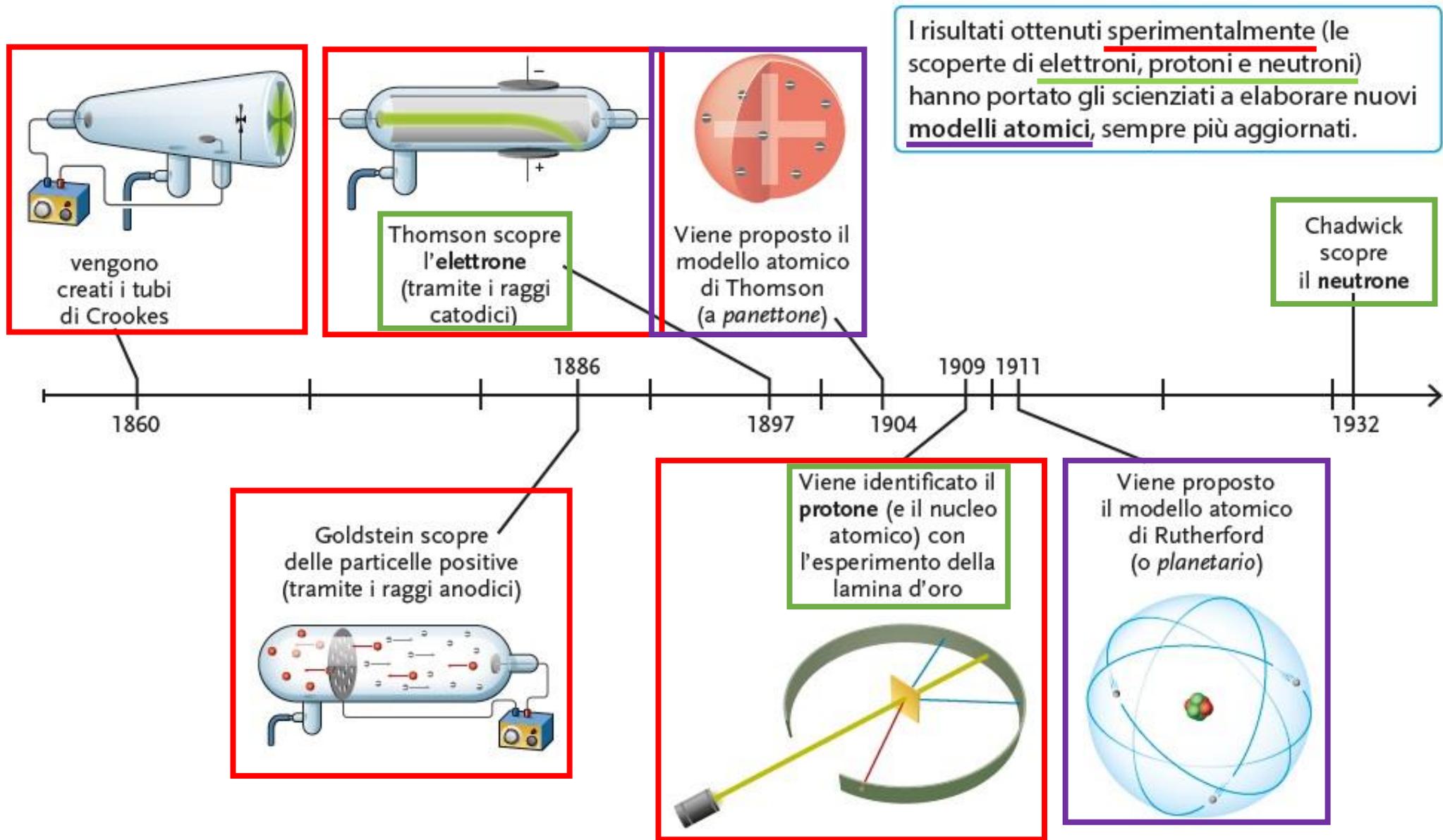


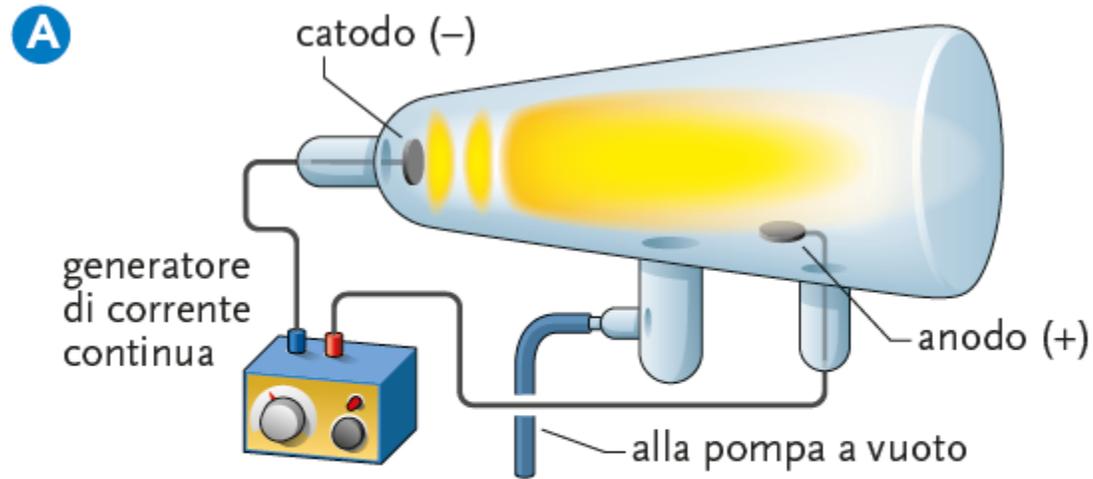


**Dalla scoperta dell'elettrone al  
modello atomico quanto-meccanico**

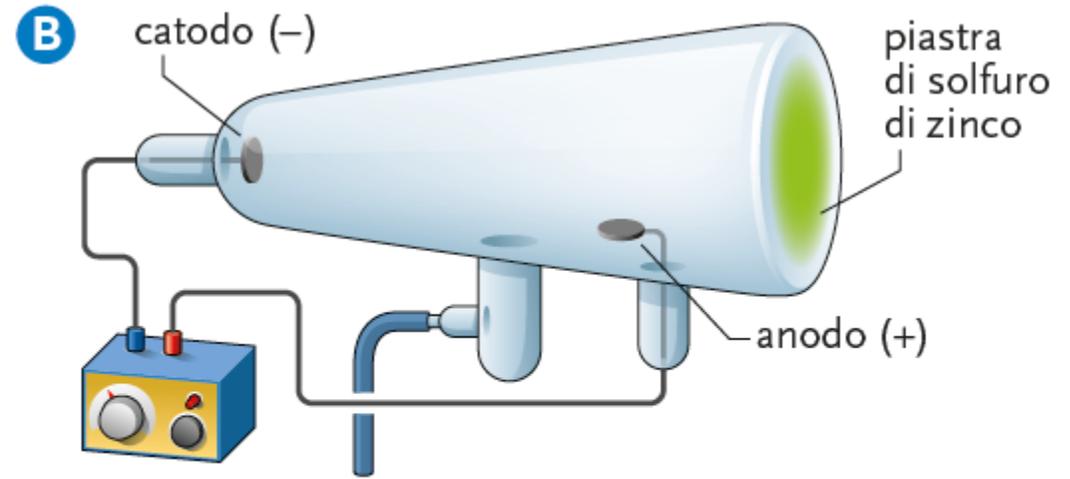
# La scoperta delle particelle



# I tubi catodici



La presenza del gas rarefatto (neon) provoca un bagliore giallo-arancio quando agli elettrodi viene applicata una differenza di potenziale molto elevata [A].

