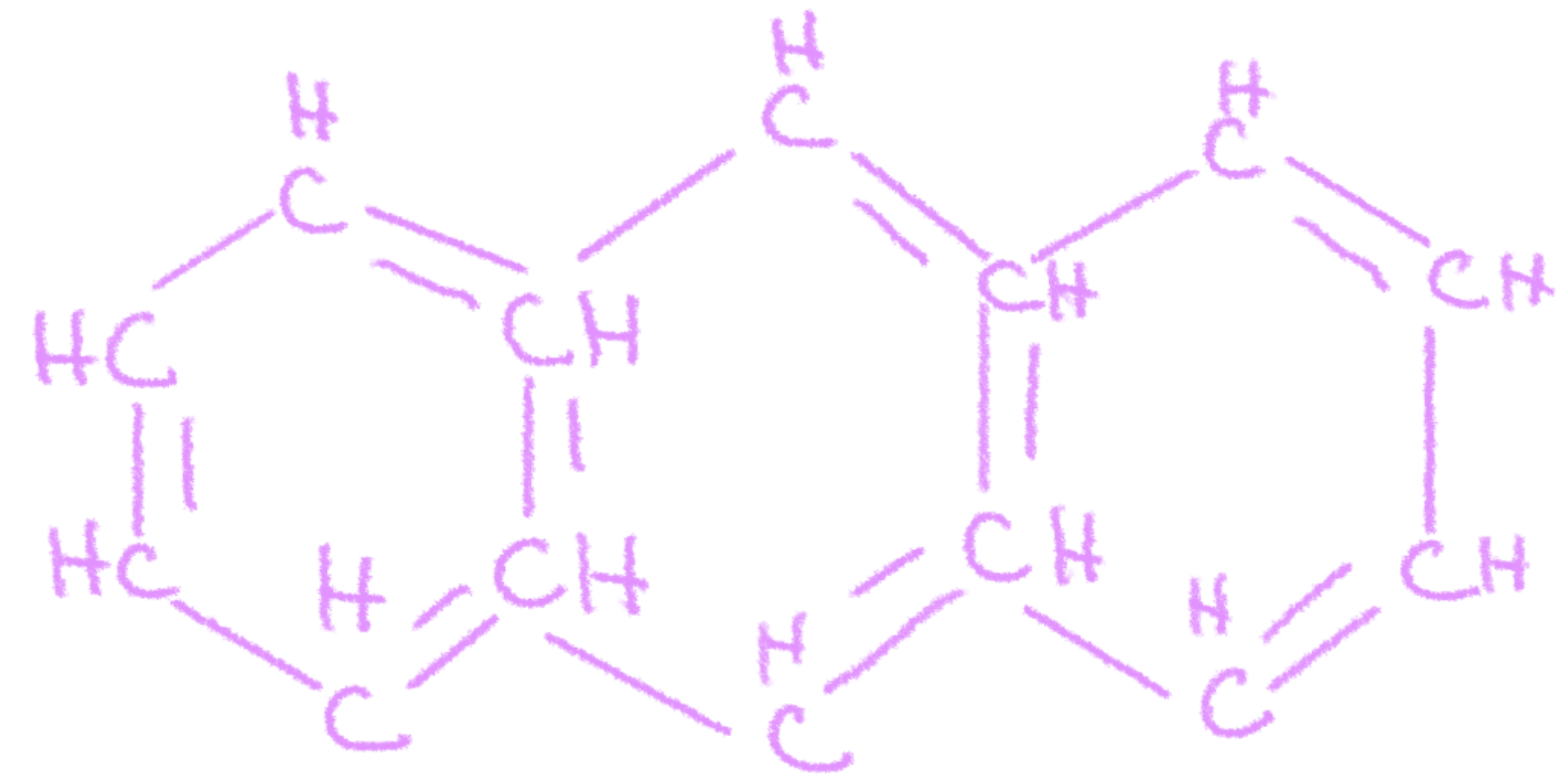


Anthracene

Antracene

Il vero protagonista

- Ha questa bizzarra forma: è composto da 3 “esagoni” costituiti da C e H
- Ogni esagono contiene 6 atomi di C, legati tra loro con 3 legami semplici e 3 legami doppi
- Questi legami sono alternati, e addirittura possono “scambiarsi di posto” -> non esiste una posizione “fissa”.



Antracene

- Questo conferisce alla molecola proprietà particolari
- Fu scoperto da Fritzsche a fine XIX secolo
- Aveva preparato una soluzione di antracene che cambiava colore se esposta alla luce solare!
- Questo accade proprio a causa della bizzarra forma ad esagono e all'alternanza di legami semplici e doppi nella struttura, che fa sì che gli elettroni siano più liberi di muoversi



