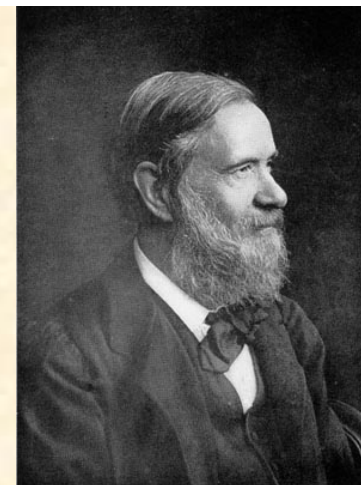


**SIF 2019**

L'AQUILA, 23 -27 SETTEMBRE 2019



G S  
S I  
GRUPPO  
SCIENTIFICO



# **Stanislao Cannizzaro e il suo contributo allo sviluppo della Chimica moderna**

**Roberto Zingales**  
**robertozingales@outlook.it**  
**L'Aquila, 24 settembre 2019**

# Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910)

**E' stato una figura centrale nello sviluppo della Chimica europea, non soltanto per quanto riguarda la ricerca scientifica, ma anche dal punto di vista concettuale, didattico e organizzativo.**



# Stanislao Cannizzaro (1826 – 1910)

Enunciando la *legge degli atomi*, risolse il problema della determinazione dei pesi atomici;

raccolse intorno a sé a Palermo numerosi giovani ricercatori provenienti da diverse città d'Europa, che costituirono una vera e propria *Scuola chimica* di livello internazionale;

sollecitò l'istituzione dei *Laboratori chimici delle Gabelle* e di quelli di *Sanità*, restituendo alla Chimica il ruolo che le competeva nella vita sociale di un paese moderno.

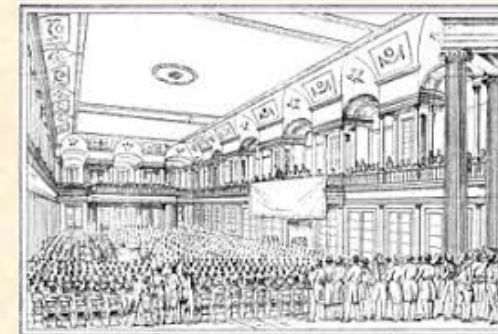
# **Cenni biografici**

# Gli studi

**Nato a Palermo nel 1826, a soli 15 anni si iscrisse alla Facoltà di Medicina della locale Università, frequentando assiduamente le lezioni di Fisiologia di Michele Foderà (1792 – 1848).**



**Presentò tre comunicazioni sulla trasmissione nervosa, alla VII Adunanza degli Scienziati Italiani (Napoli, 1845).**



# La carriera

Lo notò Macedonio Melloni, che lo raccomandò a Raffaele Piria, Professore di Chimica all'Università di Pisa;

questi lo arruolò come preparatore per il proprio corso di lezioni, offrendogli l'opportunità di svolgere un intenso e proficuo tirocinio chimico.



**Macedonio Melloni**  
(1798 – 1854)



**Raffaele Piria**  
(1816 – 1865)

# **La rivoluzione**

**A gennaio del 1848, prese parte attiva ai moti insurrezionali scoppiati a Palermo, che portarono alla dichiarazione di indipendenza della Sicilia;**

**fu eletto deputato al Parlamento siciliano e nominato ufficiale di artiglieria,**

**e incaricato della difesa di Taormina contro le preponderanti truppe borboniche, comandate dal generale Carlo Filangieri (1784 – 1867).**

# L'esilio

**Dopo la sconfitta, fu costretto all'esilio, prima a Marsiglia e poi a Parigi,**

**dove, grazie alla presentazione di Piria, lavorò sotto la guida di Stanislas Cloez (1817 – 1883) nel laboratorio di Eugene Chevreul (1786 – 1889),**

**e frequentò le lezioni di calorimetria di Henri-Viktor Regnault (1810 – 1878).**

# Il rientro in Italia

**Nel 1851 rientrò in Italia, come professore di Chimica, Fisica e Meccanica, presso il Collegio Nazionale di Alessandria;**



**nel 1855 fu chiamato alla cattedra di Chimica presso l'Università di Genova.**



# Il ritorno a Palermo



**Dopo la cacciata dei Borboni (1860), tornò a Palermo, per contribuire alla rinascita culturale, sociale ed economica del proprio Paese.**

**A ottobre del '61, fu nominato professore di Chimica organica e inorganica all'Università di Palermo, della quale fu anche Rettore, nel 1865.**