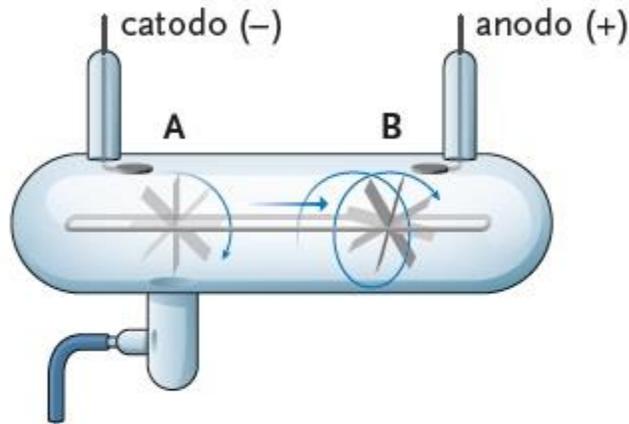


Se il gas è ancora più rarefatto si può notare solo una macchia verdastra nella direzione opposta al catodo, purché la parete del tubo sia stata ricoperta da solfuro di zinco [B].

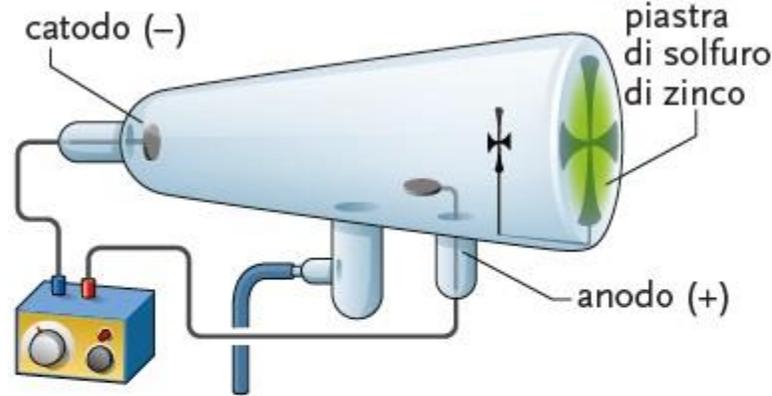
# Le particelle negative

## 1 RAGIONA CON LO SCHEMA

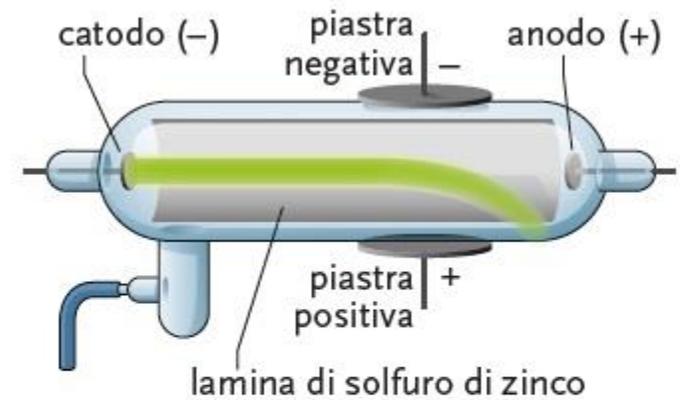
Com'è stato dimostrato da Crookes che i raggi catodici sono formati da particelle negative?



1 Il mulinello posto sul passaggio dei raggi catodici invisibili gira in senso orario e si sposta dalla posizione A alla posizione B, sintomo che le particelle passano dal catodo verso l'anodo: sono **particelle** perché, toccando le lamine del mulinello, ne provocano la rotazione.

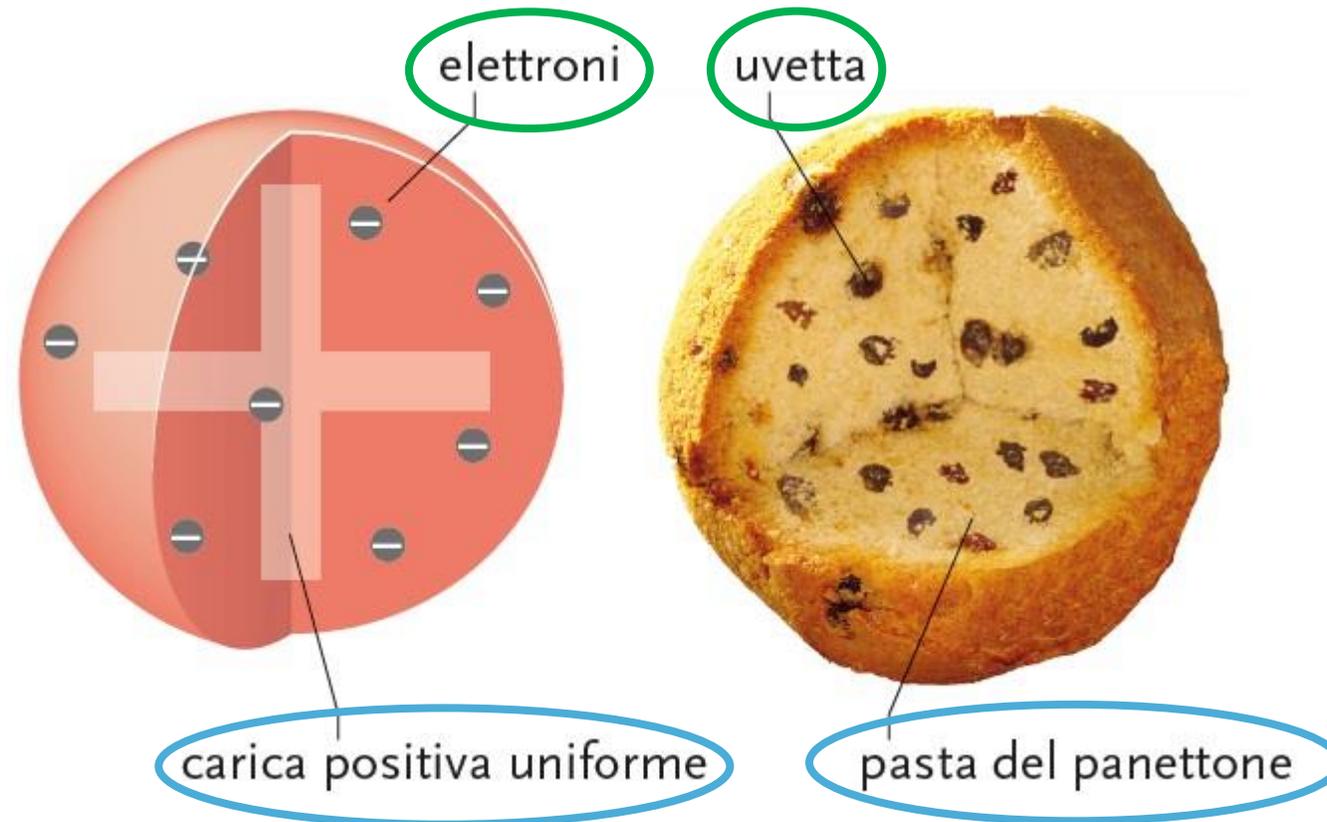


2 Sulla parete opposta al catodo, ricoperta da solfuro di zinco, viene proiettata un'ombra a forma di croce di Malta, la stessa della lamina di metallo fissata nel percorso dei raggi catodici, perché le **particelle** che formano i raggi non riescono ad attraversarla.