Scintillatore plastico

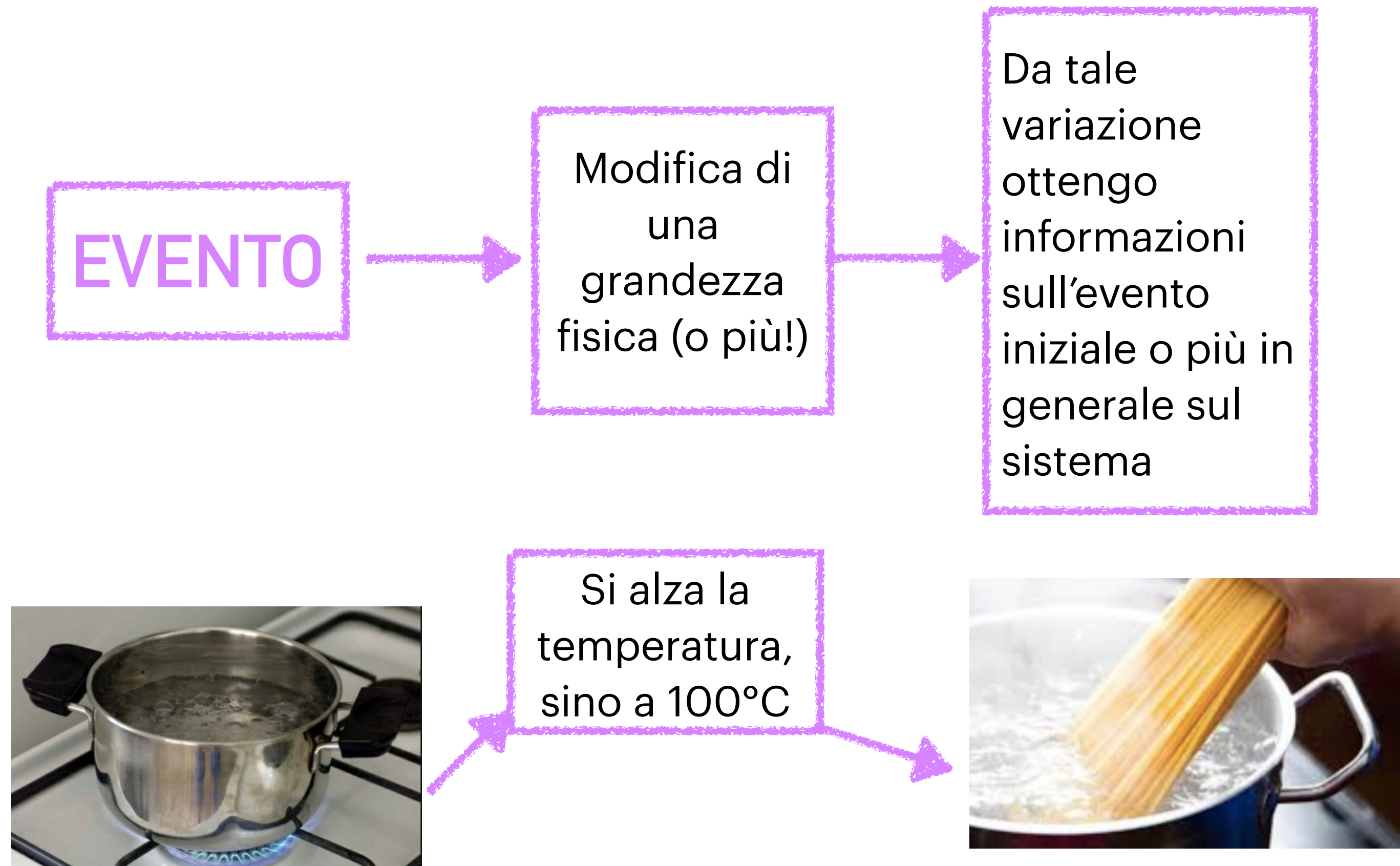
Cosa accade?

- L'antracene è la causa della scintillazione
- Il PVT assume la funzione di matrice. Viene scelto in quanto trasparente, per far sì i fotoni possano propagarsi attraverso esso.
- In questo modo, i fotoni potranno essere poi portati ai sensori (SiPM) e trasformati in segnale elettrico.
- Ma alla fine, che cosa osserviamo?

Segnali in fisica

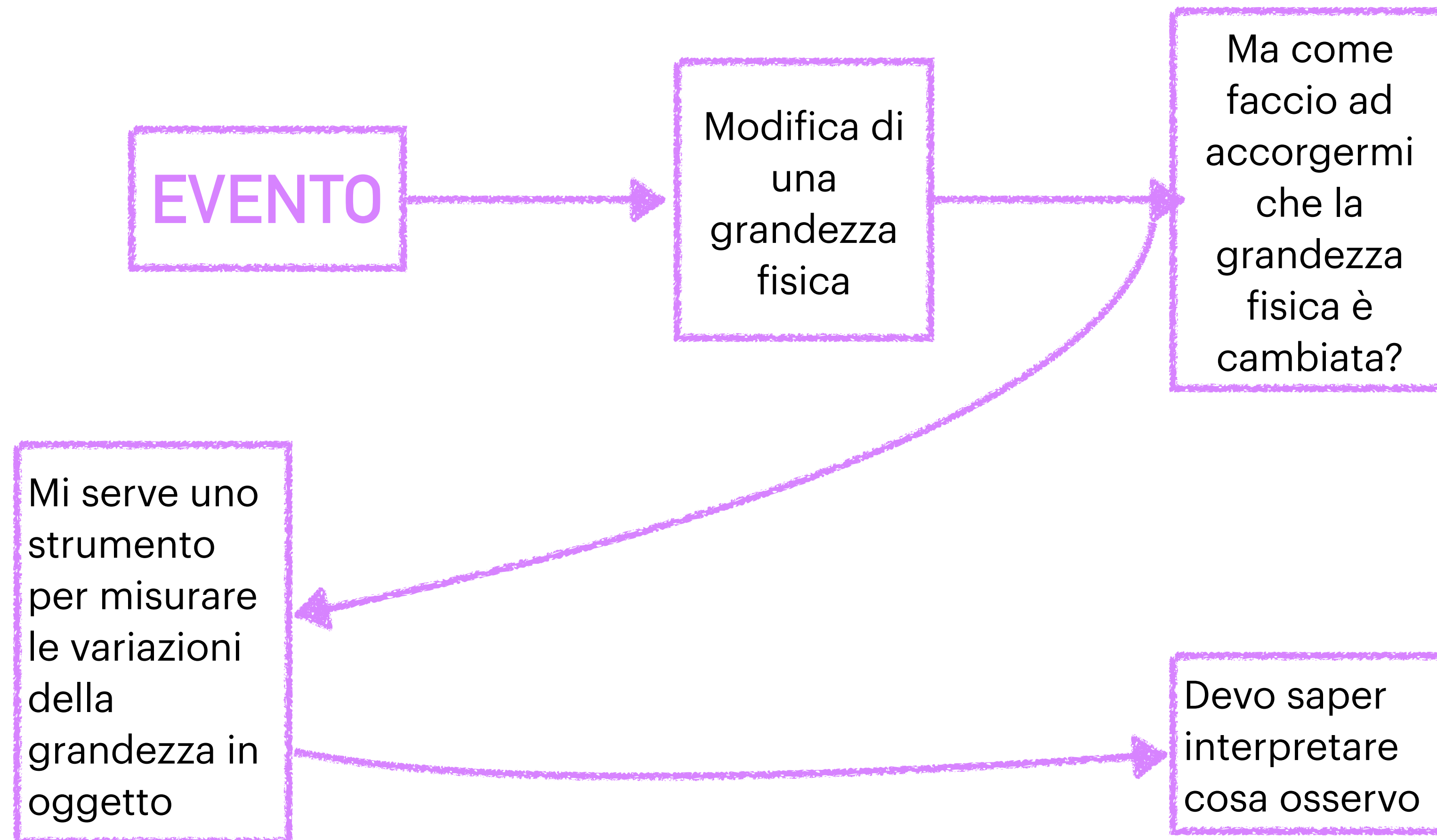
Cosa sono?