# Attività a Palermo



**Riuscì a ottenere un laboratorio chimico per la ricerca e la didattica, contribuì alla fondazione dell'Istituto Tecnico, all'apertura di scuole serali, e, come direttore dell'Ufficio sanitario municipale, coordinò le operazioni di disinfestazione della città, durante l'epidemia di colera del 1867.**

# **Il trasferimento a Roma**

**Nel 1872, fu chiamato a Roma come senatore del Regno d'Italia, e subito dopo come Professore di Chimica organica nella rinnovata Università,**

**con l'incarico preciso di farne un centro scientifico di risonanza internazionale;**

**in cambio, ottenne la realizzazione di un nuovo Istituto di Chimica, nei locali dell'ex convento francescano di Via Panisperna.**

# Il trasferimento a Roma

Ottenne anche che Pietro Blaserna fosse nominato direttore dell'Istituto di Fisica, da realizzarsi nei locali attigui a quello di Chimica e a quello di Fisiologia; negli anni '30 del novecento, in questo Istituto avrebbero lavorato Enrico Fermi (1901 – 1954) e i suoi collaboratori.



**Pietro Blaserna  
(1836 – 1918)**

# Nel Pantheon

**Cannizzaro insegnò fino al 1909,  
un anno prima di spegnersi:**

**fu sepolto nel cimitero acattolico  
del Testaccio, da dove,**

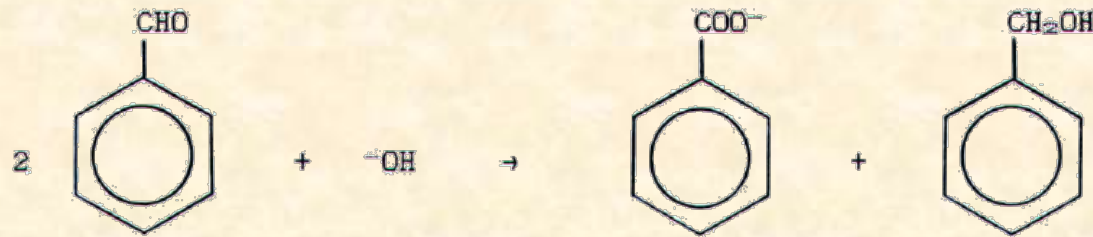
**nel 1926, fu trasferito a Palermo  
e inumato nella chiesa di San  
Domenico, Pantheon dei siciliani  
illustri.**



# **L'attività scientifica**

# Stanislao Cannizzaro

Nel **1853**, trattando con potassa alcolica l'essenza di mandorle amare, ottiene benzoato di potassio e alcol benzilico.



Era la prima chiara identificazione di un alcol della serie aromatica, ottenuto per dismutazione dell'aldeide benzilica, reazione oggi nota come *reazione di Cannizzaro*.

# La necessità di un laboratorio

Malgrado gli inizi promettenti, la sua attività di ricerca fu sempre limitata, oltre che dal tempo che dedicava ad altre attività, anche dalla *carenza di laboratori efficienti*, che, a parte Pisa, accomunava la maggior parte delle Università italiane.

Per tutta la vita, nelle varie sedi nelle quali insegnò, dovette battere per convincere le autorità politiche e accademiche a costruire un laboratorio di chimica adeguato, sia alle ricerche del Professore, che alle esercitazioni degli studenti.

# La necessità di un laboratorio

**Il soggiorno in Francia e l'esempio di Giessen, lo avevano convinto che, ormai, la Chimica, non poteva essere né praticata, né insegnata in maniera efficace senza la disponibilità di laboratori adeguati.**



# Un cambio di prospettiva

Il limitato accesso alle strutture laboratoriali lo costrinse ad adattarsi, e a orientarsi verso gli aspetti teorici, cioè verso la *Filosofia Chimica*.

Per migliorare la qualità e l'efficacia della propria didattica, riconsiderò i maggiori *ostacoli concettuali* incontrati dagli studenti, come pure dai chimici professionisti, nell'approccio alla disciplina.

# Gli ostacoli concettuali

Il problema che aveva travagliato la Chimica nella prima metà dell'Ottocento, ritardandone lo sviluppo, sia teorico che sperimentale,

stava nella *confusione* che regnava attorno ai concetti di *atomo*, *equivalente*, *molecola*,

e nel conseguente disaccordo sulle modalità con le quali determinare i pesi molecolari delle sostanze e i pesi atomici degli elementi.

