

5. ORA POSSIAMO FINALMENTE PARLARE DI CHIMICA

R. All'inizio dei nostri colloqui ha accennato alle sostanze chimiche: i termini *materia* e *sostanza* sono sinonimi?

D. No. Si definisce **materia** è tutto ciò che occupa uno spazio, può essere spostato, deformato o trasformato. Un oggetto solido, un liquido, un gas sono costituiti da una *sostanza* o da una *miscela di sostanze*. Così ad esempio, una zolletta di zucchero è un frammento di materia costituito da un' unica sostanza, il saccarosio; una goccia d'acqua potabile è una minuscola particella liquida costituita prevalentemente dalla sostanza acqua ma in cui sono presenti anche piccole quantità di altre sostanze. Le cito la definizione ufficiale: una **sostanza** è un elemento chimico o un composto chimico riscontrabile in natura oppure ottenuto mediante lavorazioni industriali. (legge n. 236 del 29.5.74).

La medesima legge definisce **preparati** «miscele e soluzioni di due o più sostanze, prodotte ad arte».

R. Che cosa sono gli elementi e i composti chimici?

D. Un poco di pazienza. Ci arriveremo presto. Un tempo si diceva materia colorante, materia plastica; oggi, più correttamente, sostanza colorante, sostanza plastica. Tuttavia, sui referti delle analisi cliniche, ancor oggi l' acetone e altre sostanze presenti nelle urine vengono indicati come *corpi chetonici*.

Della materia e delle sostanze si occupano la Fisica e la Chimica. La *Fisica classica* si occupa delle trasformazioni della materia in cui la natura delle sostanze non viene modificata.

R. Mentre la Chimica?

D. Una chiara definizione è dovuta al chimico statunitense *Linus Pauling* (1901-1994; Nobel per la chimica nel 1954 e per la pace nel 1962): «La **chimica** è la scienza che studia le sostanze, le loro proprietà e le reazioni con cui una sostanza si trasforma in un'altra». La Fisica moderna e la Chimica sono attualmente inscindibili.

La *chimica di base* è la produzione di sostanze fondamentali, quali ad esempio acido solforico, ammoniaca, sodio idrossido, etilene, acetilene, partendo da minerali, petrolio, gas naturali. La *chimica primaria* è la produzione di sostanze più complesse delle precedenti: pigmenti, resine e gomme sintetiche, solventi, ecc. La *chimica secondaria* è la produzione di sostanze ancora più complesse di quelle della chimica primaria, quali ad esempio coloranti, tensioattivi, farmaci, cosmetici, antiparassitari.

Esempi. a) Quando si riscalda un filo di platino su una fiamma, il filo si arroventa; lasciandolo raffreddare, ritorna rapidamente nelle condizioni primitive. Sono avvenuti due fenomeni fisici, l'innalzamento della temperatura con emissione di radiazioni luminose e il successivo abbassamento della temperatura del metallo: il filo era di platino prima, durante e dopo il riscaldamento, la sostanza del filo non è cambiata. Altri esempi di fenomeni fisici: lo spostamento di un oggetto da un posto ad un altro; la fusione di un cubetto di ghiaccio; la rottura di un vetro; la dissoluzione dello zucchero nel caffè.

b) Avrà visto dei film ambientati nel secondo XIX in cui un fotografo, armato di una grossa «camera», accende una polvere grigia la quale, bruciando, emette una luce bianca vivissima. Ebbene, la polvere era costituita da magnesio (simbolo Mg) e il residuo della combustione da una polvere bianca. Il magnesio si è combinato con l'ossigeno dell'aria (simbolo O) formando una nuova sostanza, l'ossido di magnesio (formula MgO). E' avvenuta quindi una *reazione chimica*.

Altri esempi di fenomeni chimici sono la formazione della ruggine, la combustione della benzina nel motore della nostra automobile, l'esplosione del TNT, l'annerimento dell'argenteria, l'imbrunimento di una banana o di una patata sbucciata, la cottura dei cibi, l'invecchiamento dei vini e la stagionatura dei formaggi.

R. Un chimico è dunque ...

D. ... una persona che studia i fenomeni chimici. Una definizione articolata è dovuta a Giorgio Piccardi dell'università di Firenze, noto come «chimico del Sole» per i suoi studi sulle macchie solari: «Chi siamo noi? Uomini di cultura ed operai al tempo stesso; di sovente anche artigiani, e questo mi piace. Oltre alla conoscenza dei fenomeni chimici e delle teorie che li inquadrano, che si acquistano con lo studio e l'esperienza, noi dobbiamo possedere anche "il mestiere" del chimico. Lo si impara

lavorando manualmente per anni sulla materia, effettuando trasformazioni e misure, utilizzando apparecchiature e strumenti già noti, ideando e costruendo nuove apparecchiature, dandoci da fare in officina, alla soffieria del vetro, al tavolo da disegno, al "banco della chimica sporca", badando a mille faccende diverse ed osservando tutto ciò che avviene sotto i nostri occhi, volutamente o per caso, senza lasciarci sfuggire nulla di ciò che accade. Solo navigando si diventa marinai».

Ne «Il sistema periodico», Primo Levi così definisce la professione del chimico: «Il nostro mestiere dal sapore forte ed amaro, che è poi un caso particolare, una versione più strenua, del mestiere di vivere».

R. Belle definizioni. Tuttavia, i chimici non godono di buona stampa.

D. Ha ragione. Da alcuni anni i chimici sono sul banco degli imputati, accusati dagli ecologisti manichei di inquinare aria, acqua e suolo e di distruggere fauna e flora. C'è del vero in tutto questo, però si esagera. Le cito una frase, anonima, trovata nel 2005 navigando in Internet: «Un gruppo di ricercatori, tra cui l'illustrissimo dott. Gessa, avrebbero trovato una "medicina" per curare l'alcolismo, la tossicodipendenza e l'ossessione del cibo. Questi "cervelloni" pretendono di curare una dipendenza con un'altra dipendenza (i medicinali). Questi "cervelloni" non sono interessati alle cause sociali che determinano un disagio, e poi una dipendenza. Questi cervelloni vogliono produrre medicine e brevetti e denaro (per loro) e fama e gloria. Scusate la volgarità ma se ne vadano affanculo!»

Sembrano farneticazioni di un individuo frustrato ma la diffidenza per la scienza, purtroppo, è piuttosto diffusa.

Agli ecoestremisti nemici delle sostanze chimiche prodotte per sintesi, come se fossero diverse da quelle esistenti in natura, bisognerebbe ricordare un benefattore dell'umanità, il chirurgo *Crawford W. Lony* di Jefferson (USA) il quale, in epoca relativamente recente, e precisamente il 30 aprile 1842, operò per la prima volta nella storia in anestesia totale. Prima della sua scoperta, malati e feriti erano sottoposti ad interventi chirurgici accompagnati da atroci sofferenze, appena alleviate con la somministrazione di alcole e oppiacei. Ebbene, che cosa usò il dottor Lony? Una sostanza che non esiste in natura, l'etere etilico, capostipite dei numerosi anestetici di sintesi usati in chirurgia.

Gli ecoestremisti, accecati dall'ideologia, prendono talvolta qualche abbaglio. In un settimanale del gennaio 1996 si poteva leggere: «Si raccomanda di usare come deodorante l'allume di rocca a quanti non vogliono usare prodotti chimici». Come se l'allume di rocca (alluminio e potassio solfato) non fosse un prodotto chimico. In un altro giornale (11.2.1996) si poteva trovare: «Nel campione c' erano tracce di solventi clorurati non rilevabili dalla strumentazione».

Nel suo *Il segreto della chimica*, Gianni Fochi scrive: «... chi soltanto in un liceo (o in un'altra scuola non tecnica) ha qualche occasione di incontrare questa materia, molto spesso ne fa una conoscenza in modo disordinato e confuso: finisce per considerarla piena non già di segreti, ma piuttosto di noia e fastidio, come succede in genere per le cose difficili che si è costretti e imparare più o meno a memoria...».

R. Un lavoratore dell'industria chimica è esposto a molti pericoli?

D. Sì, ma sono relativamente minori di quelli che corrono (in ordine di pericolosità crescente) gli addetti alla siderurgia, all'agricoltura, alla pesca, all'edilizia, i minatori, gli equipaggi degli aerei civili e i pugili professionisti, il cui FAFR è molto più elevato.

R. Che cosa è il FAFR?

D. FAFR è acronimo di *Fatal accident frequency rate*, numero di incidenti mortali calcolati sulla vita lavorativa di 1000 persone per 40 ore settimanali, per 50 settimane all'anno, in 50 anni. Così ad esempio, il FAFR di un lavoratore edile è circa 15 volte superiore a quello di un lavoratore dell'industria chimica.

Prima di iniziare lo studio della chimica passiamo brevemente in rassegna i più importanti avvenimenti chimici. Quanto segue (Tab. 5/1) è tratto, in buona parte, dalla rivista *Chemical & Engineering News*, 4, 1976 e, per i premi Nobel per la chimica, dal sito web dell'ITCG di Chiavari (www.itcg.chiavari.ge.it/chimica).

Tab. 5/1. Cronologia di importanti avvenimenti in Chimica.