- Segnale: in fisica è una qualsiasi grandezza fisica che varia nel tempo in maniera deterministica e trasporta informazione.



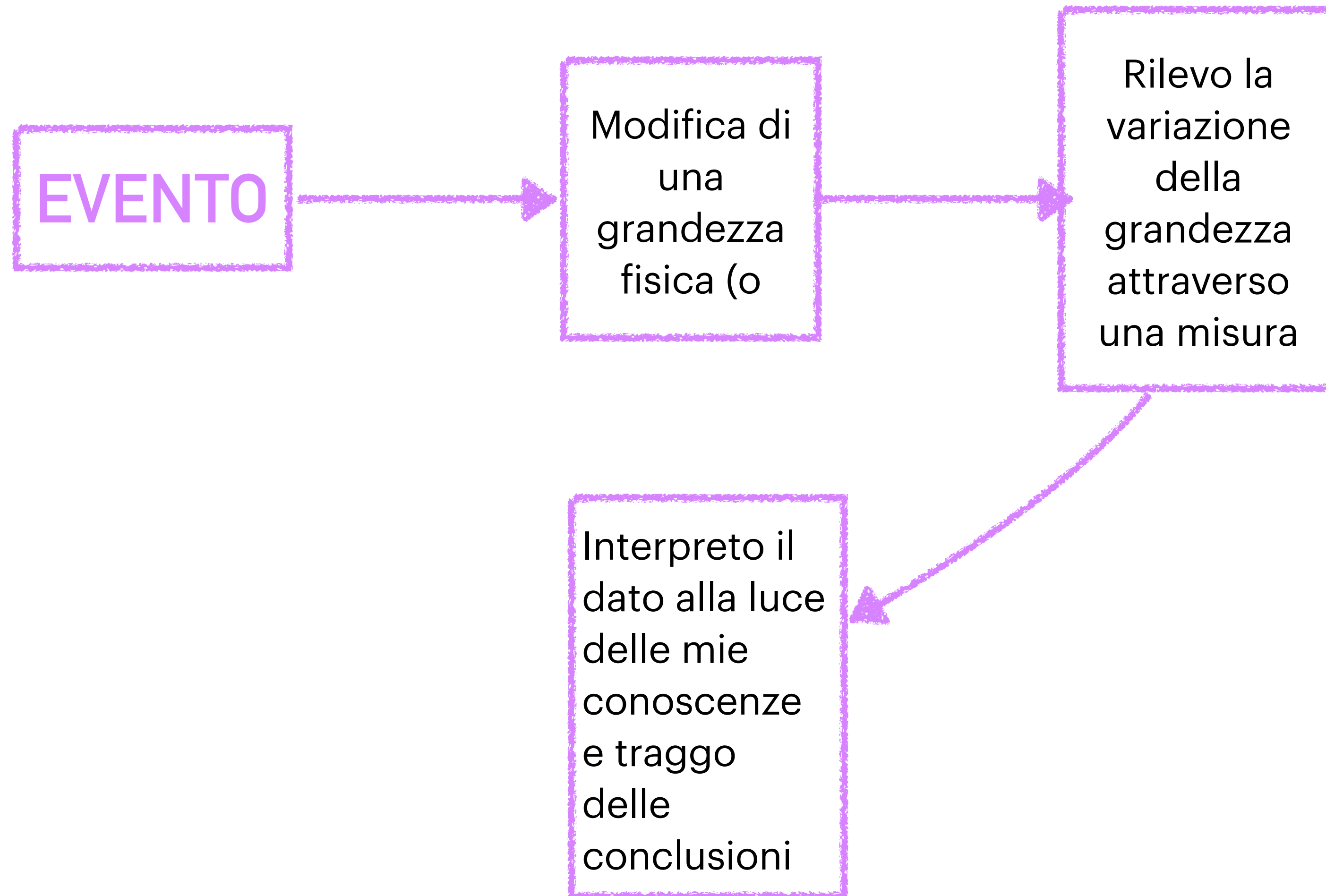
Segnali in fisica

Cosa sono?