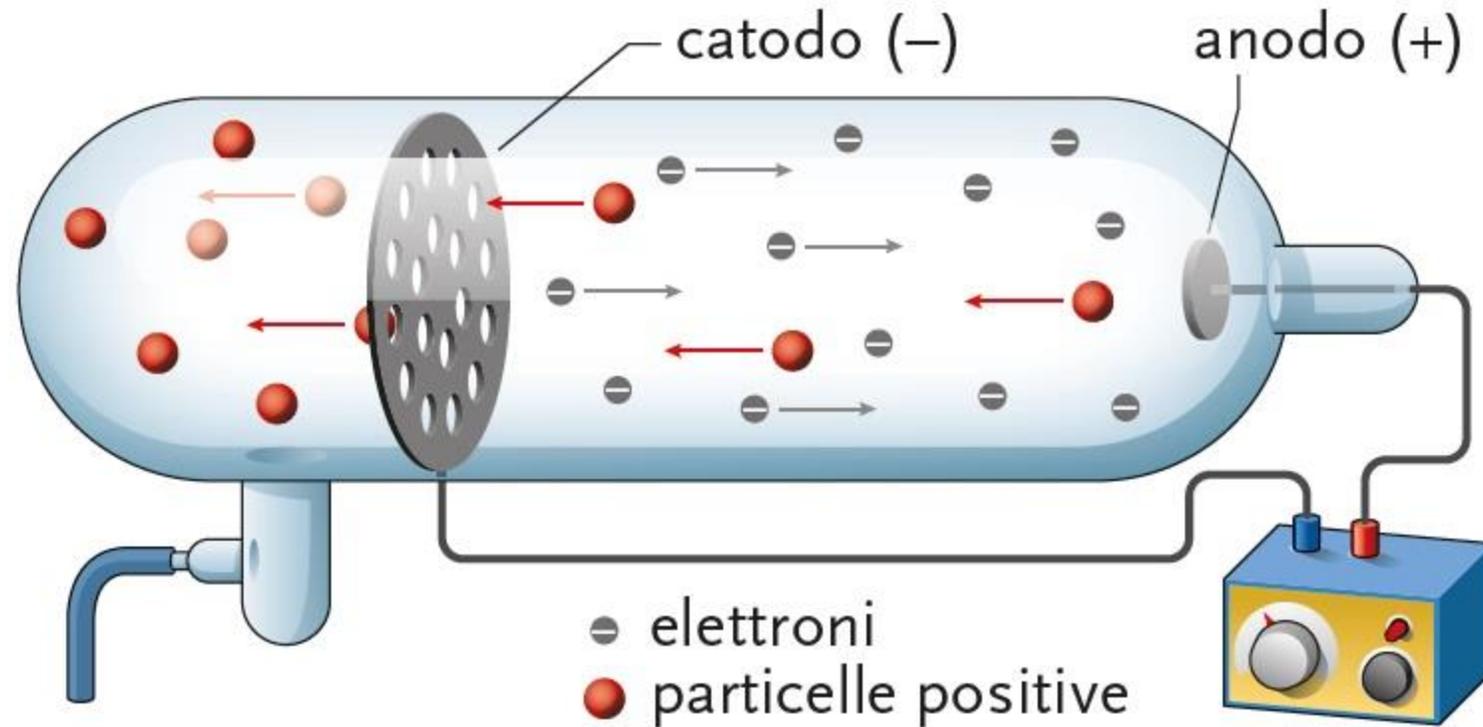


3 Le particelle sono **cariche negativamente** perché i raggi catodici, vengono deviati per azione di un campo magnetico o elettrico (verso la piastra carica positivamente).

# Il modello atomico di Thomson

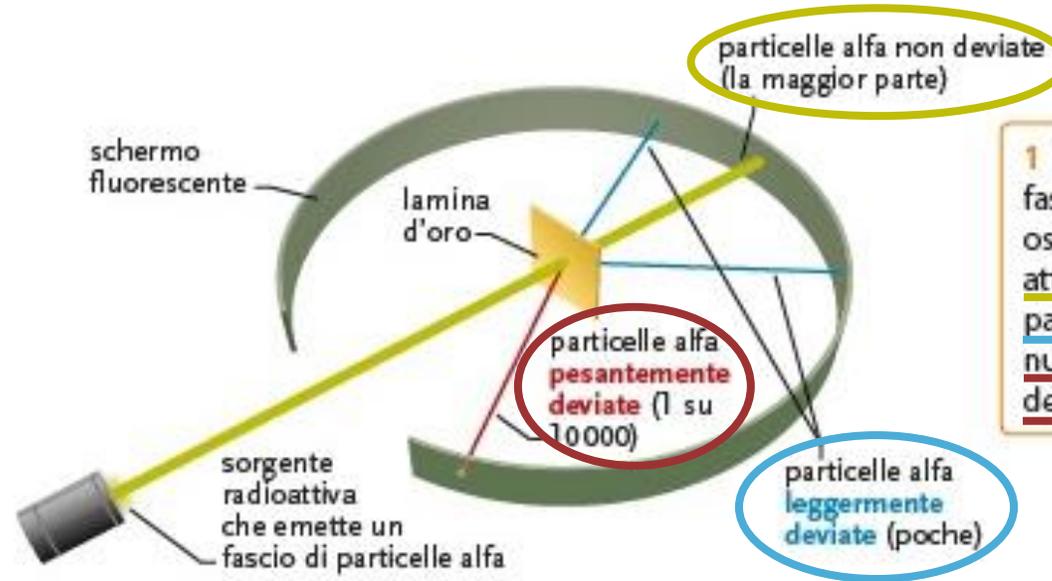
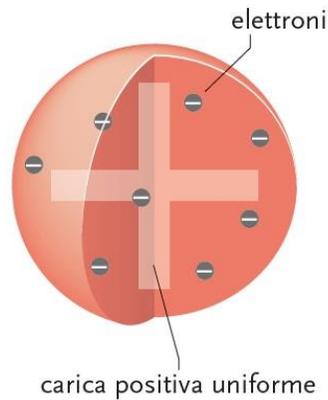


# I raggi canale (o anodici)



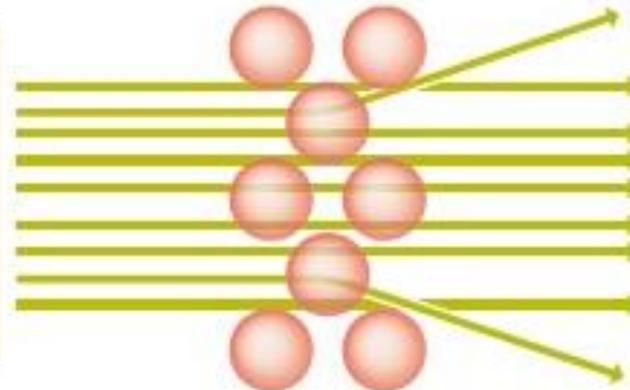
Esistono anche delle particelle positive e sono piccolissime quando il gas nel tubo è l'idrogeno