-
- 1661.** *Robert Boyle* sostiene che gli elementi sono sostanze indecomponibili e che uniti tra loro formano tutte le altre sostanze. Boyle è considerato il primo chimico moderno.
- 1669.** *H. Brand* scopre il fosforo.
- 1674.** *E. Mariotte* enuncia la legge dei gas, poi chiamata legge di Boyle-Mariotte.
- 1688.** *J. Clayton* ottiene il gas illuminante per distillazione del carbone.
- 1697.** *G.E. Stahl* elabora la teoria del flogisto.
- 1735.** *G. Brandt* scopre il cobalto.
- 1738.** *D. Bernouilli* enuncia la teoria cinetica dei gas.
- 1747.** *A. Margraf* estrae lo zucchero dalle bietole.
- 1760.** *A.L. Lavoisier* studia le reazioni esotermiche.
- 1766.** *H. Cavendish* identifica l'idrogeno ed il diossido di carbonio; stabilisce che l'aria è una miscela di gas e che l'acqua è un composto chimico.
- 1767.** Primo uso dei simboli per indicare le sostanze chimiche, proposti da *T. Bergman*.
- 1770.** *J.G. Gahn* ricava il manganese dai suoi ossidi.
- 1772.** *J. Priestley* identifica l'ossigeno.
D. Rutherford identifica l'azoto nell'aria.
- 1774.** *K.W. Scheele* produce il cloro dall'acido cloridrico ma lo ritiene un composto.
- 1777.** *L. Spallanzani* descrive i moti delle particelle disperse di un colloide, noti come moti browniani perchè riscoperti nel 1827 da *R.L. Brown*.
- 1778.** *C.W. Scheele* scopre il molibdeno.
- 1781.** *C.W. Scheele* scopre il wolframio.
- 1787.** *A.L. Lavoisier* enuncia il principio della conservazione della materia.

- 1789.** *H.M. Klaproth* scopre lo zirconio e l'uranio.
- 1791.** *W. Gregor* scopre il titanio.
- 1792.** *P. Müller von Reichenstein* scopre il tellurio.
- 1793.** Prima enunciazione delle leggi dei gas, dette di Gay-Lussac e di Charles, da parte di *A. Volta*.
- 1796.** *B. Richter* fonda la stechiometria.
- 1798.** *L. N. Vauquelin* scopre il cromo.
- 1800.** *A. Volta* inventa la celebre pila.
W. Nicholson e *A. Carlisle* producono idrogeno e ossigeno per elettrolisi dell'acqua.
- 1801.** *A. M. Del Rio* scopre il vanadio.
- 1802.** *G. Ekeberg* scopre il tantalio.
- 1803.** *J.L. Proust* enuncia la legge delle proporzioni definite.
C. Berthollet introduce il concetto di equilibrio chimico.
W.H. Wollaston scopre il palladio.
J.J. Berzelius scopre il cerio.
- 1804.** *W. H. Wollaston* scopre il rodio.
J. Collet-Descostil scopre l'iridio e l'osmio.
- 1805.** Prima doratura galvanica ad opera di *L.V. Brugnatelli*.
- 1807.** Sir *H. Davy* ricava il sodio e il potassio dai suoi sali.
- 1808.** *J. Dalton* enuncia la legge delle proporzioni multiple.
J.L. Gay-Lussac enuncia la legge dei volumi.
Sir *H. Davy* ricava il calcio, lo stronzio e il bario dai suoi sali.
Sir *H. Davy* e *J. Thenard* ricavano il boro dal suo ossido.
- 1811.** *A. Avogadro* enuncia la sua celebre ipotesi.
L. Gay-Lussac e *J. Thenard* ricavano il silicio dal suo tetrafluoruro.
- 1812.** *B. Curtois* scopre lo iodio.

K.S. Kirchhoff idrolizza l'amido a glucosio.

1815. *W. Prout* ipotizza che i pesi atomici degli elementi siano multipli interi del peso atomico dell'idrogeno.

J-B. Biot scopre l'isomeria ottica.

1816. *P.L. Dulong* e *A. Petit* enunciano la legge sui calori atomici degli elementi solidi che porta il loro nome.

1817. *J. J. Berzelius* e *J. G. Gahn* scoprono il selenio.

F. Stromeyer scopre il cadmio.

1818. Sir *H. Davy* ricava il litio dai suoi sali.

1820. *E. Mitscherlich* enuncia la teoria dell'isomorfismo.

H. Braconnot idrolizza le proteine ad amminoacidi.

1823. Prime esperienze sulla liquefazione dei gas, condotte da *M. Faraday*.

1824. *J. Aspdin* produce il primo cemento artificiale.

1825. *H. C. Oersted* ricava l'alluminio dal suo cloruro.

1826. *A. J. Balard* scopre il bromo.

1828. Prima sintesi di un composto organico, l'urea, eseguita da *F. Wöhler*.

F. Wöhler ricava il berillio dai suoi sali.

E. Bussy ricava il magnesio dai suoi sali.

J. J. Berzelius scopre il torio.

1830. *J.J. Berzelius* scopre l'esistenza degli isomeri.

1834. *M. Faraday* enuncia le leggi dell'elettrolisi.

1839. *H. Hess* enuncia la legge della termochimica che porta il suo nome.

C. Goodyear scopre la vulcanizzazione del caucciù.

C. G. Mosander scopre il lantanio.

1840. *G. Hess* enuncia la legge della termochimica che porta il suo nome.

J. von Liebig studia la chimica dei vegetali e produce i primi concimi chimici.

1841. *J.J. Berzelius* studia i catalizzatori.

- 1842.** *J.R. Mayer* enuncia il principio della conservazione dell'energia.
- 1843.** *C. G. Mosander* scopre l'ittrio, il terbio, l'itterbio e l'erbio.
- 1844.** Prima classificazione degli elementi, dovuta a *C. Gerhardt*.
H. Rose scopre il niobio.
K. Claus scopre il rutenio.
- 1845.** Sintesi dell'acido acetico realizzata da *A. W. Kolbe*.
- 1846.** *C.F. Schonbein* produce la nitrocellulosa.
A. Sobrero produce la nitroglicerina.
- 1848.** *L. Pasteur* separa gli stereoisomeri dell'acido tartarico.
- 1850.** Primo modello atomico proposto da *M. Rankine*.
- 1852.** *E. Frankland* introduce il concetto di valenza.
- 1854.** *T. Graham* scopre la dialisi.
- 1856.** *R.V. von Bunsen* e *G.R. Kirchhoff* scoprono gli spettri di emissione degli elementi.
H. Bessemer produce acciaio per insufflazione di aria nella ghisa fusa.
Prima sintesi di un colorante, la mauveina, dovuta a *W.H. Perkin*.
- 1857.** *F.A. Kekulé* definisce la chimica organica come chimica dei composti del carbonio, nella loro maggioranza tetravalente.
- 1858.** *S. Cannizzaro* espone il suo metodo per la determinazione dei pesi atomici.
- 1860.** A Karlsruhe, primo Congresso internazionale di Chimica.
G.R. Kirckhoff e *R. W. von Bunsen* scoprono rubidio e cesio.
- 1861.** Sir *W. Crookes* scopre il tallio.
- 1862.** *M. Berthelot* studia la velocità delle reazioni chimiche.
- 1863.** *E. Solvay* inizia la produzione industriale del sodio carbonato da sodio cloruro e ammoniacca, soppiantando il processo Leblanc altamente inquinante.

- 1863.** *F. Reich* e *H.T. Richter* scoprono l'indio.
- 1864.** Primo cracking degli oli pesanti, ad opera di *J. Young*.
- 1865.** *J. Loschmidt* calcola il numero di molecole contenuto in una mole di sostanza, successivamente chiamato costante di Avogadro.
C. Schutzenberger produce l'acetato di cellulosa.
C. Pasteur trova un sistema per la conservazione degli alimenti, distruggendo i batteri per riscaldamento.
F.A. Kekulé descrive la molecola del benzene come un anello in cui i sei atomi di carbonio sono uniti con legami semplici alternati a legami doppi.
- 1866.** *P.E. Lecoq de Boisbaudran* scopre il disprosio.
- 1867.** *C. Guldberg* e *P. Waage* enunciano la legge dell'azione di massa.
- 1868.** *J.N. Lockyer* scopre l'elio.
- 1869.** *D.I. Mendeleev* costruisce la celebre tavola periodica degli elementi.
J. W. Hyatt produce il primo plastomero artificiale, la celluloido.
- 1873.** *J. van der Waals* applica le leggi dei gas ideali ai gas reali.
W. Crookes scopre i raggi catodici.
- 1874.** *J. van't Hoff* e *J. A. Le Bel*, studiando gli isomeri ottici, chiariscono la struttura tridimensionale delle molecole.
- 1875.** *P. E. Lecoq de Boisbaudran* scopre il gallio.
- 1876.** *W. Gibbs* enuncia la regola delle fasi e si occupa delle variazioni di energia nelle reazioni chimiche, introducendo il concetto di energia libera che porta il suo nome.
- 1879.** *P. T. Clève* scopre il tulio e l'olmio.
P.E. Lecoq de Boisbaudran scopre il samario.
- 1880.** *W. Pfeffer* enuncia la legge della pressione osmotica.
H. L. Le Chatelier enuncia il principio che porta il suo nome.
G. de Marignac scopre il gadolinio.
- 1881.** *E. Fischer* produce i sedici stereoisomeri degli aldosesi.
- 1882.** *F.M. Raoult* determina i pesi molecolari con il metodo crioscopico.