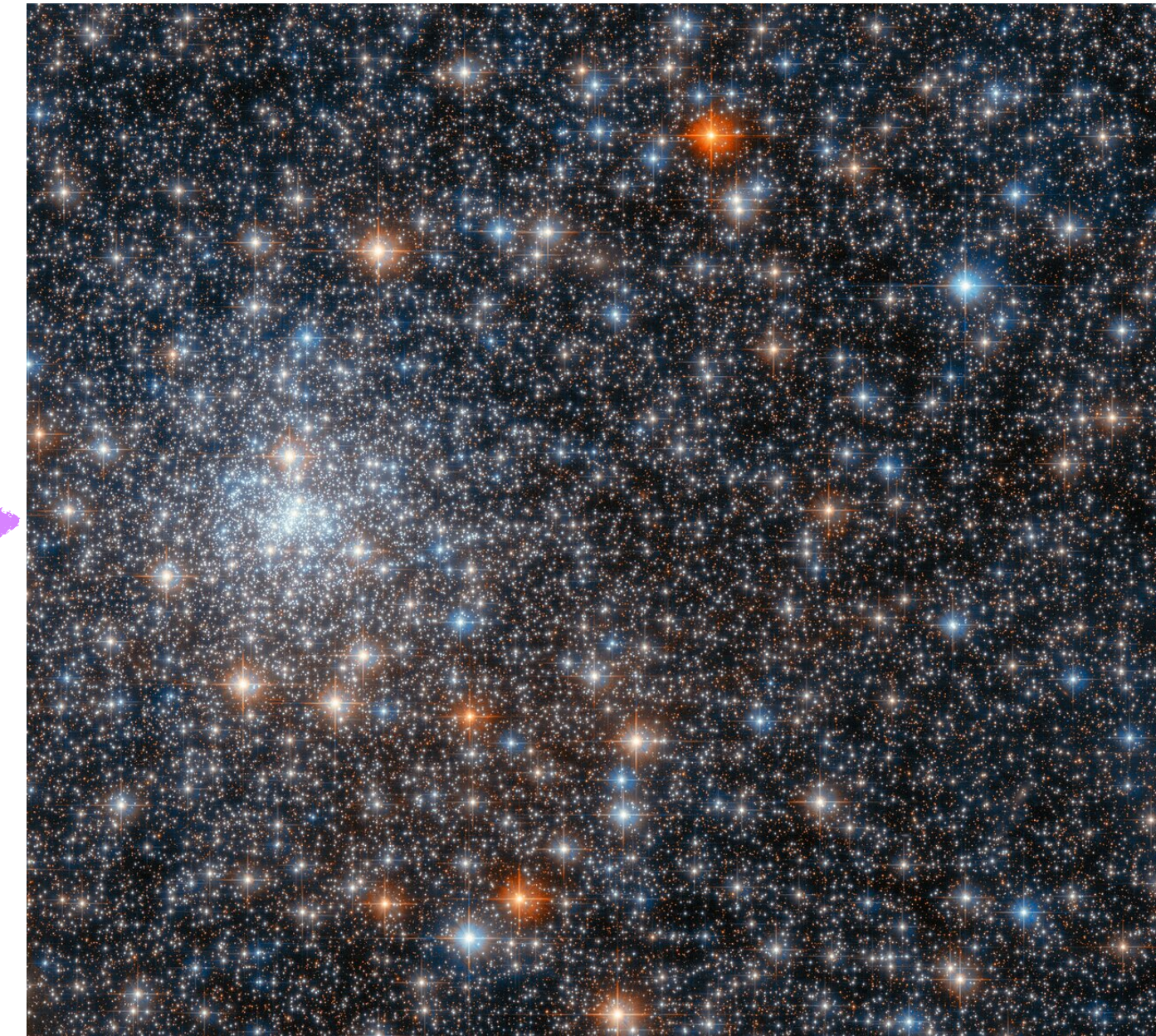
Segnali in fisica

Cosa sono?



Segnali in fisica

Cosa sono?