# **La determinazione dei pesi atomici**

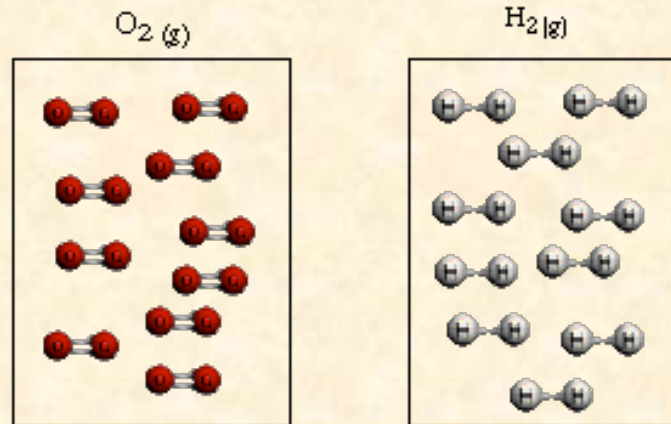
# Il principio di Avogadro



**Amedeo Avogadro**  
**(1776 – 1856)**

**Nel 1811, Avogadro aveva suggerito che volumi eguali di gas differenti, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contenessero lo stesso numero di particelle.**

# Il rifiuto



Equal Volumes and the Same Temperature and Pressure

La comunità scientifica si era, però, divisa sul significato da dare al termine particella,

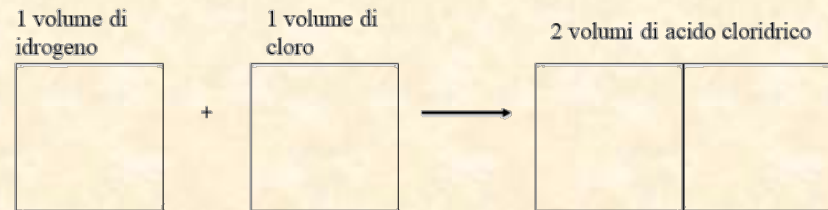
*cioè se identificarla con l'atomo o con la molecola.*

Questa incertezza generò risultati discordanti, che causarono un rifiuto generalizzato del principio di Avogadro, che cadde nel dimenticatoio.

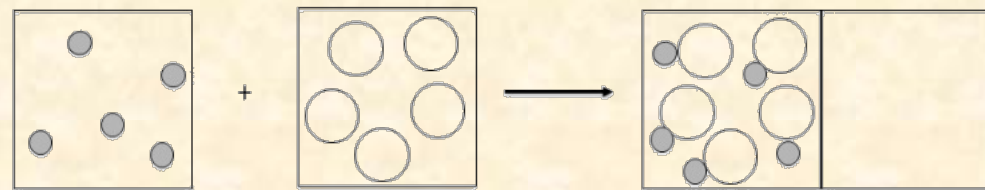
# Esperimento e interpretazione

## Formazione dell'acido cloridrico

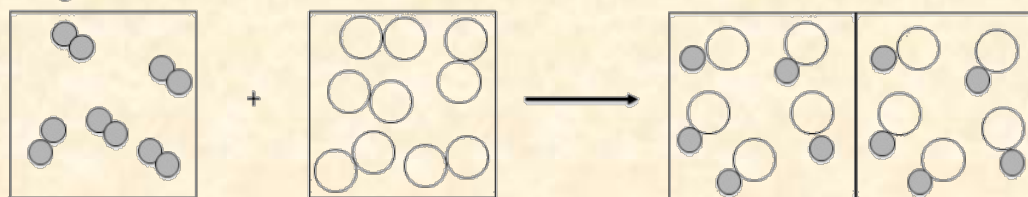
### Evidenza sperimentale (Gay-Lussac)



### Interpretazione di Dalton



### Interpretazione di Avogadro



# Un nuovo metodo

Cannizzaro rivalutò il principio di Avogadro,  
e mise a punto un metodo, semplice quanto  
corretto, per determinare i pesi atomici.

Lo espose in un lungo articolo, pubblicato nel 1858  
sulla rivista *Il Nuovo Cimento*,

e poi durante la sessione conclusiva del  
Primo Congresso Internazionale di Chimica  
(Karlsruhe, 3 - 5 settembre 1860).