- 1884.** *H. Bernigaud de Chardonnet* produce la prima fibra tessile artificiale (nitrocellulosa).
- 1885.** *J. van't Hoff* enuncia le leggi sulle soluzioni diluite che portano il suo nome.
C. Auer von Welsbach scopre il neodimio e il praseodimio.
- 1886.** *H. F. Moissan*, inventore del forno ad arco voltaico, ricava il fluoro dall'acido fluoridrico.
C. A. Winkler scopre il germanio.
- 1887.** *S. Arrhenius* enuncia la teoria della dissociazione elettrolitica ed introduce il concetto di energia di attivazione.
- 1888.** *A. Nobel* produce la dinamite.
- 1889.** *L. F. Nilson* scopre lo scandio, la cui esistenza era stata prevista da Mendeleev dieci anni prima.
- 1890.** *H. Despeisses* produce il raion cuproammoniacale.
- 1891.** *A. Werner* introduce il concetto di numero di coordinazione dei complessi.
Produzione della cordite da parte di *J. Dewar* e *F.A. Abel*.
- 1893.** *W.H. Nernst* enuncia l'equazione dell'elettrochimica che porta il suo nome.
A. Werner enuncia le sue teorie sui composti di coordinazione.
C.F. Cross e *E.I. Bevan* producono il raion viscosa.
F.F.H. Moissan produce i primi diamanti artificiali.
- 1895.** *A. Nobel* istituisce il famoso premio.
W. Roentgen scopre i raggi X.
E. Demarcay scopre l'europio.
C. von Linde produce industrialmente l'aria liquida.
- 1897.** *J.J. Thomson (lord Kelvin)* scopre l'elettrone.
- 1898.** *A-H. Becquerel* scopre la radioattività.
W. Ramsay e *M.W. Travers* scoprono neo, argo, cripto e xeno.
- 1899.** *F. Grignard* e *P. Barbier* propongono l'uso degli alogenuri di alchilmagnesio nelle sintesi organiche.
A. L. Debieerne scopre l'attinio.

- 1900.** *M. Planck* enuncia la teoria dei quanti.
- 1901.** *F.G. Hopkins* classifica gli amminoacidi in essenziali e non essenziali e scopre il triptofano.
J.H. van't Hoff (Olanda) riceve il primo premio Nobel per la Chimica.
- 1902.** *M. e P. Curie* scoprono il radio e il polonio.
Nobel a *E.H. Fischer* (Germania) (Sintesi dei carboidrati e delle purine).
- 1903.** *E. Fischer e J. von Mering* studiano le proprietà ipnotiche dei barbiturici.
Nobel a *S.A. Arrhenius* (Svezia).
- 1904.** *J. Dewar* liquefa l'idrogeno.
Nobel a *William Ramsay* (UK) (Studi sui gas nobili).
- 1905.** Primo reattivo organico in analisi qualitativa, la dimetilgliossima, introdotto da *L. A. Ciugaev*.
W. Coblentz studia gli spettri IR delle molecole.
Nobel a *A. von Baeyer* (Germania) (Studi sui composti aromatici).
- 1906.** Prime applicazioni della cromatografia da parte di *M. S. Tswett*.
E. Rutherford e F. Soddy scoprono il rado.
Nobel a *H. Moissan* (Francia) (Studi sul fluoro).
- 1907.** Nobel a *E. Buchner* (Germania) (Studi sulla fermentazione).
K. Auer von Welsbach scopre il lutezio.
- 1908.** *H. Kamerlingh-Onnes* liquefa l'elio.
Nobel a *William Rutherford* (UK) (Studi sugli elementi radioattivi e sul decadimento nucleare).
- 1909.** *P. Ehrlich* produce il salvarsan, farmaco contro la sifilide.
P.L. Sorensen propone l'uso del pH.
Sviluppo delle conoscenze della struttura degli acidi nucleici (DNA, RNA) per merito di *P.A.T. Levene*.
Invenzione dell'elettrodo a vetro per la misura del pH da parte di *X. Y. Haber e E. Klemensievicz*.
Nobel a *W. Ostwald* (Germania) (Studi sugli equilibri chimici e sui catalizzatori).
- 1910.** *L.H. Baekeland* produce la prima resina sintetica termoindurente (bakelite).
Viene prodotta, in Germania, la prima gomma sintetica (buna).

- Nobel a *O. Wallach* (Germania) (Studi sui composti aliciclici).
- 1911.** *R.A. Millikan* misura la carica elettrica dell'elettrone.
Secondo Nobel a *M. Curie* (Francia).
- 1912.** *E. Rutherford* propone un modello atomico.
Nobel a *V. Grignard* (Francia) (Scoperta dei reattivi che portano il suo nome e studi nella chimica degli eteri).
Nobel a *P. Sabatier* (Francia) (Idrogenazione di composti organici in presenza di metalli finemente suddivisi).
- 1913.** *N. Bohr* propone un modello atomico.
Invenzione dello spettrometro di massa e scoperta degli isotopi dovute a *F. W. Aston*.
K. Fajans scopre il protoattinio.
H. Gwin-Jeffreys introduce il concetto di numero atomico.
L. Michaelis studia la cinetica delle reazioni catalizzate dagli enzimi.
Nobel a *A. Werner* (Svizzera) (Studi sul legame chimico in molecole inorganiche).
- 1914.** Nobel a *T. W. Richards* (USA) (Determinazione dei pesi atomici).
- 1915.** I tedeschi impiegano gas tossici nella battaglia di Ypres, da cui il nome di iprite ad uno di questi, il *bis*(dicloroetilen)tiolo.
Nobel a *R. Willstätter* (Germania) (Studi sulla clorofilla e altri pigmenti vegetali).
- 1916.** *W. Kossel*, *G.N. Lewis* e *I. Randall* enunciano una teoria del legame chimico.
P. Debye e *P. Scherrer* inventano la tecnica della diffrazione a raggi X.
- 1918.** Nobel a *F. Haber* (Germania) (Sintesi dell'ammoniaca).
- 1919.** *E. Rutherford* realizza la trasmutazione degli elementi.
M. Perey scopre il francio.
E. Haynes produce il primo acciaio inox.
- 1920.** Nobel a *W. H. Nernst* (Germania) (Studi sulla termodinamica).
- 1921.** *F.G. Banting* e *C.H. Best* estraggono l'insulina dal pancreas.
Nobel a *F. Soddy* (UK) (Ricerche sugli isotopi radioattivi).
- 1922.** *L. de Broglie* applica la meccanica ondulatoria allo studio dell'atomo.
G. Fauser realizza la sintesi dell'ammoniaca a bassa pressione.

Nobel a *F. W. Aston* (UK).

1923. *G.N. Lewis* introduce il concetto di attività.

P. Debye e *H. Hückel* enunciano una teoria delle soluzioni.

Negli USA vengono prodotte le prime vernici nitro.

D. Coster e *G. von Hevesy* scoprono l'afnio.

Nobel a *F. Pregl* (Austria) (Microanalisi dei composti organici).

1924. *W. Pauli* enuncia il principio di esclusione.

G. Eastman sostituisce la nitrocellulosa con l'acetilcellulosa, meno infiammabile, nelle pellicole fotocinematografiche.

1925. *J.N. Brønsted* e *J.M. Lowry*, indipendentemente, propongono una nuova definizione di acido e base.

P. S. Blackett dimostra l'esistenza del protone.

W. Heisenberg enuncia il principio di indeterminazione.

W. Noddak, *Ida Take* e *O. Berg* scoprono il renio.

Nobel a *R. A. Zsigmondy* (Austria) (Studi sulla chimica dello stato colloidale e invenzione dell'ultramicroscopio).

1926. *J. B. Sumner* isola il primo enzima, l'ureasi.

Teoria dei meccanismi di reazione dovuta a *C. Ingold*.

Nobel a *T. Svedberg* (Svezia) (Studi sulle dispersioni colloidali mediante l'ultracentrifugazione).

1927. *F. Fischer* e *H. Tropsch* producono benzina dal carbone.

Teoria degli orbitali molecolari dovuta a *F. Hund* e *R.S. Mulliken*.

Nobel a *H.O. Wieland* (Germania) (Struttura degli acidi biliari).

1928. *L.C. Pauling* enuncia le sue teorie sul legame chimico, introducendo i concetti di ibridazione e di mesomeria.

Nobel a *A. Windaus* (Germania) (Studi sugli steroli e loro relazioni con le vitamine).

1929. Sir *A. Fleming* scopre la penicillina.

Nobel a *H. von Euler-Chelpin* (Svezia) e *A. Harden* (UK) (Studi sulla fermentazione degli zuccheri e sull'attività degli enzimi).

1930. *P. Dirac* postula l'esistenza del positrone, scoperto successivamente da *C. Anderson* nel 1932.

G. Herzberg e *E. Teller* studiano gli spettri dei radicali liberi.

C. V. Raman inventa la spettroscopia che porta il suo nome.

In Gran Bretagna viene prodotta a prima resina sintetica trasparente, il perspex.
F. Dweyer prepara i primi clorofluorocarburi.
J. H. Northop isola tre enzimi proteolitici (pepsina, tripsina e chimotripsina).
Nobel a *H. Fischer* (Germania) (Studi sui pigmenti ematici e delle piante).