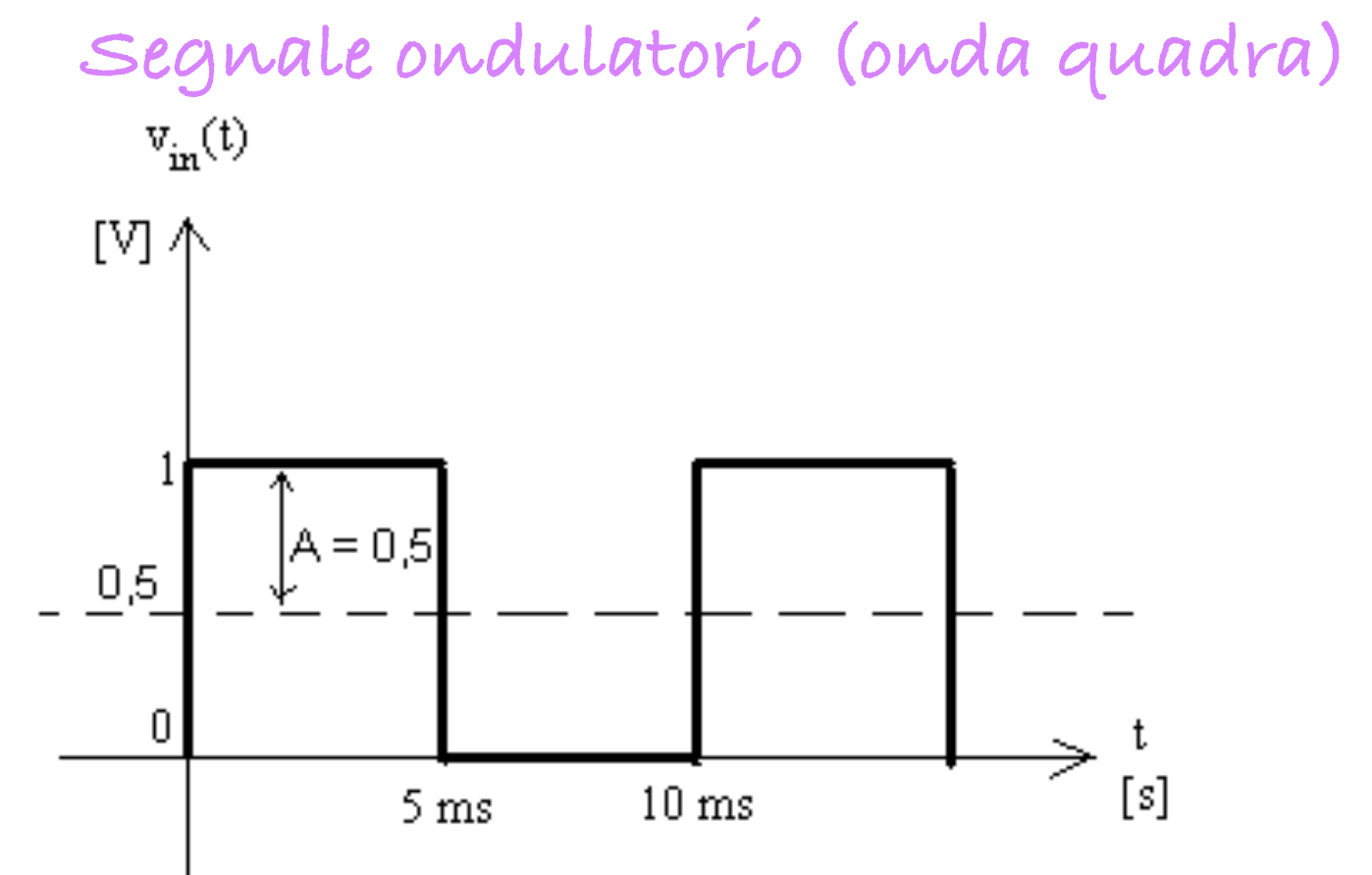
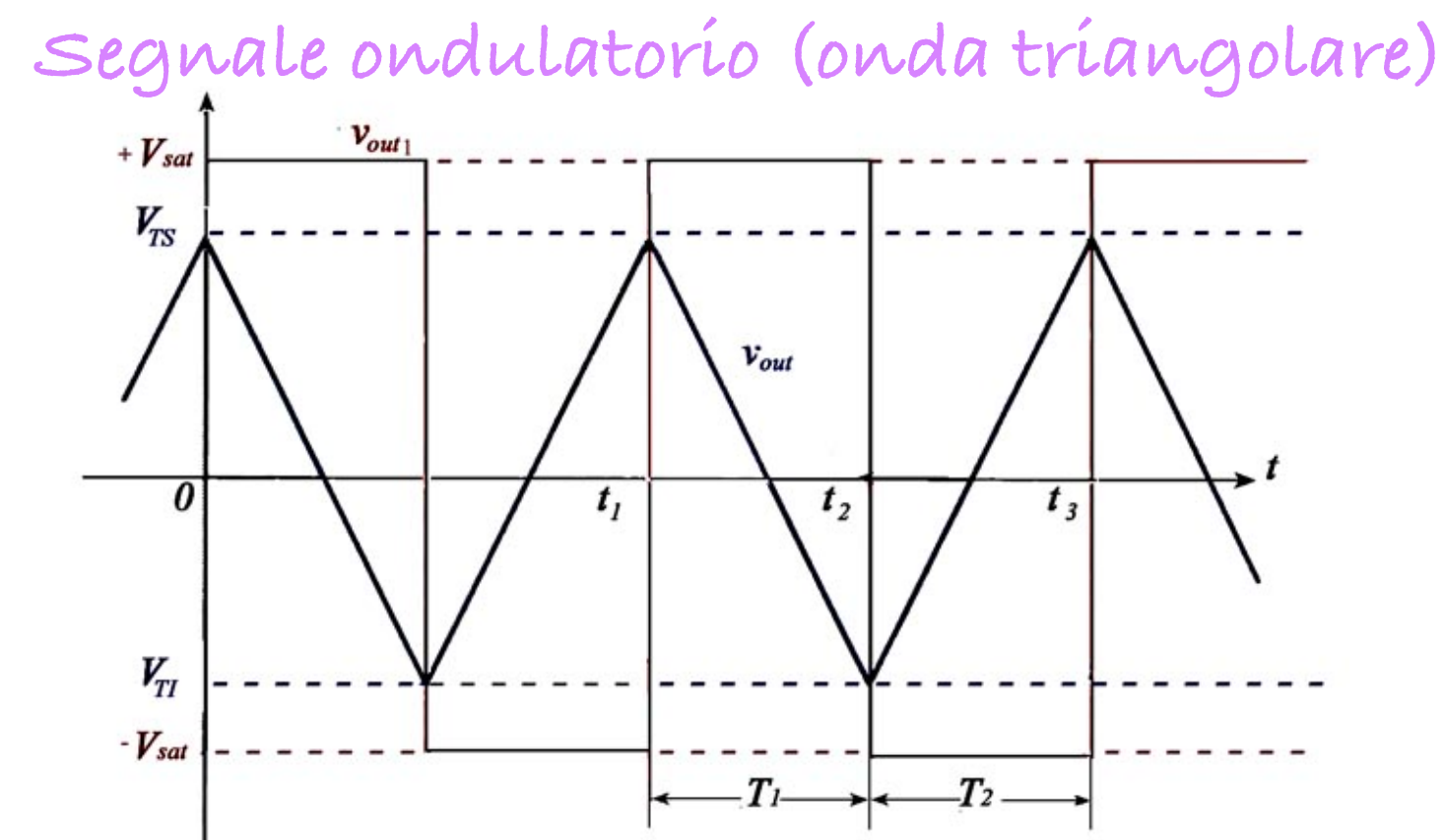