# **Le finalità didattiche**

**Lo aveva elaborato, spinto dal desiderio di impostare le proprie lezioni alla chiarezza,**

**paradossalmente in un momento nel quale essa scarseggiava nelle idee dei chimici,**

**e i contrasti erano più spesso risolti con decisioni autoritarie, che sulla base di scelte ragionate e consapevoli.**

# La differenza atomo - molecola

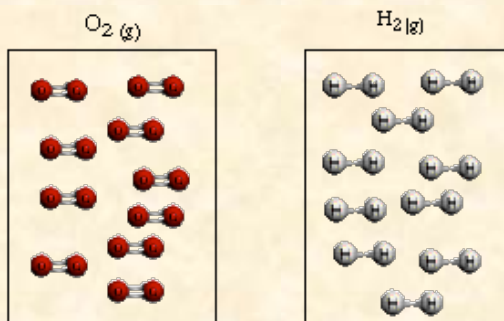
Occorreva innanzi tutto chiarire la differenza tra molecole e atomi:

le *molecole* potevano esistere indipendentemente, e erano costituite da due o più atomi, eguali o diversi,

gli *atomi* erano le vere particelle elementari, indivisibili, ma incapaci di esistere indipendentemente, al di fuori delle molecole.

Perciò, *il principio di Avogadro si riferiva alle molecole, e non agli atomi.*

# La determinazione dei pesi molecolari



Equal Volumes and the Same Temperature and Pressure

Dal confronto del loro peso con quello di un egual volume di un gas di riferimento, si potevano ottenere i pesi molecolari delle sostanze gassose:

$$\frac{d_x}{d_{rif}} = \frac{m_x \cdot V_{rif}}{V_x \cdot m_{rif}} = \frac{n_x \cdot M_x}{n_{rif} \cdot M_{rif}} = \frac{M_x}{M_{rif}}$$

con  $n_x = n_{rif}$ , se  $V_x = V_{rif}$ .

# L'unità di riferimento

**Essendo sempre presente nei composti con la percentuale in peso minore, l'idrogeno era già stato scelto da Dalton come unità di riferimento dei pesi atomici;**

**essendo anche il gas con il minore peso specifico, la sua molecola poteva essere presa come unità di riferimento dei pesi molecolari,**

**e di quelli atomici, purché si fosse stabilito definitivamente da quanti atomi era composta.**

# L'unità di riferimento

Basandosi su numerosi indizi sperimentali, che si erano andati accumulando negli anni,

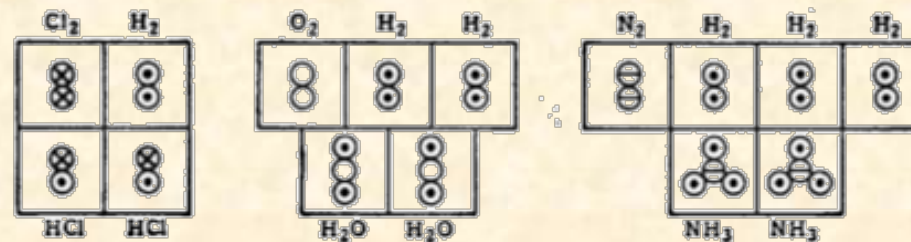


FIG. 79.—GAUDIN'S VOLUME DIAGRAMS.

e sull'ipotesi che gli atomi isolati non potessero esistere,

Cannizzaro partì dall'assunto che la molecola di idrogeno fosse biatomica e, per mantenere inalterata l'unità di riferimento, avesse peso molecolare eguale a due.

# La procedura

Scelto questo riferimento, ricavò i pesi molecolari delle sostanze gassose,

su scala *macroscopica*, nelle unità di peso correnti (per esempio, grammi),

ma grazie al principio di Avogadro e all'ipotesi che le molecole di una sostanza fossero tutti eguali,

li trasferì al piano *microscopico*, nel quale un *atomo* di idrogeno ha peso unitario.

# Grandezze macroscopiche

Combinando i pesi molecolari delle sostanze con la loro composizione percentuale,

calcolò *quanti grammi di ciascun elemento* fossero presenti in una quantità in grammi di sostanza pari al suo peso molecolare.

# Determinazione dei pesi atomici

Presi in considerazione diversi composti dello stesso elemento, trovò che esso era sempre presente con una quantità eguale (o un multiplo *intero*) della più piccola di esse.