# L'esperimento di Rutherford



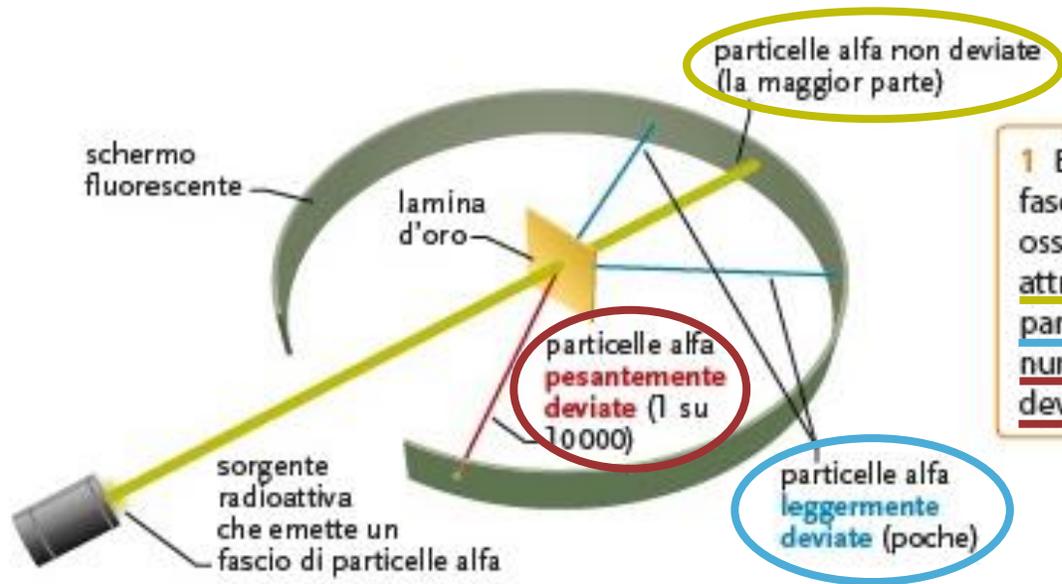
1 Bombardando una sottile lamina d'oro con un fascio di particelle  $\alpha$ , Rutherford e i suoi allievi osservarono che la maggior parte delle particelle attraversava la lamina indisturbata. Solo, alcune particelle venivano leggermente deviate e un numero ancora più piccolo veniva pesantemente deviato, quasi respinto indietro!

**Cosa prevedeva il modello di Thomson?**



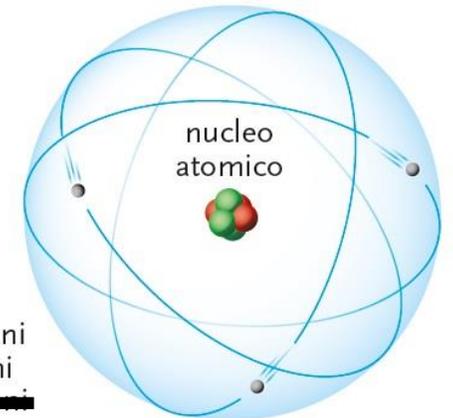
2 I risultati ottenuti erano in netto contrasto con il modello di Thomson: la distribuzione della carica sull'intero atomo infatti non poteva giustificare queste deviazioni così marcate delle particelle  $\alpha$  che, vista la poca densità di carica positiva ipotizzata da Thomson, avrebbero tutte dovuto attraversare la lamina senza deviazioni (o al massimo con deviazioni veramente minime).

# L'esperimento di Rutherford

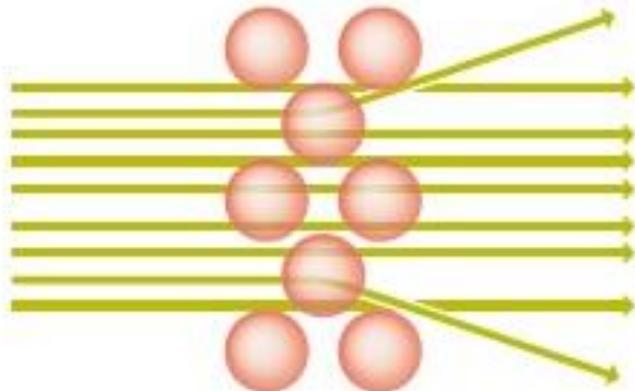


1 Bombardando una sottile lamina d'oro con un fascio di particelle  $\alpha$ , Rutherford e i suoi allievi osservarono che la maggior parte delle particelle attraversava la lamina indisturbata. Solo, alcune particelle venivano leggermente deviate e un numero ancora più piccolo veniva pesantemente deviato, quasi respinto indietro!

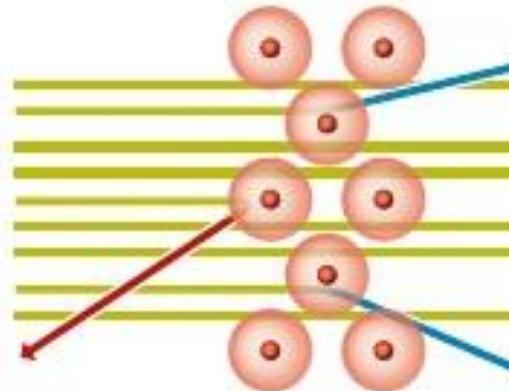
## Video



Cosa prevedeva il modello di Thomson?

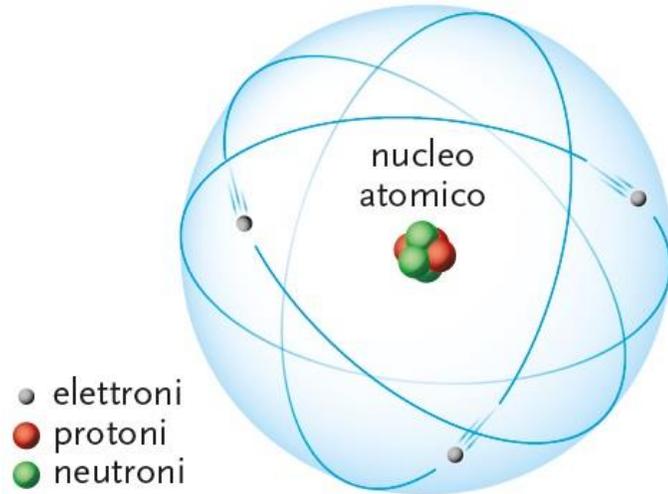


Cosa ipotizzò quindi Rutherford?



3 Rutherford allora intuì che le particelle positive erano tutte concentrate in pochissimo spazio al centro dell'atomo: nacque così l'idea del nucleo, ancora oggi accettata. Per questo motivo le pochissime particelle  $\alpha$  che urtavano il nucleo, un concentrato di carica positiva, potevano essere addirittura respinte indietro. Quest'idea è alla base del *modello atomico di Rutherford*.