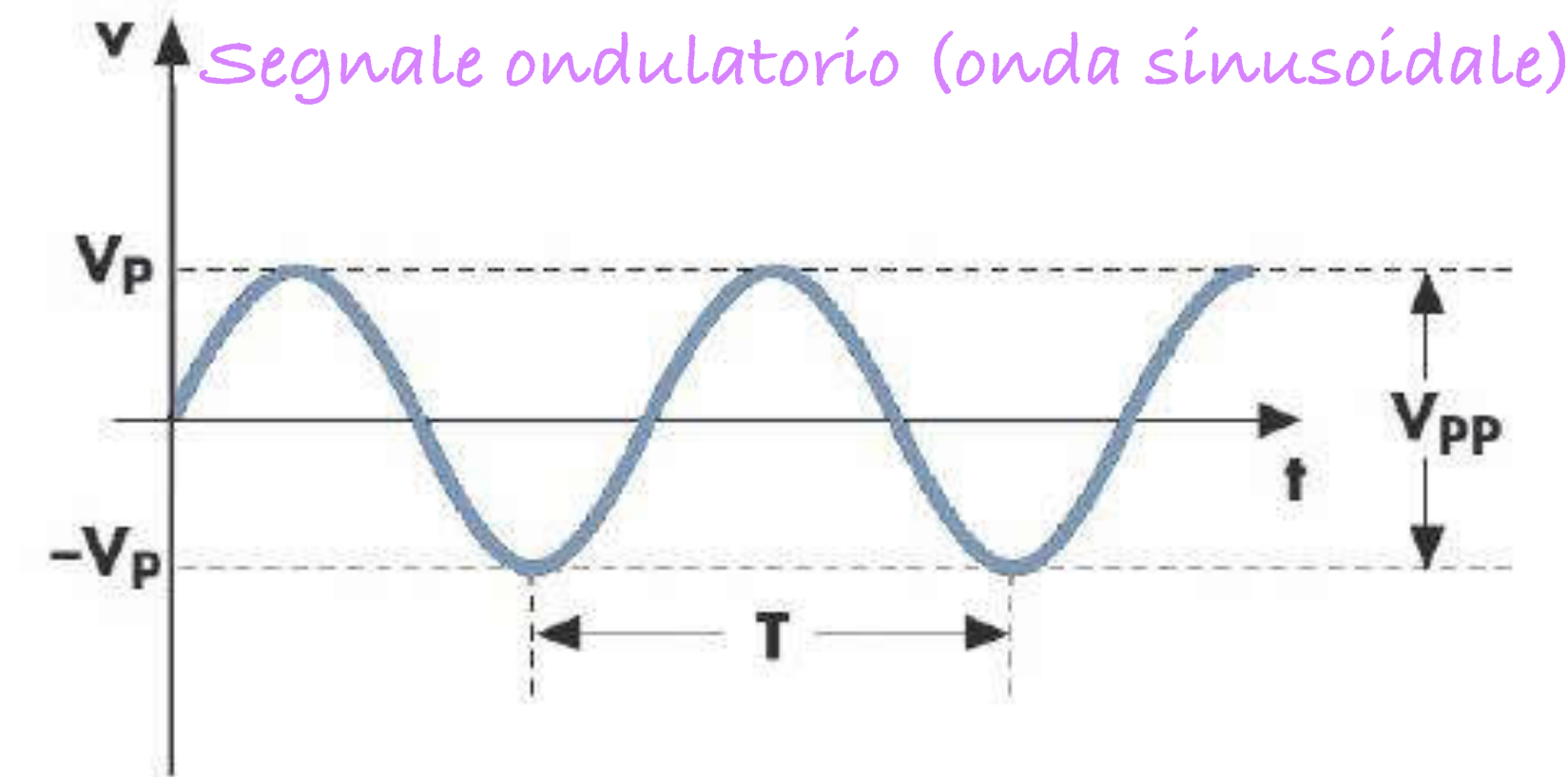
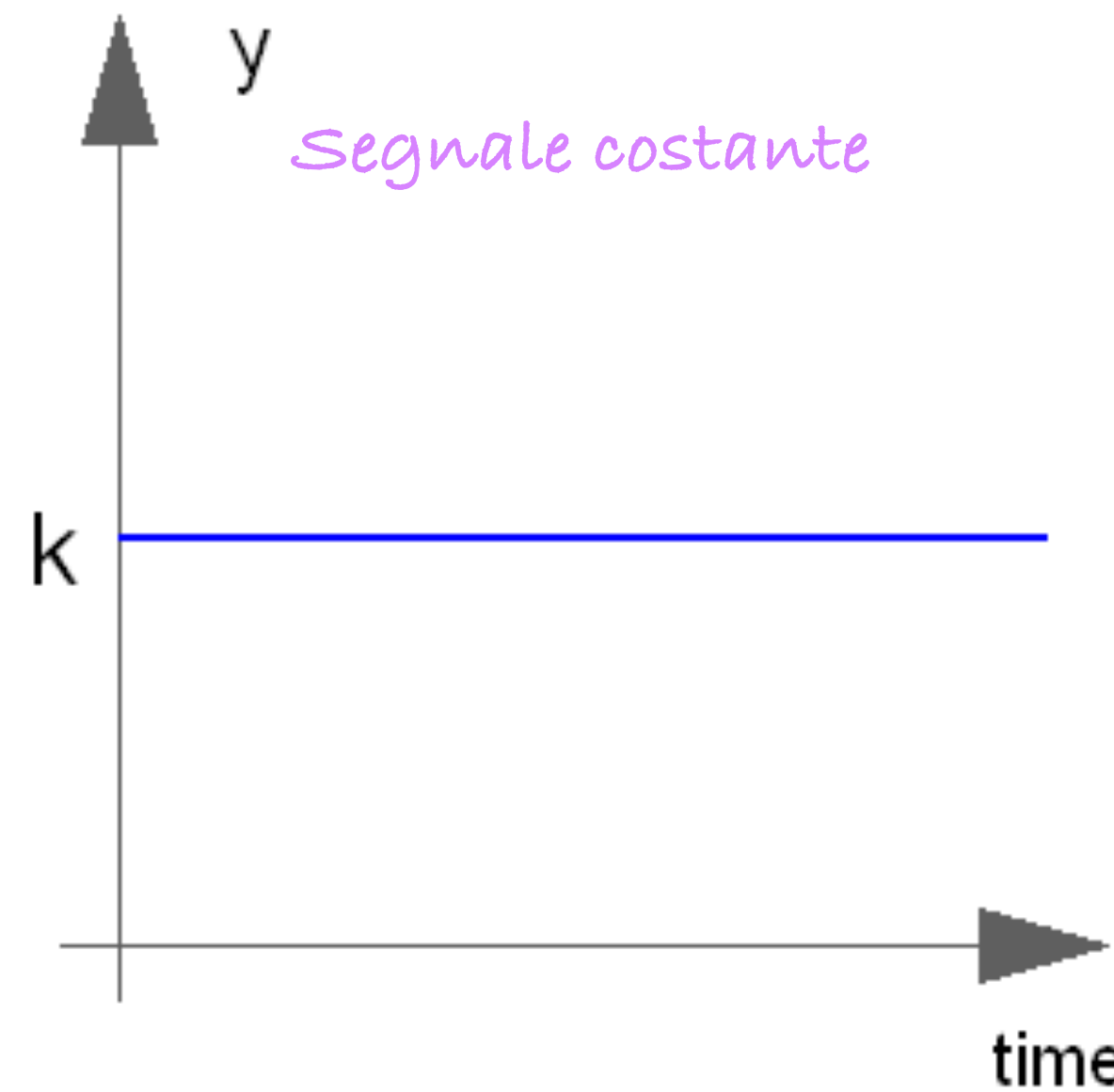