1931. *H. Urey* scopre il deuterio.
A.F.J. Butenandt scopre l'androsterone e il progesterone.
Nobel a *F. Bergius* (Germania) e *C. Bosch* (Germania) (Sviluppo di processi chimici ad alta pressione).

1932. *J. Chadwich* scopre il neutrone.
P.A. Fawcett sintetizza il polietene.
Primo elastomero sintetico (neoprene) prodotto da *W.H. Carothers* e *A. Nieuwland*.
Primo sulfamidico (prontosil rosso) prodotto da *G. Domagk*.
Nobel a *I. Langmuir* (USA) (Studi sui fenomeni chimici delle superfici).

1933. *E. Schrödinger* descrive gli orbitali con le equazioni che portano il suo nome.

1934. *E. Fermi* realizza la prima fissione nucleare.
Nobel a *H. C. Urey* (USA).

1935. *H. Heyring* e *M. Polanyi* introducono il concetto di complesso attivato.
H. Yukawa postula l'esistenza del mesone, scoperto successivamente da *C. Anderson* nel 1936.
Studi sul metabolismo da parte di *C.F. Cori* e *Gerty T. Cori* e individuazione dell'estere glucosio-1-fosfato (poi chiamato estere di Cori).
W.M. Stanley isola il virus mosaico del tabacco.
Primo impiego di radioisotopi come traccianti negli studi sul metabolismo, da parte di *R. Schönheimer*.
Nobel a *F. Joliot* (Francia) e *I. Joliot-Curie* (Francia). (Sintesi di elementi radioattivi).

1936. Nobel a *P.J.W. Debye* (Germania) (Studi sul momento dipolare e sulla diffrazione dei raggi X).

1937. *C. Perrier* e *E. G. Segré* producono artificialmente il tecnezio.
Nobel a sir *W. N. Haworth* (UK) (Studi sui carboidrati e sintesi della vitamina C).
Nobel a *P. Karrer* (Svizzera) (Studi sui carotenoidi, sulla flavina e sulle vitamine A e B₂).

1938. *I.I. Rabi* inizia gli studi sulla risonanza magnetica nucleare.

Negli USA viene prodotta la prima fibra sintetica (nylon), da *W.H. Carothers*.
Nobel a *R. Kuhn* (Germania) (Studi sui carotenoidi e sulle vitamine).

1939. *P. Müller* sintetizza il DDT.

Nobel a *A. F. J. Butenandt* (Germania) (Studi sugli ormoni sessuali).

Nobel a *L. Ruzicka* (Svizzera) (Studi sui polimeri e sui terpeni).

1940. *E.M. McMillan* e *P. Abelson* producono artificialmente il primo elemento transuranico, il nettunio.

D.R. Corson, E.G. Segré e K.R. Mackenzie producono artificialmente l'astato.

H.A. Krebs scopre il ciclo metabolico degli acidi tricarbossilici che porta il suo nome.

1941. *G. T. Seaborg* produce il secondo elemento transuranico, il plutonio.

A Chicago entra in funzione la prima pila atomica.

Negli USA vengono prodotti i siliconi.

F.A. Lipmann esegue fondamentali ricerche sul metabolismo.

1943. Negli USA viene prodotta la prima resina sintetica fluorurata, il teflon.

Nobel a *G. de Hevesy* (Ungheria) (Applicazione di radioisotopi come indicatori in processi industriali).

1944. *A. Ghiorso* e *Coll.* (Berkeley, USA) producono artificialmente l'americio.

Nobel a *O. Hahn* (Germania) (Scoperta della fissione nucleare).

1945. Esplode la prima bomba nucleare.

Si diffonde l'uso dell' EDTA come chelante ad opera di *G. K. Schwarzenbach*.

S.A. Waksman scopre la streptomicina.

J.A. Marinsky, L.E. Glendenin e C. DuBois Coryell producono artificialmente il promezio.

Nobel a *A. I. Virtanen* (Finlandia) (Scoperte nel campo della chimica degli alimenti e sulla loro conservazione).

1946. *H.W. Florey* e *E.B. Chain* sintetizzano la penicillina, a cui seguiranno le sintesi di numerosi antibiotici.

Nobel a *J. H. Northrop* (USA) e *W.M. Stanley* (USA) (Preparazione di enzimi e proteine virali).

Nobel a *J. B. Sumner* (USA) (Studi su metodi per la cristallizzazione di enzimi).

1947. *W.F. Libby* propone l'uso del carbonio 14 per datare i reperti archeologici.

O Hassel e D. Barton studiano le conformazioni molecolari degli alcani.

Nobel a sir *R. Robinson* (UK) (Studi sugli alcaloidi).

1948. Nobel a *A. W. K. Tiselius* (Svezia) (Studi sui metodi di elettroforesi e scoperta di proteine del siero).

1949. L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il berchelio.
Nobel a *W. F. Giaouque* (USA) (Studi sulla chimica e la termodinamica alle basse temperature).

1950. L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il californio.
Nobel a *O. P. H. Diels* e *K. Alder* (Germania) (Sintesi dei dieni che porta il loro nome.).

1951. Esplode la prima bomba H.
Negli USA viene prodotta la prima fibra poliacrilica (orlon).
In Gran Bretagna viene prodotta la prima fibra poliestere (terylene).
Nobel a *E. M. McMillan* (USA) e *G. T. Seaborg* (USA) (Scoperte nella chimica degli elementi transuranici).

1952. *F.B. Colton* sintetizza il primo contraccettivo per via orale.
Nobel a *A.J.P. Martin* e *R.M.L. Syinge* (UK) Studi sulla cromatografia).

1953. *S.C. Miller* realizza la sintesi di amminoacidi facendo scoccare scintille elettriche in una miscela di metano, idrogeno, ammoniaca e vapore d'acqua.
P. Sanger determina la sequenza degli amminoacidi dell'insulina.
F.A.C. Crick e *J.D. Watson* elaborano la struttura a doppia elica del DNA.
Nobel a *H. Staudinger* (Scoperte nel campo della chimica delle macromolecole).

1954. Nell'URSS entra in funzione la prima centrale termonucleare.
G. Natta produce i primi polimeri stereospecifici.
L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il curio.
Nobel a *L.C. Pauling* (USA) (Studi sulla natura del legame chimico e sulla struttura delle proteine). Lo scienziato riceverà anche il Nobel per la pace nel 1962.

1955. *O. Chamberlain* dimostra l'esistenza dell'antiprotone.
L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il mendelevio.
Nobel a *V. du Vineaud* (USA) (Sintesi di un ormone peptidico, l'ossitocina).

1956. Nobel a *C.N. Hinshelwood* (UK) e *N.N. Semjonov* (Studi sui meccanismi delle reazioni chimiche).

1957. *J. Sheehan* sintetizza la penicillina V.

- Nobel a sir *A. R. Todd* (UK) (Studi sui nucleotidi e sui loro coenzimi).
- 1958.** *R. Mössbauer* studia la spettroscopia gamma.
L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il nobelio.
Nobel a *F. Sanger* (Studi sulla struttura delle proteine).
- 1959.** *W. N. Lipscomb* prepara gli idruri di boro.
Nobel a *J. Heyrovky* (Cecoosvacchia) (Studi sulla polarografia).
- 1960.** *R. B. Woodward* sintetizza la clorofilla.
Nobel a *W.F. Libby* (USA) (Applicazione del metodo del carbonio-14 nella radiodating).
- 1961.** La IUPAC adotta il carbonio 12 come standard per la scala delle masse atomiche.
M. Gell-Mann ipotizza l'esistenza di particelle aventi carica elettrica frazionaria, i quark.
L' *Equipe di Berkeley* produce artificialmente il laurencio.
Nobel a *M. Calvin* (USA, 1911) (Studi sulla fotosintesi con l' impiego di radioisotopi).
- 1962.** *N. Bartlett* prepara il primo composto di un gas nobile, l' esafluoroplatinato di xeno.
Nobel a *J.C. Kendrew* e *M.F. Perutz* (UK) (Studi sulla struttura delle proteine globulari).
- 1963.** Nobel a *G.Natta* (Italia) e *K. Ziegler* (Germania) (Chimica e tecnologia dei polimeri).
- 1964.** *G.N. Flerow* e *Coll.* (Dubna, URSS) produce l'elemento 104.
Nobel a *D. Crowfoot-Hodgkin* (UK) (Determinazione della struttura di sostanze biologiche per mezzo di raggi X).
- 1965.** Nobel a *R. B. Woodward* (USA) (Sintesi del cortisone e di altri farmaci).
- 1966.** Nobel a *R. S. Mulliken* (USA) (Studi sulla struttura elettronica e sul legame chimico).
- 1967.** L' *Equipe di Dubna* produce l'elemento 105.
Primo software elaborato negli USA per facilitare la sintesi di molecole complesse.
Nobel a *M. Eigen* (Germania), *G. Porter* (UK) e *R.G.W. Norrish* (UK) (Studi sulle reazioni chimiche superveloci).