# Le proprietà delle particelle subatomiche

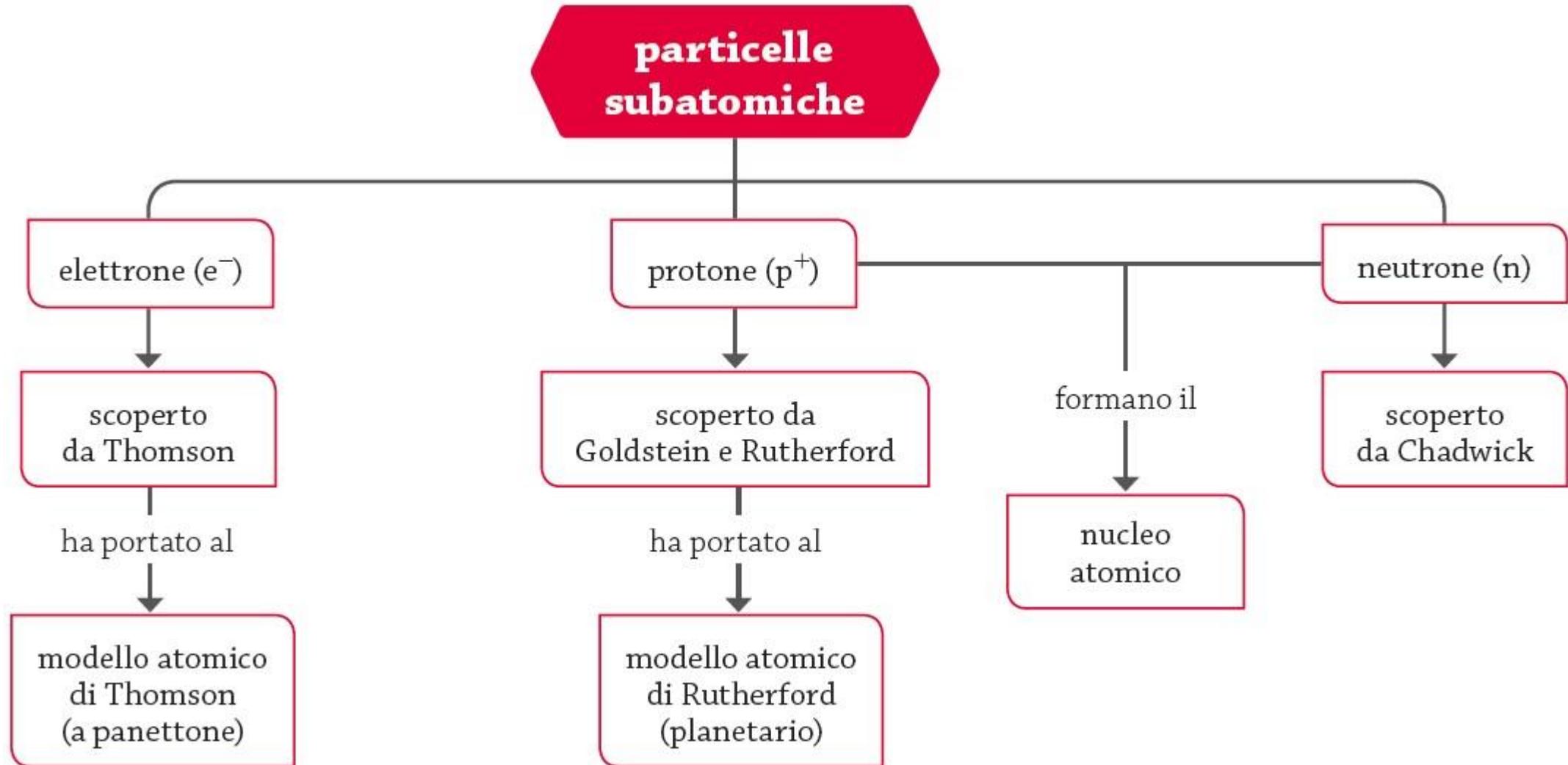


L'immagine non è in scala: se il nucleo fosse davvero di queste dimensioni, sarebbero necessari cento schermi di un cinema per poter disegnare correttamente lo spazio occupato dagli elettroni: la materia è infatti composta prevalentemente da spazio vuoto!

**Tabella 1** Le proprietà delle particelle subatomiche.

Particella	Simboli	Massa (kg)	Carica (C)	Carica relativa
protone	$p^+$ 	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$+1,6022 \cdot 10^{-19}$	+1
neutrone	$n$ 	$1,675 \cdot 10^{-27}$	0	0
elettrone	$e^-$ 	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$-1,6022 \cdot 10^{-19}$	-1

# Ricapitolando...

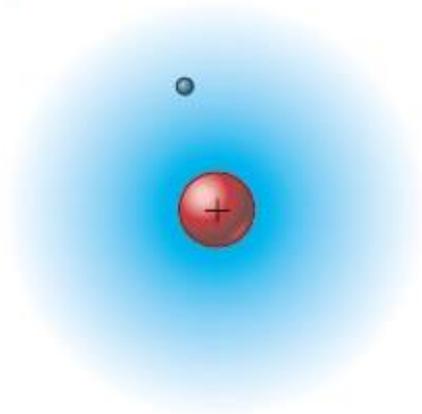


# Gli isotopi

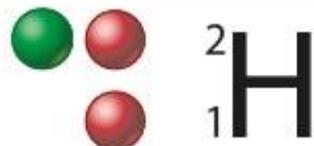
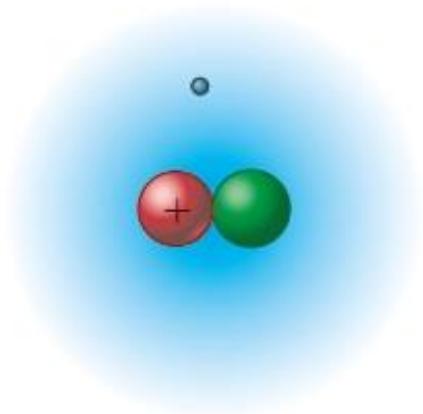
1

RAGIONA CON LO SCHEMA

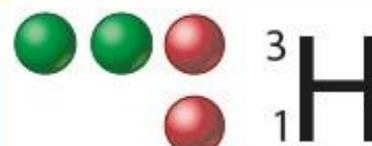
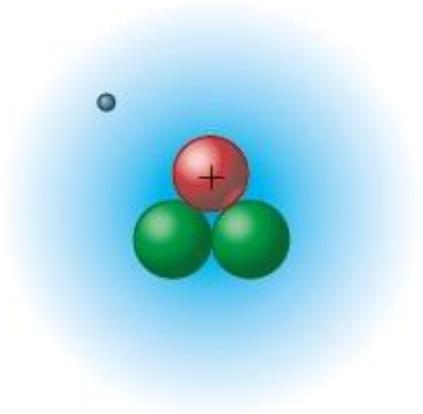
In cosa li differenziano i tre diversi tipi di idrogeno conosciuti?



Prozio (99,985%)



Deuterio (0,015%)

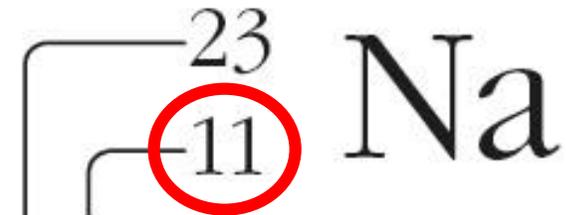


Trizio (sintetico)

Tutti e tre questi atomi appartengono allo stesso elemento (idrogeno) perché hanno tutti lo stesso numero di **protoni** (quindi stesso numero atomico  $Z = 1$ ). Quello che cambia è il numero di **neutroni** e, di conseguenza, il numero di massa  $A$  (che sale da 1 a 3 man mano che i neutroni passano da 0 a 2).

# La notazione di un isotopo

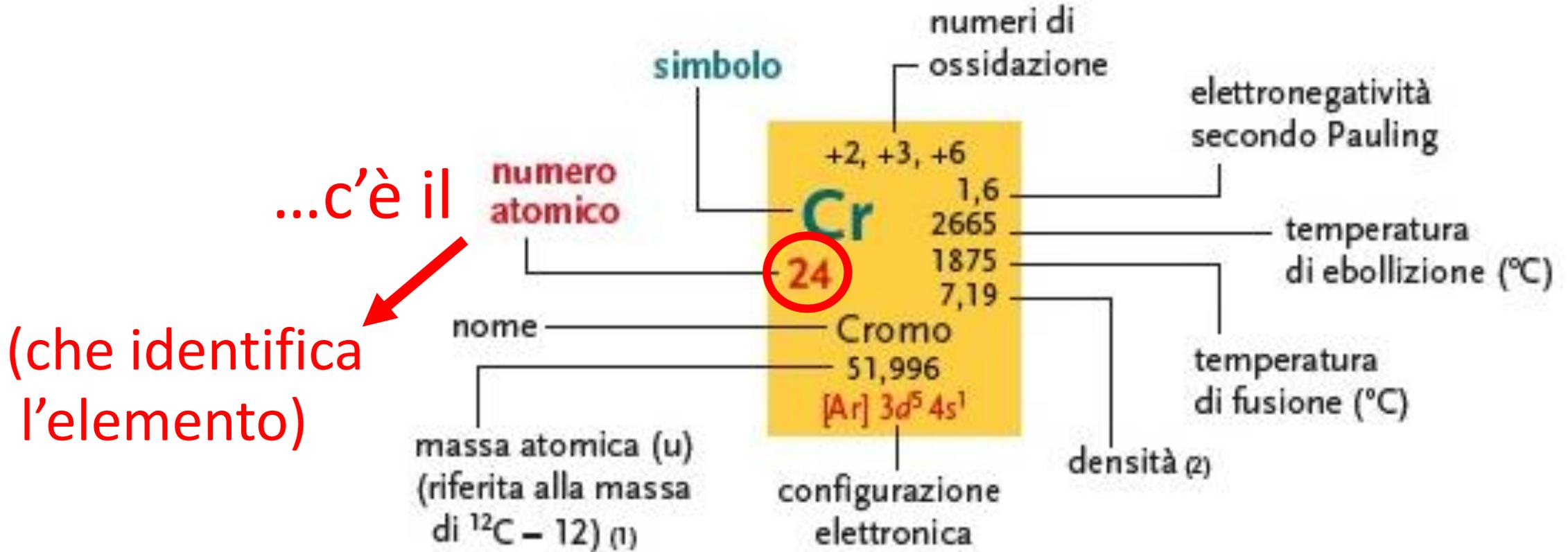
Numero di massa  $\rightarrow A$   $X$   $\rightarrow$  Simbolo dell'elemento  
Numero atomico  $\rightarrow Z$