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Idrogeno libero	2	2 di idrogeno	-	H <sub>2</sub>
Acido cloridrico	36,5	<b>1</b> di idrogeno	35,5 di cloro	HCl
Acido bromidrico	81	<b>1</b> di idrogeno	80 di bromo	HBr
Acido iodidrico	128	<b>1</b> di idrogeno	127 di iodio	HI
Acqua	18	2 di idrogeno	16 di ossigeno	H <sub>2</sub> O
Ammoniaca	17	3 di idrogeno	14 di azoto	NH <sub>3</sub>
Acido acetico	60	4 di idrogeno,	24 di carbonio, 32 di ossigeno	C <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
<b>Quantità minima di idrogeno</b>		<b>1 grammo</b>		

# Determinazione dei pesi atomici

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Ossigeno libero	32	32 di ossigeno	-	O <sub>2</sub>
Acqua	18	<b>16</b> di ossigeno	2 di idrogeno	H <sub>2</sub> O
Acido acetico	60	32 di ossigeno	24 di carbonio, 4 di idrogeno	C <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
<b>Quantità minima di ossigeno</b>		<b>16 grammi</b>		

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Cloro libero	71	71 di cloro	-	Cl <sub>2</sub>
Acido cloridrico	36,5	<b>35,5</b> di cloro	1 di idrogeno	HCl
Sublimato corrosivo	271	71 di cloro	200 di mercurio	HgCl <sub>2</sub>
Cloruro d'arsenico	181,5	106,5 di cloro	75 di arsenico	AsCl <sub>3</sub>
<b>Quantità minima di cloro</b>		<b>35,5 grammi</b>		

# Determinazione dei pesi atomici

Il metodo era applicabile anche a quegli elementi, come il carbonio, i cui corpi semplici non si trovano allo stato gassoso, ma che formano svariati composti gassosi.

Nomi dei composti	Pesi delle molecole	Pesi dei componenti delle molecole		Formule
Ossido di carbonio	28	12 di carbonio	16 di ossigeno	CO
Acido carbonico	44	12 di carbonio	32 di ossigeno	CO <sup>2</sup>
Solfuro di carbonio	76	12 di carbonio	64 di solfo	CS <sup>2</sup>
Gas delle paludi	16	12 di carbonio	4 di idrogeno	CH <sup>4</sup>
Eterene	28	24 di carbonio,	4 di idrogeno	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>
Propilene	42	36 di carbonio	6 di idrogeno	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup>
Etere	74	48 di carbonio	10 di idrogeno 16 di ossigeno	C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O
<b>Quantità minima di carbonio</b>		<b>12 grammi</b>		

# Conseguenze

**Se si assume che nei composti contenenti questa quantità minima sia presente un solo atomo, è evidente che i suoi multipli corrispondono a un numero multiplo di atomi.**

**Mentre esistono numerose sostanze contenenti un solo atomo d'idrogeno per molecola, l'idrogeno elementare è costituito da molecole biatomiche e, tra le diverse formule proposte per l'acqua (HO, H<sub>2</sub>O, H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>), quella corretta è H<sub>2</sub>O.**

# La legge degli atomi

Cannizzaro estese la procedura a una ventina di elementi, e la generalizzò nella *legge degli atomi*:

*«... le varie quantità dello stesso elemento contenute in volumi eguali sia del corpo libero, sia dei suoi composti, sono tutte multiple intere di una medesima quantità».*

# Il Massimo Comun Divisore

In questo modo, ridusse il problema dei pesi atomici a una ricerca del massimo comun divisore e colmò la distanza tra il piano *microscopico*, accessibile solo per via speculativa, e quello *macroscopico*, suscettibile di indagine sperimentale e di misurazioni.

# L'indivisibile della Chimica

A prescindere dall'aspetto, la forma, le dimensioni delle particelle elementari,

*l'indivisibile* dei chimici era una quantità macroscopica, esprimibile nelle unità di misura correnti,

che contribuiva, come tale, o con suoi multipli interi, alla massa totale delle molecole dei composti che formava.

I pesi atomici così determinati risultarono tutti sostanzialmente corretti.