- 1968.** Prima sintesi di un enzima (RNA-ase) da parte di *M. Merrifield* e *B. Gutte*.
Nobel a *L. Onsager* (USA, Norvegia) (Studi sulla termodinamica dei processi irreversibili).
- 1969.** Viene osservata, nello spazio interstellare, la presenza di una molecola pluriatomica, la formaldeide.
Nobel a *O. Hassel* (Norvegia) e *D. H. Barton* (UK) (Sviluppo del concetto di struttura chimica).
- 1970.** L' *Equipe di Berkeley* produce gli elementi 106 e 108.
H. G. Khorana sintetizza il primo gene.
C. H. Li e *D.A. Yamashiro* sintetizzano l'ormone della ghiandola pituitaria umana.
Nobel a *L. F. Leloir* (Argentina) (Studi sulla biosintesi dei carboidrati).
- 1971.** *R. Woodward* sintetizza la vitamina B₁₂.
Nobel a *G. Herzberg* (Canada) (Studi sulla struttura elettronica e sulla geometria molecolare dei radicali liberi).
- 1972.** Nobel a *C. B. Anfinsen* (USA) (Studi sulle ribonucleasi).
Nobel a *S. Moore* (USA) e *W. H. Stein* (USA) (Studi sul sito attivo della ribonucleasi).
- 1973.** Nobel a *E.O. Fischer* (Germania) e *G. Wilkinson* (UK) (Chimica dei composti organometallici a sandwich).
- 1974.** L' *Equipe di Berkeley* produce gli elementi 106 e 107.
Nobel a *P. J. Flory* (USA) (Chimica-fisica delle macromolecole).
- 1975.** Nobel a *J. W. Cornforth* (UK) (Stereochimica delle reazioni enzimatiche).
Nobel a *V. Prelog* (Svizzera) (Studi sulla stereochimica delle molecole e delle reazioni organiche).
- 1976.** Nobel a *W. N. Lipscomb* (USA) (Studi sulla struttura dei borani).
- 1977.** Nobel a *I. Prigogine* (Belgio) (Studi sulla termodinamica dei processi irreversibili).
- 1978.** Nobel a *P. D. Mitchell* (UK) (Sviluppo della teoria chemiosmotica).

1979. Nobel a *G. Wittig* (Germania) e *H.C. Brown* (USA) (Sintesi di composti organici di fosforo e boro).

1980. Nobel a *P. Berg* (USA) (Studi sulla biochimica degli acidi nucleici, in particolare del DNA ibrido).

Nobel a *W. Gilbert* (USA) e *F. Sanger* (UK) (Determinazione delle sequenze di basi negli acidi nucleici).

1981. Nobel a *K. Fukui* (Giappone) e *R. Hoffmann* (USA) (Teorie sulle reazioni chimiche).

1982. *P. Ambruster* e *Coll.* (Darmstadt, Germania) producono gli elementi 108, 109, 110, 111 e 112.

L' *Equipe di Dubna* produce l'elemento 114.

Nobel a *A. Klug* (UK) (Sviluppo di metodi cristallografici per la determinazione delle strutture delle proteine).

1983. Nobel a *H. Taube* (Canada) (Meccanismi di reazione con trasferimento di elettroni, in particolare nei complessi metallici).

1984. Nobel a *R.B. Merrifield* (USA) (Sintesi di peptidi e proteine).

1985. Nobel a *H. A. Hauptman* (USA) e *J. Karle* (USA) (Sviluppo di metodi per la determinazione delle strutture cristalline).

1986. *J.G. Bednorz* e *K.A. Müller* producono superconduttori a base di ossidi sinterizzati.

Nobel a *J.C. Polanyi* (Canada), *D.R. Herschbach* (USA) e *Y.T. Lee* (USA) (Dinamica di processi chimici elementari).

1987. Nobel a *D. J. Cram* (USA), *C. J. Pedersen* (USA) e *J-M. Lehn* (Francia) (Sviluppo di modelli molecolari complessi).

1988. Nobel a *J. Deisenhofer* (Germania), *R. Huber* (Germania) e *H. Michel* (Germania) (Determinazione della struttura 3D in un centro di reazione di fotosintesi).

1989. Nobel a *S. Altman* (Canada) e *T. R. Cech* (USA) (Scoperta delle proprietà catalitiche dell' RNA).

1990. Nobel a *E. J. Corey* (USA) (Sviluppo di nuovi metodi per la sintesi di composti naturali complessi).

- 1991.** Nobel a *R.R. Ernst* (Svizzera) (Sviluppo della risonanza magnetica nucleare).
- 1992.** Nobel a *R. A. Marcus* (USA) (Teorie sul trasferimento di elettroni).
- 1993.** Nobel a *K. B. Mullis* (USA) (Scoperta della reazione a catena della polimerasi).
Nobel a *M. Smith* (Canada) (Sviluppo della mutagenesi di un particolare sito).
- 1994.** Nobel a *G.A. Olah* (USA) (Studi sui carbocationi).
- 1995.** Nobel a *P. Crutzen* (Olanda), *M. Molina* (Messico) e *F. S. Rowland* (USA) (Studi sulla decomposizione dell'ozono atmosferico).
- 1996.** Nobel a *R. F. Curl Jr.* (USA), sir *H. W. Kroto* (UK) e *R. E. Smalley* (USA) (Sintesi dei fullereni).
- 1997.** Nobel a *P. D. Boyer* (USA) e *J. E. Walker* (UK) (Studi sui meccanismi enzimatici nella sintesi di ATP).
Nobel a *J. C. Skou* (Danimarca) (Studi sugli enzimi trasportatori di ioni).
L' Equipe di Berkeley produce gli elementi 116 e 118.
Nobel a *W. Kohn* (USA) (Sviluppo delle teorie sulla densità funzionale).
Nobel a *J.A. Pople* (USA) (Sviluppo di metodi di calcolo nella chimica quantistica).
- 1999.** Nobel a *A.H. Zewail* (USA) (Dimostrazione della possibilità di osservare il movimento degli atomi in una molecola durante una reazione mediante la tecnica del laser veloce. Studi degli stati di transizione di una reazione chimica con l'uso della spettroscopia a femtosecondi).
- 2000.** Nobel a *A. Heeger* (USA), *A. Mac Diarmid* (USA) e *H. Shirakawa* (Giappone) (Sviluppo degli studi sui polimeri drogati conduttori, in particolare sul polietilene).
- 2001.** Nobel a *W. S. Knowles* (USA) e *K. B. Sharpless* (USA) (Studi sulle reazioni di ossidazione catalizzate chiralmente).
Nobel a *R. Noyori* (Giappone) (Studi sulle reazioni di idrogenazione catalizzate chiralmente).
- 2002.** Nobel a *J. B. Fenn* (USA) e *K. Tanaka* (Giappone) (Sviluppo degli studi sulla spettrometria di massa di macromolecole biologiche).
- 2003.** Nobel a *K. Wüthrich* (Svizzera) (Sviluppi della spettroscopia NMR nella determinazione della struttura tridimensionale di macromolecole biologiche).

Nobel a *P. Agre* (USA) (Scoperte sui canali nelle membrane cellulari) e a *R. MacKinnon* (USA) (Studi sulla struttura e l'attività dei canali ionici).

2004. Nobel a *A. Ciechanover* (Israele 1947), *A. Hershko* (Israele) e *I. Rose* (USA) (Studi sul decadimento regolato delle proteine).

2005. Nobel a *Y. Chauvin* (Francia), *R. H. Grubbs* (USA) e *R. R. Schrock* (USA) (Studi sulle reazioni di metatesi in chimica organica).

R. Prima ha citato Primo Levi: vi sono chimici che si sono distinti anche fuori dal loro campo?

D. Sì. Le cito quelli di cui sono a conoscenza. Il nome che si presenta subito alla mente è quello di *Aleksandr Porfirevic Borodin*, vissuto nella seconda metà del 1800, discepolo di Mendeleev e professore di chimica all'Accademia di medicina di Pietroburgo. E' famoso non tanto per i suoi lavori di chimica organica ma per aver composto tre sinfonie (l'andante della Sinfonia n. 2 - la conoscerà, risentiamola qualche volta insieme - raggiunge vette brahmsiane), il *Principe Igor* e lo schizzo sinfonico *Nelle steppe dell'Asia centrale*.

Era un chimico di fama internazionale, anche per i suoi studi sulla fermentazione acetonbutilica, il primo presidente dello Stato di Israele, *Chaim Weizmann*.

Un altro chimico, laureato anche in fisica e in medicina, era *Isaac Asimov* (chi non conosce le sue tre leggi della robotica?). Dotato di autoironia scrisse: «Talvolta mi accusano di essere uno scienziato. Non posso negarlo perchè sono dottore in chimica e professore di biochimica, ma è tutto qui [...] Anche quando facevo il chimico professionista non ho praticamente combinato nulla».

Era laureato in chimica il Nobel per la Letteratura 1981 *Elias Canetti* (1905-1994). Ha un diploma di tecnico chimico il card. *Jorge Bergoglio*, arcivescovo di Buenos Aires, noto al pubblico come «rivale» del card. Joseph Ratzinger nel conclave del 2005. E' un perito chimico il comico *Paolo Rossi*.

Gianni Fochi, professore alla *Normale* di Pisa, ricercatore e noto divulgatore scientifico, è anche pittore; nel suo sito internet definisce con

humour l'attività artistica «una mia debolezza». I suoi quadri, ispirati a soggetti danteschi, carducciani, religiosi e altri, esposti in varie mostre sono apprezzati dai critici e dal pubblico.