**11 protoni = 11 elettroni**

**$23 - 11 = 12$  neutroni**

# Nella tavola periodica...

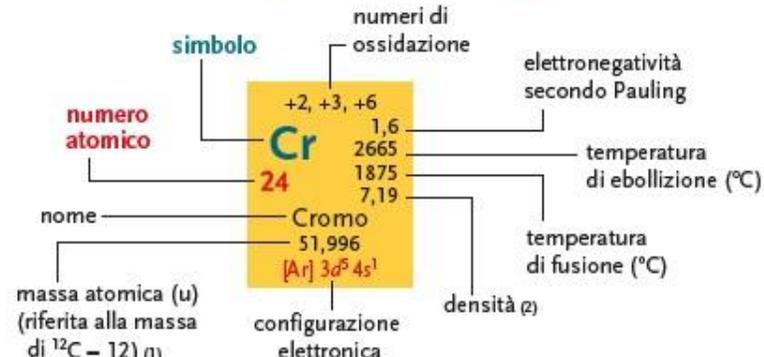


ma NON ci sono i numeri di massa degli isotopi!

P.s.: sarebbe utile avere una tavola periodica in cui il numero atomico sia posizionato in basso a sinistra rispetto al simbolo dell'elemento

# Tavola periodica degli elementi

GRUPPI																										
		1											13	14	15	16	17	18								
		IA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA								
1		H 1 Idrogeno 1,0079 1s <sup>1</sup>											B 5 Boro 10,81 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>	C 6 Carbonio 12,011 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	N 7 Azoto 14,0067 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	O 8 Ossigeno 15,9994 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>	F 9 Fluoro 18,99840 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	Ne 10 Neon 20,1797 [He] 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>								
2		Li 3 Litio 6,941 [He] 2s <sup>2</sup>	Be 4 Berillio 9,01218 [He] 2s <sup>2</sup>											Al 13 Alluminio 26,9815 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	Si 14 Silicio 28,0855 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	P 15 Fosforo 30,97376 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>	S 16 Zolfo 32,066 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>	Cl 17 Cloro 35,453 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	Ar 18 Argon 39,948 [Ne] 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>							
3		Na 11 Sodio 22,98977 [Ne] 3s <sup>1</sup>	Mg 12 Magnesio 24,305 [Ne] 3s <sup>2</sup>											K 19 Potassio 39,0983 [Ar] 4s <sup>1</sup>	Ca 20 Calcio 40,08 [Ar] 4s <sup>2</sup>											Kr 36 Kriptone 83,80 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>
4		K 19 Potassio 39,0983 [Ar] 4s <sup>1</sup>	Ca 20 Calcio 40,08 [Ar] 4s <sup>2</sup>	Sc 21 Scandio 44,9559 [Ar] 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>	Ti 22 Titanio 47,88 [Ar] 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>	V 23 Vanadio 50,9415 [Ar] 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>	Cr 24 Cromo 51,996 [Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>	Mn 25 Manganese 54,9380 [Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>	VIII B			Ni 28 Nichel 58,69 [Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	Cu 29 Rame 63,546 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>	Zn 30 Zinco 65,38 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	Ga 31 Gallio 69,72 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup>	Ge 32 Germanio 72,59 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	As 33 Arsenico 74,9216 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	Se 34 Selenio 78,96 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	Br 35 Bromo 79,904 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	Kr 36 Kriptone 83,80 [Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>						
5		Rb 37 Rubidio 85,4678 [Kr] 5s <sup>1</sup>	Sr 38 Stronzio 87,62 [Kr] 5s <sup>2</sup>	Y 39 Ittrio 88,9059 [Kr] 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	Zr 40 Zirconio 91,22 [Kr] 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>	Nb 41 Niobio 92,9064 [Kr] 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>	Mo 42 Molibdeno 95,94 [Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>	Tc 43 Tecnecio (98) [Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>	Ru 44 Rutenio 101,07 [Kr] 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>	Rh 45 Rodio 102,9055 [Kr] 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>	Pd 46 Palladio 106,42 [Kr] 4d <sup>10</sup>	Ag 47 Argento 107,868 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>	Cd 48 Cadmio 112,41 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	In 49 Indio 114,82 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>	Sn 50 Stagno 118,71 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>	Sb 51 Antimonio 121,75 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>	Te 52 Tellurio 127,60 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>	I 53 Iodio 126,9045 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>	Xe 54 Xenone 131,29 [Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>							
6		Cs 55 Cesio 132,905 [Xe] 6s <sup>1</sup>	Ba 56 Bario 137,33 [Xe] 6s <sup>2</sup>	La 57 Lantanio 138,905 [Xe] 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Hf 72 Hafnio 178,49 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	Ta 73 Tantalio 180,9479 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	W 74 Tungsteno 183,85 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	Re 75 Renio 186,207 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	Os 76 Osmio 190,2 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	Ir 77 Iridio 192,22 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	Pt 78 Platino 195,08 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>	Au 79 Oro 196,9665 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>	Hg 80 Mercurio 200,59 [Xe] 4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	Tl 81 Tallio 204,383 [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	Pb 82 Piombo 207,2 [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	Bi 83 Bismuto 208,9804 [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	Po 84 Polonio (209) [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	At 85 Astatina (210) [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	Rn 86 Radone (222) [Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>							
7		Fr 87 Francio 223 [Rn] 7s <sup>1</sup>	Ra 88 RADIO 226 [Rn] 7s <sup>2</sup>	Ac 89 Attinio (227) [Rn] 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	Rf 104 Rutherfordio (261) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>	Db 105 Dubnio (262) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup>	Sg 106 Seaborgio (266) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup>	Bh 107 Bohrio (270) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup>	Hs 108 Hassio (265) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>	Mt 109 Meitnerio (268) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>	Ds 110 Darmstadtio (281) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>8</sup> 7s <sup>2</sup>	Rg 111 Roentgenio (282) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup>	Cn 112 Copernicio (285) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>	Nh 113 Nihonio (286) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup>	Fl 114 Flerovio (289) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>2</sup>	Mc 115 Moscovio (289) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>3</sup>	Lv 116 Livermorio (293) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>4</sup>	Ts 117 Tennessinio (294) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>5</sup>	Og 118 Oganesson (294) [Rn] 5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>6</sup>							