# Le conclusioni del Congresso



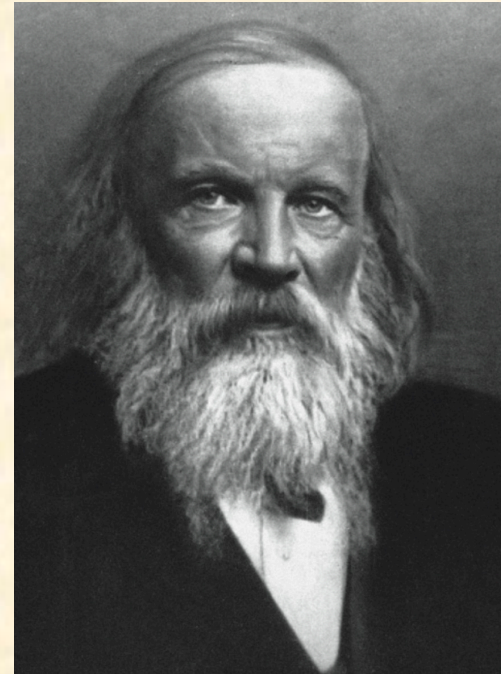
**L'intervento di Cannizzaro ebbe un'accoglienza tiepida, ma insinuò nelle menti più pronte un seme di riflessione che avrebbe portato a numerosi ulteriori sviluppi.**

# **La legge di periodicità**

# Gli esiti del Congresso

**Tra coloro che riconsiderarono, attentamente e proficuamente, i concetti esposti da Cannizzaro,**

**il chimico russo Mendeleév ne trasse ispirazione per riformulare il proprio approccio alla filosofia chimica.**



**Dmitrij Ivanovic Mendeleév  
(1834 – 1907)**

# La classificazione degli elementi

Alcuni anni dopo, alle prese con il problema della classificazione degli elementi chimici,

scelse di caratterizzarli attraverso un parametro numerico, il *peso atomico*,

che aveva finalmente acquisito valori certi.

# Il peso atomico

*«... La procedura secondo la quale Gerhardt e Cannizzaro hanno determinati i pesi atomici degli elementi è basata su metodi talmente saldi e indubitabili che, per la maggior parte delle sostanze,*

*... non esiste più alcun dubbio sui loro pesi atomici, come succedeva parecchi anni fa, quando il peso atomico era così spesso confuso con il peso equivalente.*

*... Per questa ragione ho cercato di basare il sistema sul valore dei pesi atomici.»*

# Variazioni regolari

Distribuiti gli elementi più leggeri, secondo i pesi atomici crescenti, notò che le proprietà, chimiche e fisiche, come carattere metallico o non metallico, basicità o acidità degli ossidi, variavano con regolarità tra le situazioni molto diverse degli elementi posti alle estremità.

Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19
Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5

# Il contributo di Cannizzaro

*Solo i suoi pesi atomici resero possibile una generalizzazione.*

<b>K = 39</b>	<b>Rb = 85</b>	<b>Cs = 133</b>
<b>Ca = 40</b>	<b>Sr = 87</b>	<b>Ba = 137</b>

*Con gli equivalenti allora in uso*

<b>K = 39</b>	<b>Rb = 85</b>	<b>Cs = 133</b>
<b>Ca = 20</b>	<b>Sr = 43,5</b>	<b>Ba = 68,5</b>

*si sarebbe persa l'evidenza della consecutività della variazione dei pesi atomici.*

# Il Sistema Periodico

A Mendeleév sembrò che l'ordine da lui individuato fosse stato stabilito a priori dalla Natura;

aggiunti gli elementi più pesanti, ottenne uno schema ordinato di distribuzione, che chiamò *Sistema periodico*.



# Un punto di svolta

Questa data, della quale quest'anno si celebra il 150° anniversario, segna il punto di arrivo della ricerca di un *sistema di classificazione* in Chimica, ma anche l'inizio di un processo che ha portato alla *scoperta* degli elementi ancora sconosciuti, alla *previsione* e *razionalizzazione* delle loro proprietà, favorendo l'individuazione della *struttura atomica* e indirizzando i tentativi di *distribuzione degli elettroni* negli orbitali atomici.

# Un cambio di disposizione

Alla fine del 1870 costruì la prima tabella a sviluppo orizzontale.