Le grandezze fisiche rappresentate da un segnale sono le più svariate: l'intensità luminosa e il colore su uno schermo nel caso di un segnale televisivo, la variazione della pressione dell'aria nel caso di un segnale musicale, la tensione elettrica o la corrente nel caso di un segnale misurato su di un circuito elettrico, un'onda elettromagnetica nel caso di un segnale radio captato dallo spazio.

Segnali in fisica

Come sono fatti?

- La descrizione più naturale di un segnale è costituita dalla funzione matematica che descrive l'andamento della grandezza fisica che fa da supporto al messaggio in funzione del tempo, dello spazio o dello spazio-tempo. Tale funzione prende il nome di forma d'onda.



Cosa cerchiamo noi?

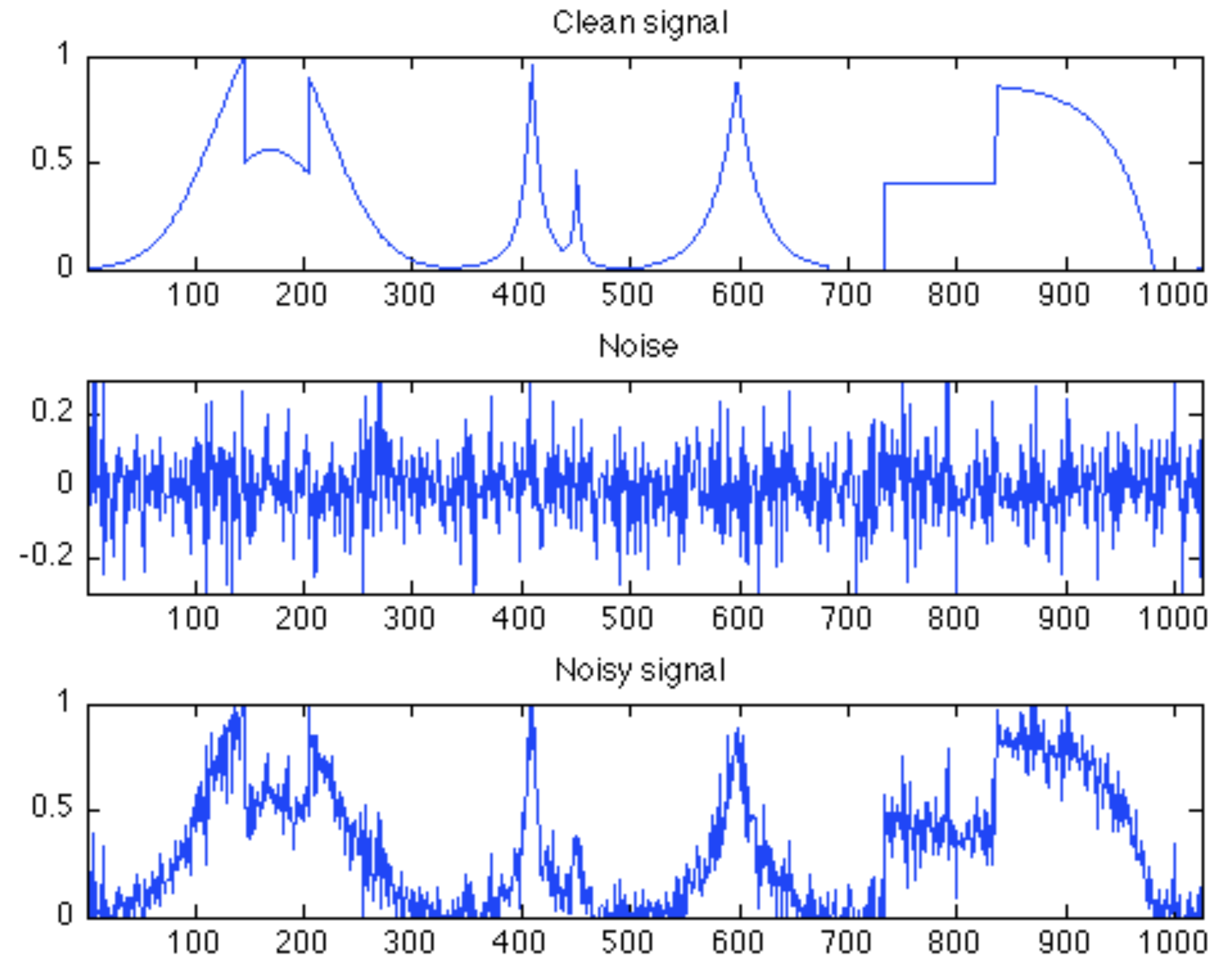
Un segnale elettrico, che si traduce come una variazione di tensione o corrente nel tempo

- La tensione : quantità di energia necessaria per spostare un'unità di carica elettrica positiva dal punto a potenziale minore al punto a potenziale maggiore. Si misura in Volt.
- La corrente : quantità di carica elettrica passante per un punto nell'unità di tempo. Si misura in Ampere.