- blocco s
- blocco d
- blocco p
- blocco f

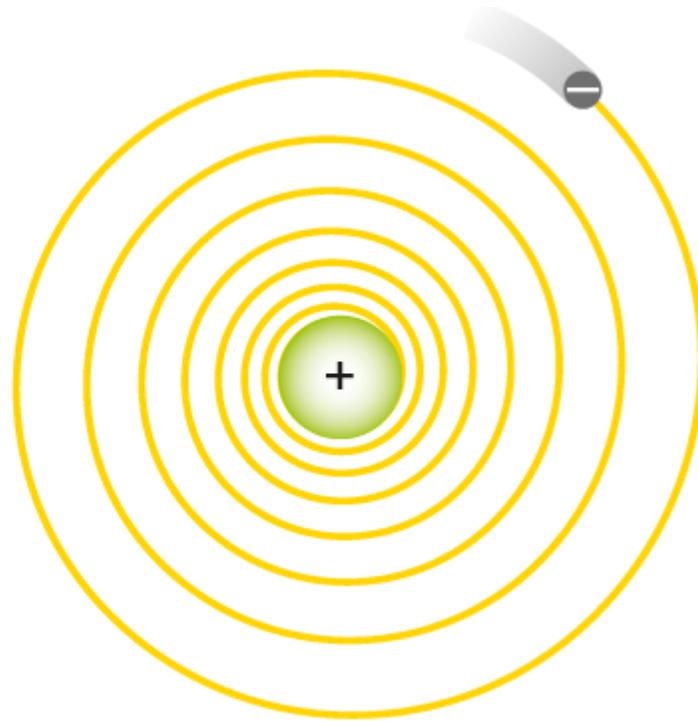
(1) per alcuni elementi radioattivi viene indicata, tra parentesi, la massa dell'isotopo più stabile

(2) per i solidi e i liquidi la densità è espressa in g/mL a 20 °C; per i gas in g/L a 0 °C e a 1 atm

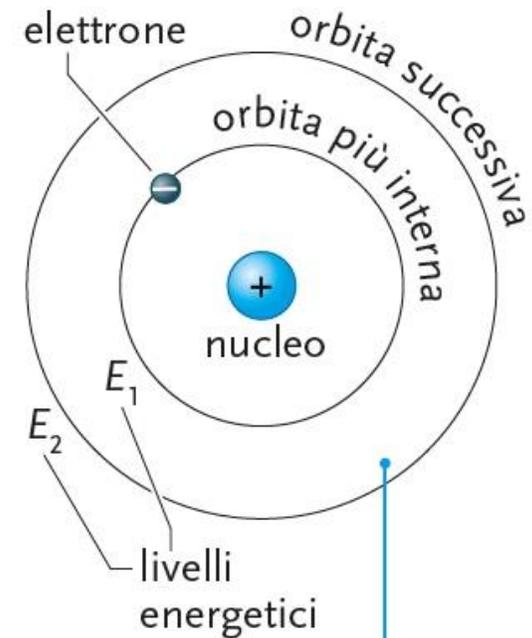
# Dal modello di Rutherford a quello di Bohr

## Problema modello di Rutherford

**Figura 7** Percorso degli elettroni, attratti dal nucleo positivo, secondo le leggi dell'elettromagnetismo note ai tempi di Rutherford.

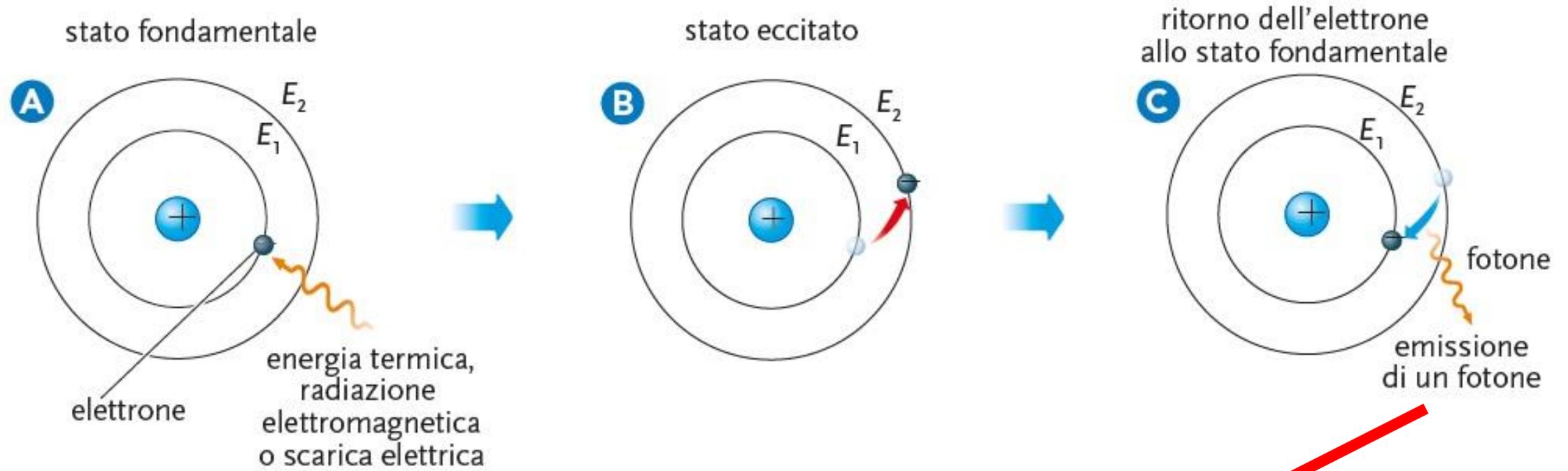


**Soluzione: modello di Bohr**  
(orbite con energia quantizzata)



Il raggio dell'orbita più interna è di 0,0529 nm.