	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
Typische Elemente	H 1 Li 7	Be 9,4	Bo 11	C 12	N 14	O 16	F 19	
1. Periode	Na 23	Mg 24	Al 27,3	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5	
2. Periode	Ka 39	Ca 40	—44	Ti 50(?)	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56, Co 59, Ni 56, Cu [63]
3. Periode	(Cu 63)	Zn 65	—68	—72	As 75	Se 78	Br 80	
4. Periode	Rb 85	Sr 87	(Yt 88)(?)	Zr 90	Nb 94	Mo 96	—100	Ru 104, Rh 104, Pt 106, [Ag 108]
5. Periode	(Ag 108)	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 125	J 127	
6. Periode	Cs 133	Ba 137	—137	Ce 138(?)	—	—	—	
7. Periode	—	—	—	—	—	—	—	
8. Periode	—	—	—	—	Ta 183	W 184	—	Os 199 (?), Jr 198, Pt [197, Au 197]
9. Periode	(Au 197)	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 208	—	—	
10. Periode	—	—	—	Th 232	—	Ur 240	—	
Höchste salzbild. Oxyde	R <sup>2</sup> O	R <sup>2</sup> O <sup>2</sup> od. RO	R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>4</sup> o. RO <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>6</sup> o. RO <sup>3</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>8</sup> od. RO <sup>4</sup>
Höchste H-Verbindungen				RH <sup>4</sup>	RH <sup>3</sup>	RH <sup>2</sup>	RH	(R <sup>2</sup> H) (?)

# La valenza

Il rapporto di combinazione con l'ossigeno variava da 2:1 a 2:7 da sinistra a destra, quello con l'idrogeno da 1:4 a 1:1.

Gli elementi di un gruppo avevano lo stesso valore della valenza.

	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.	
Typische Elemente	H 1								
	Li 7	Be 9,4	Bo 11	C 12	N 14	O 16	F 19		
1. Periode	Reihe 1	Na 23	Mg 24	Al 27,3	Si 28	P 31	S 32	Cl 35,5	
2. Periode	- 2	Ka 39	Ca 40	—44	Ti 50(?)	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56, Co 59, Ni 56, Cu [63]
3. Periode	Reihe 3	(Cu 63)	Zn 65	—68	—72	As 75	Se 78	Br 80	
4. Periode	- 4	Rb 85	Sr 87	(Yt 88)(?)	Zr 90	Nb 94	Mo 96	—100	Ru 104, Rh 104, Pt 106, [Ag 108]
5. Periode	Reihe 5	(Ag 108)	Cd 112	In 113	Sn 118	Sb 122	Te 125	J 127	
6. Periode	- 6	Cs 133	Ba 137	—137	Ce 138(?)	—	—	—	
7. Periode	Reihe 7	—	—	—	—	—	—	—	
8. Periode	- 8	—	—	—	Ta 183	W 184	—	—	Os 199 (?), Jr 198, Pt [197, Au 197]
9. Periode	Reihe 9	(Au 197)	Hg 200	Tl 204	Pb 207	Bi 208	—	—	
10. Periode	- 10	—	—	—	Th 232	—	Ur 240	—	
Höchste salzbild. Oxyde	R <sup>2</sup> O	R <sup>2</sup> O <sup>2</sup> od. RO	R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>4</sup> o. RO <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>6</sup> o. RO <sup>3</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	R <sup>2</sup> O <sup>8</sup> od. RO <sup>4</sup>	
Höchste H-Verbindung				RH <sup>4</sup>	RH <sup>3</sup>	RH <sup>2</sup>	RH	(R <sup>2</sup> H) (?)	

# **Il contributo di Cannizzaro**

**Il contributo di Cannizzaro alla corretta disposizione degli elementi nella Tabella**

**stava anche nell'aver chiarito la differenza tra il peso atomico e quello di combinazione (equivalente),**

**dal cui rapporto si ricavava la valenza di un elemento.**

# Lacune e inversioni

Per posizionare in ogni gruppo elementi con la stessa valenza, Mendeleév fu costretto a *saltare* una o più caselle, lasciandole vuote, e riservandole a elementi ancora sconosciuti.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	-	-	As	Se	Br
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I

# Le analogie atomiche

Utilizzando il criterio delle *analogie atomiche* verticali, orizzontali e diagonali tra gli elementi, Mendeleév pose ciascuno di essi all'intersezione di due linee di discendenza, e calcolava i parametri quantificabili, come media aritmetica di quelli adiacenti.

	S 32	
As 75	Se ???	Br 80
	Te 125	

$$\frac{75 + 80 + 32 + 125}{4} = 78$$

# La capacità di previsione

**La capacità di prevedere l'esistenza di nuovi elementi e di calcolarne peso e volume atomico, densità, ecc.**

**fu l'aspetto più eclatante del suo sistema periodico,  
e anche quello che ne decretò il successo, quando  
questi elementi furono effettivamente scoperti.**

# Uno strumento di lavoro

Malgrado il fascino misterioso che essa ha sempre esercitato sia sugli uomini di scienza che sui profani,

la Tabella periodica è sempre stata uno strumento di lavoro fondamentale per il chimico,

per il quale costituisce una sorta di *mappa* sulla quale individuare gli elementi noti e posizionare quelli appena scoperti.