Era un piccolo industriale chimico (ausiliari tessili) il dottor *Aldo Garzanti*, prima di rilevare, nel 1938, la «Treves», trasformandola con gli anni, insieme al figlio Livio, nella prestigiosa Casa Editrice che porta il suo nome.

Un chimico colorista, *Franco Brunello*, autore di un monumentale saggio («L'arte della tintura nella storia dell'umanità»), è noto anche per una raccolta di disegni legati ad una esperienza vissuta nei campi di concentramento nazisti.

Un altro chimico, *Eugenio Bertorelle*, ha ricevuto vari premi in mostre d'arte per le sue sculture in oro create per via elettrolitica.

Il poeta *Dino Campana*, autore dei *Canti Orfici*, fu studente nella facoltà di chimica dell'Università di Bologna.

Erano chimici l'on. *Michele Giua*, padre costituente; *Umberto Ceva*, uno dei fondatori del Partito d'Azione e *Primo Levi*. Ricordate? «Voi che vivete sicuri / Nelle vostre tiepide case, / Voi che trovate tornando a sera / Il cibo caldo e visi amici: / Considerate se questo è un uomo». Primo Levi parla di chimica ne «Il sistema periodico», contenente anche gustosi ritratti di personaggi incontrati nella sua breve attività professionale, come il Commendatore («A quel tempo ero talmente giovane da pensare ancora che fosse possibile fare mutare idea ad un superiore»), l'aiutante tecnico che parlava di tintura *d'odio* e cloruro *demonio* e il fabbricante di rossetti per labbra che chiamava *adelaide* l'aldeide benzoica e *anellina* l'anilina.

Primo ministro della Repubblica Cinese di Taiwan è stato *Yuan-Tseh Lee*, Nobel per la chimica 1986. E' professore universitario di chimica l'ex-ministro *Gianni De Michelis*.

Tutti i chimici conoscono un divertente libro, *Chimica in versi*, del mancato chimico ma giornalista, poeta e commediografo *Alberto Cavaliere*.

Si è verificato anche il caso contrario: letterati amanti della chimica, tra cui spicca Wolfgang Goethe, a cui Gianni Fochi dedica un intero capitolo nel suo «Il segreto della chimica», di cui si consiglia vivamente la lettura a chi considera questa scienza - si legge nella prefazione - con «noia

e fastidio, come succede in genere per le cose difficili che si è costretti ad imparare più o meno a memoria».

R. Quali sono le più importanti industrie chimiche?

D. Sono relativamente poche e costituiscono dei veri colossi che producono, oltre a sostanze chimiche di base quali acido solforico, sodio idrossido, sodio carbonato, ammoniaca, anilina, fenolo e moltissime altre, anche farmaci, coloranti, plastomeri, fibre sintetiche, fertilizzanti, pesticidi, detergenti, ecc.

Le più importanti multinazionali (in parentesi la Nazione di origine) sono: Du Pont de Nemours, American Cyanamid, Dow Chemical, Monsanto, Exxon (USA); Hoechst, Bayer, BASF, Merck (Germania); Ciba-Geigy, Sandoz, Roche (Svizzera); Mitsubishi (Giappone); Rhone Poulenc (Francia); ICI, BP (Gran Bretagna); Shell (Olanda); Solvay (Belgio), ENIchem (Italia).

R. Scorrendo vecchi testi ho incontrato, quale produttrice di numerose sostanze, una società IG. Di che azienda si tratta?

D. Non era un' Azienda. La IG Farbenindustrie (IG = Interessengemeinschaft, comunità di interessi) costituì, dal 1925 fino alla sconfitta della Germania nella seconda guerra mondiale, un colossale trust, poi smembrato, tra AGFA (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation), Anorgana, Farbenfabriken Bayer, BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik), Böhme Fettchemie, Cassella Farbwercke, Griesheim Elektron, Farbwerke Meister Lucius & Brüning (diventerà Hoechst), Kalle e Co., Offenbach e Rohm & Haas.

R. La Società Montecatini deve il nome all'omonima cittadina termale in provincia di Pistoia?

D. No. La Montecatini (poi Montedison, Enimont, Ausimont, Monteshell, Tecnimont, Syremont e altre) è stata costituita a Firenze, nel 1888, come «Società anonima delle miniere di Montecatini», capitale due

milioni di lire, per la coltivazione di una miniera di rame in un borgo della provincia di Pisa, Montecatini in Val di Cecina.

E' curiosa è l'origine del nome di un' altra industria chimica italiana, la SNIA Viscosa (Società nazionale industrie applicazioni viscosa), nata nel 1922 come «Società di navigazione italo-americana», subendo poi una vistosa metamorfosi.

5.1. Atomi

R. In una storia a fumetti di Carl Barks, Archimede Pitagorico riflette: «Strano che le molte cose che costituiscono le persone siano anche la base per piante, insetti e coperchi di pentole! E' solo questione di come mettere insieme queste cose!». E' fantascienza?

D. No. Inizierò con un esempio. Frantumiamo un pezzettino di zolfo in un mortaio, riducendolo in polvere finissima. Un granello di questa polvere sarà ancora visibile con una lente o con il microscopio. Immaginiamo di possedere attrezzi che ci consentano di suddividere ulteriormente il granello: dove arriveremo? A numerosissime particelle piccolissime non più divisibili «meccanicamente», gli **atomi** di zolfo.

R. Un atomo si può definire una particella indivisibile?

D. No, anche se il nome significa proprio indivisibile (dal greco *témnein*, dividere). Lo si credeva prima che il fisico inglese *J.J. Thomson*, *lord Kelvin* (1824-1907) proponesse un modello di atomo costituito a sua volta da particelle ancora più piccole.

Un atomo è una unità di materia, un sistema costituito «da un singolo nucleo e da elettroni in numero uguale a quello dei protoni del nucleo stesso» (UNI 7267). Intorno al nucleo, avente carica positiva per la presenza di **protoni** (p) (dal greco *prôtos*, primo), sciamano particelle aventi carica negativa, gli **elettroni** (e). L'atomo è la più piccola unità caratterizzante un elemento chimico.

Nel nucleo di tutti gli atomi (idrogeno 1 escluso) vi sono anche particelle elettricamente neutre, i **neutroni**.

In ogni atomo, il numero dei protoni è uguale a quello degli elettroni, per cui gli atomi sono sistemi elettricamente neutri.

Quanto siano piccoli gli atomi si può dedurlo dal seguente esempio, dovuto a T. Jervis.

Se si potesse ingrandire un atomo di argento fino alle dimensioni di una palla da biliardo, questo atomo diventerebbe simile ad una gigantesca sfera avente un diametro di circa 1500 m.

R. Ha usato il termine *sistema*; che cosa significa?

D. Una definizione di sistema è dovuta al matematico italiano *Ugo Amaldi* (1875-1957, padre del più famoso *Edoardo*): «un *sistema* è un insieme di oggetti che si possono considerare, per semplificare, racchiusi in un contenitore di cellophane sottile, quasi inesistente». Ciò che si trova al di fuori del sistema oggetto di studio è detto *intorno*. Ma torniamo agli atomi.

Protoni e neutroni si trovano nel nucleo centrale dell'atomo, intorno al quale «sciamano» gli elettroni. Anche i protoni e i neutroni sono costituiti da particelle ancora più piccole, i *quark*, come vedremo in seguito. Non occupiamoci per il momento dei neutroni.

I protoni sono particelle la cui massa è incredibilmente piccola: la massa del protone è $1,672 \cdot 10^{-24}$ g. Gli elettroni sono molto più piccoli: la massa di un elettrone è $9,107 \cdot 10^{-28}$ g, circa 1836 volte più piccola di quella del protone.

R. I protoni sono tutti uguali tra loro?

D. Sì. Nell'intero universo non è possibile distinguere un protone da un altro: hanno tutti la medesima massa e la medesima carica elettrica. Ciò vale per gli elettroni, i neutroni e le altre particelle subatomiche. Tutto ciò che ci circonda (e noi stessi) appare terribilmente complesso, e lo è; tuttavia, è costituito da pochi tipi di particelle perfettamente uguali tra loro.

Quasi tutta la massa di un atomo è concentrata nel nucleo. Così ad esempio, la massa di 1 cm^3 di oro è 19,3 g; quella di 1 cm^3 di nuclei di atomi di oro sarebbe superiore a tre milioni di tonnellate.

R. Che cosa c'è tra il nucleo e gli elettroni?

D. Nulla. La materia che i nostri sensi percepiscono è straordinariamente vuota.

I. Asimov propone i seguenti esempi. Il diametro di un nucleo atomico è dell'ordine di 10^{-12} mm, circa 1/100 000 del diametro di un atomo. Se gli atomi presenti in un determinato volume di materia potessero essere stretti, schiacciati così fortemente da provocare l'eliminazione degli elettroni periferici, i nuclei finirebbero per affastellarsi e il volume di materia potrebbe ridursi a circa 1/100 000 di quello originale. Se tutta la Terra fosse compressa in modo da diventare una sfera di soli nuclei atomici, il suo diametro si ridurrebbe a circa 120 m.