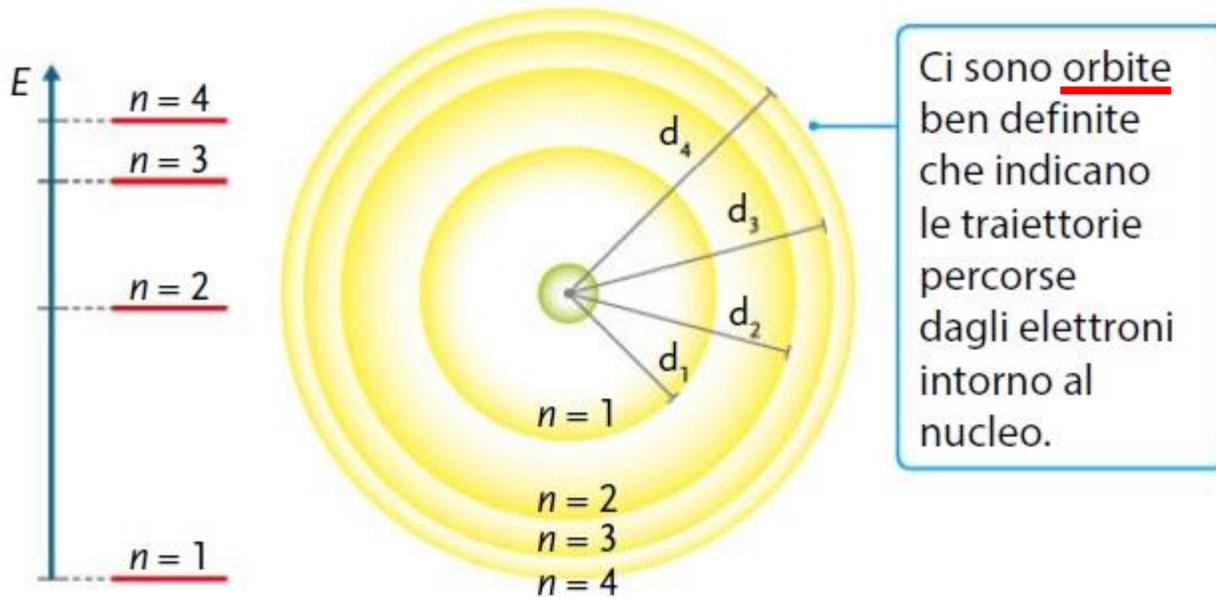
# La quantizzazione dell'energia



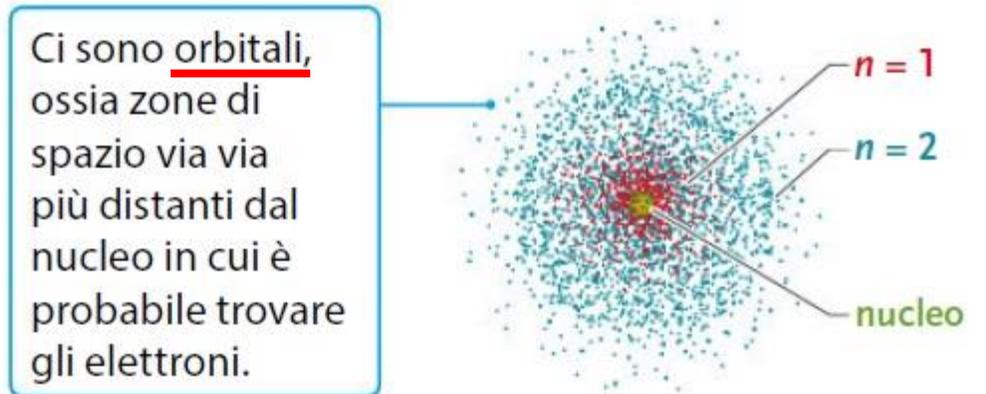
**Energia assorbita = Energia emessa**

# Dal modello di Bohr a quello quantomeccanico

Modello di Bohr



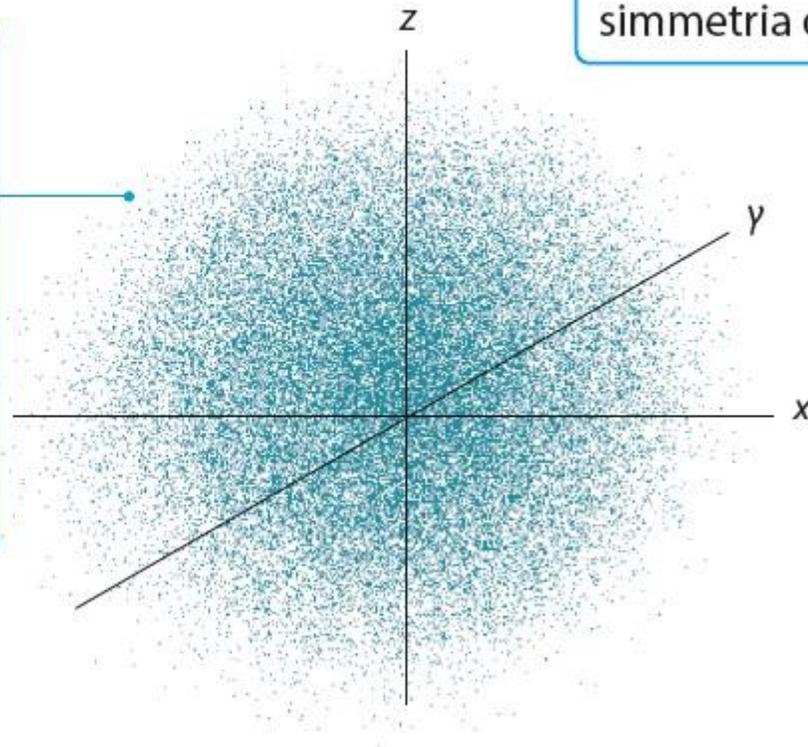
Modello quantomeccanico



# Rappresentazioni del modello quantomeccanico

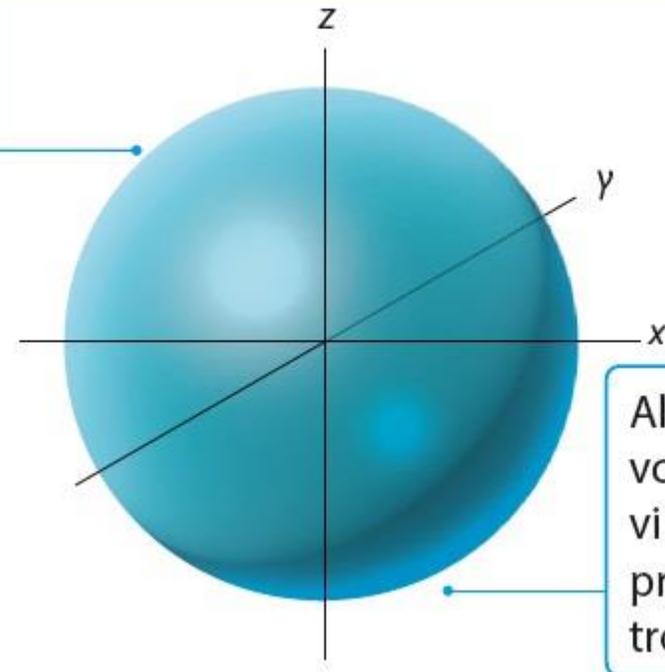
Rappresentazione  
“probabilistica”

Nella rappresentazione come **nube elettronica**, i punti del disegno si addensano laddove la densità di probabilità ( $\psi^2$ ) è più alta.



Rappresentazione semplificata  
(più utilizzata)

Nella rappresentazione solida viene rappresentato il **profilo tridimensionale** dell'orbitale, evidenziando così la geometria e la simmetria della distribuzione elettronica (in questo caso sferica).



All'interno del volume della sfera vi è il 90% della probabilità di trovare l'elettrone.

# Evoluzione dei modelli atomici

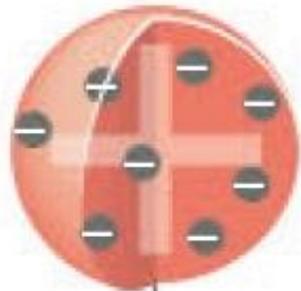
evoluzione storica dei modelli della struttura atomica

**Dalton**  
“a pallina”

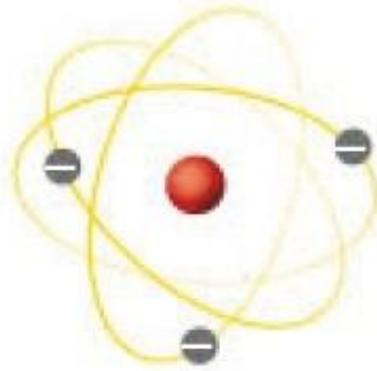


1808

**Thomson**  
“a panettone”

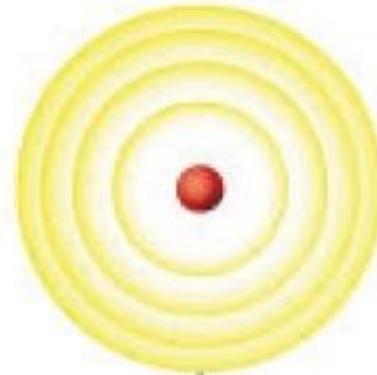


**Rutherford**  
“planetario”



1904

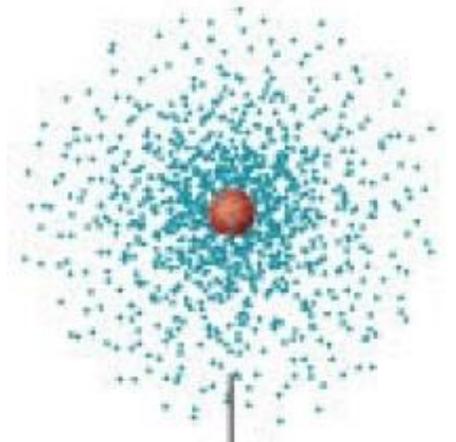
**Bohr**  
“atomo  
quantizzato”



1911

1913

**Schrödinger-  
Heisenberg**  
“quantomeccanico”



1926-27

# Esercitazione di laboratorio: “I saggi alla fiamma”