# **Correggere i dati sperimentali**

**Grazie alle analogie atomiche tra elementi vicini,  
che la Tabella periodica suggeriva,**

**era possibile razionalizzare le proprietà dei diversi  
elementi e dei loro composti, confrontarli fra di  
loro, correggendo dati sperimentali non accurati:**

**per esempio, Mendeleév fu in grado di correggere i  
pesi atomici di svariati elementi.**

# Invertire le posizioni

Invertì la posizione di alcune coppie di elementi, come tellurio e iodio, perché l'ordine imposto dai pesi atomici crescenti li avrebbe collocati in posizioni non compatibili con la loro valenza.

I	II	III	IV	V	VI	VII
Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
K	Ca	-	-	As	Se	Br
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I

# Il numero atomico

Nel 1913, Moseley misurò la frequenza delle radiazioni X emesse da anticatodi costituiti da differenti elementi: notò che, passando da un elemento al successivo, l'inverso della radice quadrata di queste frequenze variava linearmente con il *numero atomico*.



Henry Gwyn Jeffreys Moseley  
(1887 – 1915)

# La carica nucleare

Confermando un'ipotesi di van den Broek, associò questa grandezza alla *carica nucleare*:

ogni elemento aveva una carica nucleare caratteristica e individuale, *multipla intera* della più piccola di esse,

che era eguale al numero atomico, e variava come la serie dei numeri interi.



**Antonius Johannes  
van den Broek  
(1870 – 1926)**

# Un nuovo criterio ordinatore

Ogni elemento era dunque caratterizzato e distinto dal proprio numero atomico, che costituiva un *miglior criterio* per ordinare gli elementi:

tra l'altro, esso giustificava le inversioni di posizione,

consentiva di prevedere la carica nucleare degli elementi ancora conosciuti,

e risolvere il problema della collocazione degli isotopi.

# La distribuzione elettronica

**Negli stessi anni, Bohr affrontò il problema della distribuzione degli elettroni all'interno di ciascun atomo:**

**in virtù della sua elettro neutralità, anche essi dovevano essere in numero eguale al numero atomico.**



**Niels Bohr  
(1885 1962)**

# ***L'aufbau***

**Ammessa l'esistenza di orbite caratterizzate da livelli di energia quantizzati, restava da stabilire il numero massimo di elettroni in ciascuna di esse:**

**le regole di *aufbau* elaborate da Bohr non si basavano soltanto su criteri quantomeccanici, ma tenevano conto anche delle proprietà chimiche degli elementi e dei loro composti.**

# **Il riempimento orbitalico**

**Di conseguenza, il completamento di un periodo della tabella era fatto coincidere con il riempimento completo di un'orbita,**

**ponendo l'elettrone successivo nell'orbita più esterna,**

**in modo che gli elementi di uno stesso gruppo fossero caratterizzati dalla stessa popolazione elettronica nell'orbita più esterna e mostrassero, per questo, simili proprietà chimiche e fisiche.**

# Epilogo

# Una legge naturale

Se, a 150 anni dalla sua prima formulazione, la Tabella periodica è più attuale che mai,

ciò è dovuto al fatto che essa rappresenta *una legge naturale*,

e le numerose modificazioni che ha subito negli anni non sono state altro che la conseguenza di una *migliore comprensione* del sistema periodico da parte dei chimici.

# **L'evoluzione della Tabella**

**La Tabella ha saputo adattarsi alla scoperta di nuove famiglie di elementi, come il gruppo dei gas nobili e la serie degli elementi delle terre rare, e alla scoperta degli isotopi.**

**La sua struttura non è cambiata dopo che il peso atomico è stato sostituito dal numero atomico, anzi, ha, in qualche modo, condizionato le strategie per distribuire gli elettroni in diversi orbitali.**

# Il primo elemento artificiale

Questa storia, iniziata a Palermo, si conclude a Palermo nel 1937, con la scoperta del primo elemento artificiale, l'elemento 43, grazie al lavoro congiunto di Segrè e Perrier.



**Emilio Gino Segrè**  
(1905 – 1989)



**Carlo Perrier**  
(1886 – 1948)

# Il Tecneto

Lo individuarono in una piastrina di molibdeno irradiata nel ciclotrone di Berkeley, ne provarono la presenza in maniera indiretta, ma inconfutabile, e proposero di chiamarlo *Tecneto*.