R. E' possibile vedere gli atomi?

D. La massa dell'atomo più piccolo (quello dell'idrogeno) è dell'ordine di 10^{-24} g mentre la massa dell'atomo più grande tra quelli esistenti in natura (quello dell'uranio), è dell'ordine di 10^{-22} g. Scrivendoli con tutti gli zeri questi numeri fanno una certa impressione e sono fuori da ogni paragone con oggetti familiari al punto che, ancora nei primi anni del Novecento, uno scienziato come il chimico tedesco *Wilhelm Ostwald* (1853-1932) credeva che gli atomi fossero astrazioni matematiche, utili soltanto per spiegare alcuni fenomeni. Nel 1995, lo statunitense *Erwin Müller*, con il suo microscopio ionico ad emissione di campo, riuscì a «strappare» degli atomi della punta di un ago sottilissimo ottenendo, su uno schermo fluorescente, una immagine ingrandita, in cui gli atomi apparvero come puntini luminosi.

I protoni e gli elettroni, pur avendo massa diversa, hanno *uguale carica elettrica*, positiva i primi, negativa i secondi. E qui mi aspetto una domanda... .

R. Eccola: che cosa si intende per carica elettrica?

D. Qui ti volevo. Ha scritto *Isaac Asimov*: «Sappiamo come si comporta e come misurare le proprietà di una carica elettrica ma non sappiamo che cosa sia». Ed il pittore *Wasilij Kandinskij*: «Sull'arte e l'elettricità grava lo stesso mistero: si ignora quello che sono».

L'unità di misura SI della carica elettrica è il *coulomb* (C) (in onore del fisico francese F.A. de Coulomb, 1736-1806). La carica elettrica del protone, e dell' elettrone, è $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

R. Quindi, gli atomi possiedono una carica elettrica?

D. No, un atomo è elettricamente neutro perché contiene lo stesso numero di protoni e di elettroni. Si conoscono, almeno finora, centodiciotto «tipi» di atomi, diversi tra loro per il diverso *numero atomico*, a cui corrispondono altrettanti *elementi chimici*.

Il **numero atomico** (Z) di un atomo è il numero di protoni presenti nel nucleo di quell' atomo, a cui corrispondono altrettanti elettroni. Quando è necessario, il numero atomico si scrive in basso a sinistra del simbolo dell' elemento; es: ${}_1\text{H}$, ${}_8\text{O}$, ${}_{94}\text{Pu}$.

Il numero atomico dell'atomo di carbonio è $Z = 6$. Ciò significa che...

R. ...nel nucleo dell'atomo di carbonio vi sono 6 protoni e intorno sciamano 6 elettroni.

D. Nel nucleo di tutti gli atomi (idrogeno 1 escluso) sono presenti anche particelle prive di carica elettrica, cioè elettricamente neutre, dette appunto **neutroni**. La massa del neutrone è un poco più alta di quella del protone, $1,672\,47 \cdot 10^{-24}$ g.

Protoni e neutroni, trovandosi soltanto nel nucleo degli atomi, vengono detti **nucleoni**.

Il **numero di massa** (A) è il *numero dei nucleoni* presenti nel nucleo di un atomo; quindi, $A = Z + N$, dove N è il numero dei neutroni. Quando è necessario, il numero di massa si scrive in alto a sinistra del simbolo dell' elemento; es.: ${}^3\text{H}$, ${}^{238}\text{U}$.

Si denominano **nuclidi** le specie atomiche di cui si conoscono il numero atomico e il numero di massa.

R. Numero atomico e numero di massa costituiscono quindi una specie di «codice fiscale» di un atomo.

D. Proprio così. Il numero di massa di un atomo di iodio è $A = 127$. Ciò significa che nel nucleo di questo atomo vi sono: a) 127 nucleoni. b) 127 neutroni.

R. La risposta esatta è a): vi sono 127 tra protoni e neutroni, cioè 127 nucleoni.

5.2. Elementi chimici

R. Un elemento chimico si può definire...

D. Un elemento chimico, o semplicemente **elemento**, è una sostanza costituita da atomi aventi tutti lo stesso numero atomico.

Ad ogni elemento è stato assegnato un nome e un simbolo.

R. Qual è l'origine dei nomi degli elementi chimici?

D. Alcuni nomi (oro, rame, argento, stagno, piombo, ecc.) sono molto antichi. Altri sono tratti, come quelli di pianeti e satelliti omonimi, dalle mitologie greca, romana e nordica (uranio, cerio, vanadio, ecc.); molti derivano da quelli di scienziati (fermio, curio, mendelevio, ecc.). Alcuni elementi prendono il nome dal colore di righe del loro spettro di emissione (es: rubidio, cesio); altri hanno nomi «geografici» (americio, renio, afnio, lutezio, ecc.)

R. Scorrendo la tavola periodica, ho notato che i simboli di alcuni elementi non corrispondono al nome italiano.

D. I *simboli* degli elementi sono abbreviazioni dei loro nomi latini o latinizzati. Così ad esempio, il simbolo dell'oro è Au (da *aurum*), quello del curio è Cm (da *curium*) e quello del rame Cu (da *cuprum*). Alcuni termini scientifici derivano, anziché dal nome dell'elemento, dal simbolo. Così ad esempio, in fisiologia, le concentrazioni dello ione potassio (K) e dello ione sodio (Na) sono dette *kaliemia* e *natremia*.

R. Scorrendo giornali e riviste mi sono imbattuto in espressioni come «lampade al neon», «saldatura ad argon», «il radon è presente nelle nostre cantine». A quali sostanze si allude?

D. Agli elementi chimici *neo*, *argo* e *rado*, scritti nella forma latinizzata usata nella lingua inglese. Si incontrano talvolta anche *fluorina*, *clorina*, *bromina*, *iodina*, *astatina*, *nitrogeno*, *silicone*, traduzioni maccheroniche dall'inglese di fluoro, cloro, bromo, iodio, astato, azoto, silicio.

R. In un testo italiano di chimica analitica si parla del ferron. Si tratta di un refuso o di un termine straniero?

D. Chi non si occupa di analisi chimica si imbatte talvolta in nomi che sembrano traduzioni in veneziano di quelli di noti elementi chimici: aluminon, cadion, cupron, ferron, magneson, zincon e simili. «Sotoportego del Magneson», «Rio terrà Cupron»: suonano bene.

Si tratta di reagenti organici, in genere coloranti dai nomi lunghi e complessi, specifici per la ricerca dei cationi alluminio, cadmio, rame, ferro, magnesio, zinco, ecc.

R. In un vecchio testo si accenna ad un elemento *columbio*, simbolo Cb, introvabile nella tavola periodica di Mendeleev. Di quale elemento si tratta?

D. Il nome di alcuni elementi è cambiato nel corso del tempo; columbio è l'antico nome del niobio, scoperto, insieme al tantalio, nel minerale columbite.

Tab 5/2. Nomi desueti di alcuni elementi.

		<i>ora</i>
alabamio	da Alabama, USA	astato
aldebaranio	da una stella	tulio
attino	da attinio	rado 219
brevio	dalla vita breve	protoattinio
cassiopeo	da una costellazione	lutezio
celtio	dai Celti	lutezio
emanazione	prodotto da altri elementi	rado

eritronio	dai sali rossi	vanadio
florenzio	da Firenze	promezio
glucinio	dal sapore dolce dei suoi sali	berillio
illinio	da Illinois, USA	promezio
ionio	ionizzante	torio 230
masurio	da Masuria, regione polacca	tecnezio
toro	da torio	rado 220
virginio	da Virginia, USA	francio

In passato furono commessi anche errori. Il cloro, prodotto dal chimico svedese C. W. Scheele nel 1774, fu ritenuto un composto e chiamato acido ossimuriatico (dal latino *muria*, salamoia); ancor oggi qualcuno chiama acido muriatico l'acido cloridrico. Soltanto nel 1810 il chimico inglese sir Humphry Davy comprese trattarsi di un elemento.

Il tellurio fu ritenuto una lega di antimonio e bismuto fino a quando, nel 1792, J. F. Müller von Reichenstein dimostrò che nè l'uno nè l'altro dei due elementi erano presenti ma che si trattava di un nuovo elemento, che chiamò metallum problematicum.

La scoperta dell'elemento n. 23 fu comunicata, nel 1801, da A. M. Del Rio, dell'università di Città del Messico, che lo chiamò eritronio. Successivamente, Del Rio ritrattò l'affermazione. Nel 1830, lo svedese N.G. Sefström stabilì che Del Rio aveva ragione ma l'elemento fu chiamato vanadio.

Nel 1827, il russo H. Osann annunciò la scoperta di tre elementi simili al platino, che chiamò pluranio, rutenio e polinio. Nel 1844, il tedesco K. Klaus dimostrò che si trattava di un solo elemento, il rutenio.

Nel 1844, il tedesco H. Rose, a cui si deve la distinzione tra niobio e tantalio, fino allora considerati un unico elemento, ritenne di aver isolato, dai minerali tantalite e columbite, un terzo elemento che chiamò pelopio. Si trattava sempre del niobio. Sempre nel XIX secolo, neodimio e praseodimio furono ritenuti in un primo tempo un unico elemento (didimio).