Rumore

Cos'è?

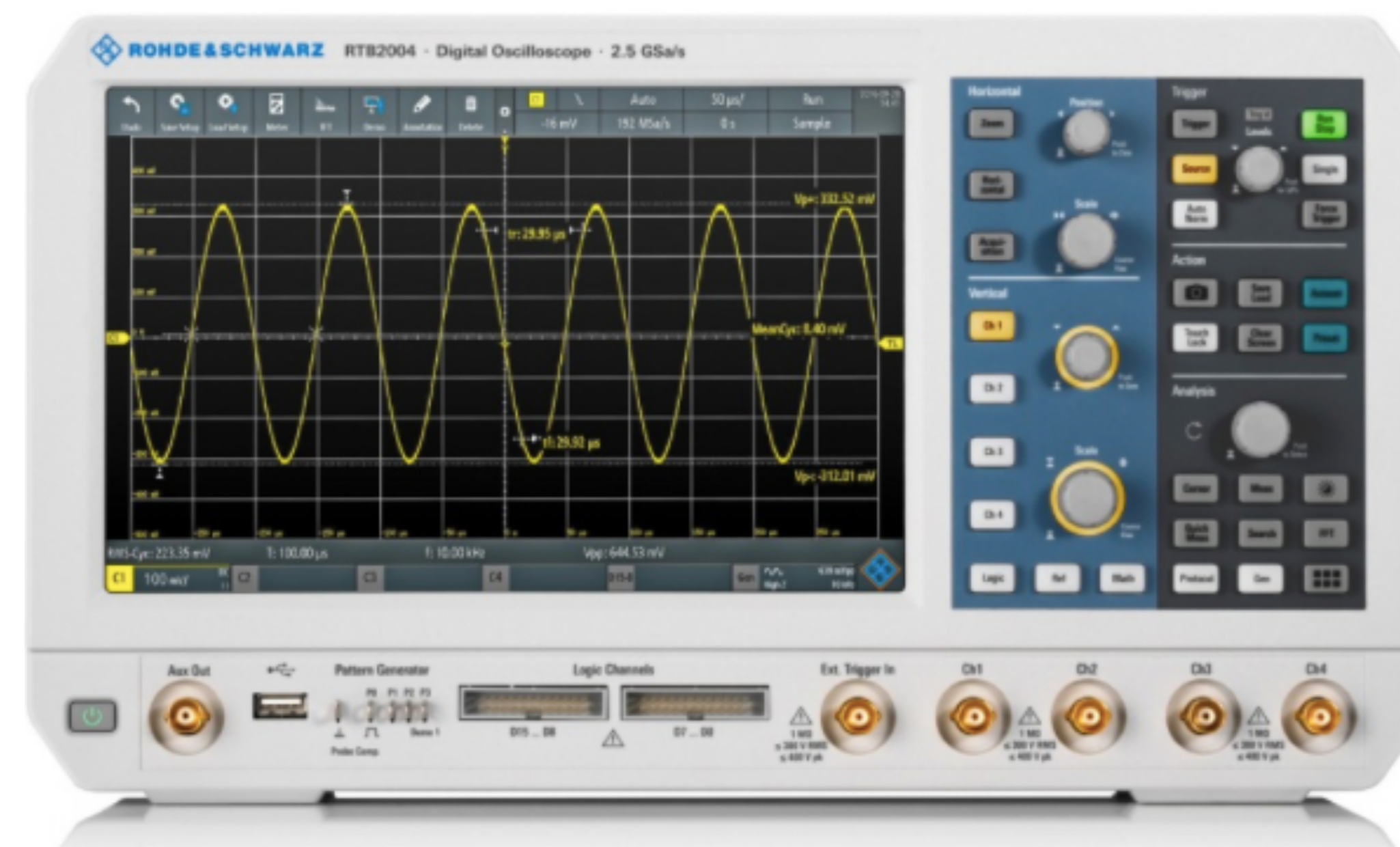
- In elettronica il rumore (noise) è l'insieme di segnali in tensione o corrente elettrica indesiderati che si sovrappongono al segnale utile trasmesso su un canale.
- Il rumore può essere prodotto all'interno degli stessi dispositivi elettronici oppure può provenire dall'esterno (come nel caso delle interferenze). Il rumore può essere in generale schematizzato come un segnale indesiderato di natura casuale che si somma al segnale utile desiderato.



Oscilloscopio

L'oscilloscopio è uno strumento di misura elettronico che consente di visualizzare, su un grafico bidimensionale, l'andamento nel dominio del tempo dei segnali elettrici ed effettuare misure a lettura diretta di tensione (rappresentata sull'asse verticale) e periodo (con il tempo rappresentato sull'asse orizzontale).

La frequenza massima dei segnali visualizzabili, così come la risoluzione temporale, ovvero la più rapida variazione rilevabile, dipende dalla banda passante dello strumento, a sua volta dipendente dalla qualità e in ultima analisi dal costo. Si spazia dalle decine di MHz adatti per lavorare con segnali audio e televisivi, ai costosi modelli digitali da diversi GHz.



Per ottenere una traccia stabile gli oscilloscopi moderni dispongono di una funzione chiamata trigger (innesco): questo circuito fa partire la scansione solo in corrispondenza del verificarsi di un evento sul segnale in ingresso, per esempio il superamento di una certa soglia di tensione. Dopo avere completato la scansione da sinistra a destra, l'oscilloscopio rimane in attesa di un nuovo evento. In questo modo si ottiene la visualizzazione di un grafico di tensione in funzione del tempo.

Ora sta a voi!