Alcune righe dello spettro fecero credere alla presenza, nelle stelle, di elementi che furono chiamati protoidrogeno, asterio, nebulio e geocoronio. Si capì in seguito che si trattava di idrogeno ed elio ionizzati.

Da questo momento, terremo sempre sulla scrivania la tavola periodica di Mendeleev. Diamole una prima occhiata, senza entrare in particolari; in essa:

* Gli elementi sono elencati *in ordine crescente di numero atomico*.

* Le colonne (*gruppi*) sono diciotto; in ciascuna trovano posto elementi dalle proprietà fisiche e chimiche simili.

* Le righe (*periodi*) sono sette e vedremo più avanti il loro significato.

* *Idrogeno*. E' posto in testa al primo gruppo ma, per la particolare costituzione del suo atomo (1 protone, 1 elettrone) costituisce un caso a sè.

* Gli elementi delle prime due colonne (idrogeno escluso), sono i veri *metalli*. Gli elementi del gruppo 1 sono detti *metalli alcalini*; gli elementi del gruppo 2, *metalli alcalino-terrosi*.

R. Sembra il nome di un sestetto rock-techno-metallaro.

D. Infatti, il quarto elemento del gruppo 2 porta un nome simile a quello, usatissimo anche se volgare, per indicare una persona sciocca.

* Nell' ultima colonna trovano posto sei elementi detti *gas nobili* perchè hanno scarsa tendenza a formare composti tra loro e con altri elementi.

* Nella parte centrale (gruppi dal 3d al 12 d) si trovano i *metalli di transizione*.

* Nel triangolo delimitato dai gas nobili e dalla scaletta che porta dall' alto in basso verso destra si trovano elementi detti *non metalli*. Un tempo venivano chiamati *metalloidi*, ma il termine è improprio perché significa «simile ad un metallo», il che non è vero. Il confine indicato dalla scaletta non è netto: *boro, silicio, germanio, arsenico, antimonio e tellurio*, per alcune particolari proprietà, sono detti *semimetalli*.

* In particolare, gli elementi del gruppo 17 si chiamano *alogeni*; quelli del gruppo 16, *calcogeni*; il gruppo 15 viene detto *gruppo dell'azoto* e il gruppo 14, *gruppo del carbonio*.

* Due serie di elementi, detti rispettivamente *lantanoidi* (dal 58 al 71) e *attinoidi* (dal 90 al 103) sono collocati fuori dalla tavola periodica, per il motivo che vedremo.

Alcuni elementi, come ad esempio l'ossigeno e il silicio, si trovano in natura in grande quantità. Altri, come l'oro, il mercurio, l'argento, sono presenti in quantità molto piccola.

Percentuale stimata degli elementi nella litosfera: ossigeno, 46,6 %; silicio, 27,7 %; alluminio, 8,1 %; ferro, 5 %; calcio, 3,6 %; sodio, 2,8 %; potassio, 2,6 %; magnesio, 2,1 %. Seguono, in ordine decrescente: Ti, H, P, Mn (> 1 %); F, S, Sr, Ba, C, Cl, Cr, Zr, Rb, V ($0,1 \div 0,01$ %); W, Ce, Pb, Co, B ($0,01-0,001$ %); Mo, Sn, Br, As, Be, Ge ($10^{-3} \div 10^{-4}$ %); Se, Cs, Nb, Sb, Pt, U, Cd ($10^{-4} \div 10^{-5}$ %); I, Os, Pd, Ag, Bi, Hg, Ir, Au ($10^{-5} \div 10^{-6}$ %).

Percentuale degli elementi nel corpo umano: ossigeno, oltre 62 %; carbonio, più del 21 %; idrogeno, quasi il 10 %; azoto, più del 3 %; calcio, oltre l'1 %; P, S, Na, K, Mg, Cl, piccole quantità; Fe, F, Zn, Br, Si, Cu, I, Mn, minime quantità; Co, Mo, Se, Sn, V, tracce.

TAVOLA PERIODICA DI MENDELEEV (2004)

1	2	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d	11d	12d	13	14	15	16	17	18
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Unq	105 Unp	106 Unh	107 Uns	108 Uno	109 Une	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113	114 Uuq	115	116 Uuh	117	118 Uuo

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

Ora mi dica: quanti elettroni sono presenti nell'atomo di vanadio?

R. Nella tavola periodica questo elemento occupa la casella 23; l'atomo di vanadio contiene perciò 23 elettroni (e, nel suo nucleo, 23 protoni).

D. Un'altra domanda: se un atomo di vanadio potesse perdere oppure acquistare un protone che cosa diventerebbe?

R. Nel primo caso si trasformerebbe in titanio ($Z = 22$) e nel secondo in cromo ($Z = 24$).

E' quindi possibile (come credevano gli alchimisti quando tentavano la trasmutazione di un metallo «vile» in oro) trasformare un elemento in un altro?

D. Con una reazione chimica è impossibile; è fattibile attraverso una reazione nucleare, come vedremo. Bene, ora parliamo di **molecole di un elemento**, sistemi costituiti dall'unione di due o più atomi di un elemento. Si rappresentano con formule in cui, in pedice al simbolo, è indicato il numero degli atomi che le costituiscono.

Esempi. a) L'idrogeno, l'azoto e il cloro si trovano in natura sotto forma di molecole biatomiche H_2 , N_2 e F_2 .

b) L'ossigeno si trova in natura sotto forma di molecole biatomiche O_2 e triatomiche O_3 . Il primo (*diossigeno*) è l'ossigeno dell'aria; il secondo (*triossigeno* o *ozono*) si forma dall'ossigeno dell'aria per azione di scariche elettriche o di radiazioni.

c) Il fosforo forma molecole tetraatomiche P_4 e lo zolfo molecole octatomiche S_8 .

Che cosa rappresentano le seguenti formule: $3H_2$, $5O_2$?

R. Tre molecole di idrogeno e cinque molecole di ossigeno.

5.3. Isotopi.

D. Si dicono *nuclidi isotopi* (o semplicemente *isotopi*) due o più nuclidi aventi il *medesimo numero atomico* (stesso numero di protoni) ma *diverso numero di massa* (diverso numero di neutroni).

In maggioranza, gli elementi naturali sono miscele di isotopi. Il termine isotopo deriva dal greco *ísos*, uguale, e *tópos*, luogo; significa quindi «*nello stesso luogo*»; infatti, gli isotopi di un elemento occupano la stessa casella nella tavola periodica di Mendeleev per cui la tavola non fornisce informazioni sulla loro esistenza e sulla loro natura; nei Manuali, gli isotopi si trovano elencati in lunghe tabelle.

Esempi. a) Si conoscono tre nuclidi dell'idrogeno: *l'idrogeno 1* o *pròzio* (1H), *l'idrogeno 2* o *deuterio* (2H e anche D) e *l'idrogeno 3* o *trizio* (3H e anche T).

Contengono rispettivamente 0 neutroni, $(2 - 1) = 1$ neutrone e $(3 - 1) = 2$ neutroni.

b) Vi sono cinque isotopi del carbonio, ^{10}C , ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , aventi tutti $Z = 6$ ma numeri di massa rispettivamente 10, 11, 12, 13, 14.

Alcuni nuclidi, i *radionuclidi* o *isotopi radioattivi*, sono instabili, si disintegrano spontaneamente e li incontreremo in seguito. Il nuclide naturale più pesante stabile è il bismuto 209 ($^{209}_{83}\text{Bi}$); tutti i nuclidi aventi $Z > 92$ sono instabili. Non si conoscono isotopi stabili del *tecnezio* Tc ($Z = 43$) e del *promezio* Pm ($Z = 61$); questi due elementi non si trovano in natura.

Ora risponda: il numero atomico del ferro è $Z = 26$. Il simbolo ^{55}Fe rappresenta un atomo di ferro contenente: a) 26 protoni e 55 neutroni. b) 26 protoni e 29 neutroni.

R. La risposta esatta è la seconda: 55 nucleoni - 26 protoni = 29 neutroni.

D. Il simbolo di un elemento E è $^{52}_{24}\text{E}$. Di quale isotopo di elemento si tratta? Quanti neutroni contiene il nucleo di questo isotopo?

R. Poichè $Z = 24$ l'elemento non può essere che l'isotopo 52 del cromo, contenente $52 - 24 = 28$ neutroni.

D. La carica elettrica del nucleo di un atomo di wolframio 184, contenente 74 protoni e 110 neutroni è: Zero? 184? + 74? - 74?

R. $E^+ 74$.

D. Si definisce **abbondanza isotopica** il «rapporto percentuale, in una miscela di isotopi di un elemento, tra il numero di atomi di un particolare isotopo ed il numero totale degli atomi dell'elemento» (UNI 7267).

Esempi. a) L'abbondanza isotopica dello zolfo naturale è la seguente: 95 % di ^{32}S ; 0,7 % di ^{33}S ; 4,2 % di ^{34}S .

b) L'abbondanza isotopica dell'uranio naturale è la seguente: 99,28 % di ^{238}U e soltanto 0,72 % di ^{235}U .

Alcuni elementi naturali sono costituiti da un solo tipo di nuclide. Sono elementi *mononuclidici* alluminio, arsenico, berillio, bismuto,

cobalto, cesio, fluoro, fosforo, iodio, ittrio, manganese, niobio, olmio, oro,
praseodimio, rodio, scandio, sodio, terbio, tulio.