



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
139° (2021), Vol. II, fasc. 1, pp. 9-23
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-44-7

A lezione di Chimica: i 150 anni del sistema periodico e il centenario della nascita di Primo Levi

VINCENZO AQUILANTI*

* Uno dei XL, Linceo. Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Università di Perugia. Istituto di Struttura della Materia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.
E.mail: vincenzoaquilanti@yahoo.it

Abstract – Occasions for celebration in numerous initiatives were, in the year 2019, both the hundred and fiftieth anniversary of Mendeleev’s epochal formulation of the periodic system of the elements, and the centenary of the birth of Primo Levi, chemist by profession, well-known witness of the Shoah and counted among the greatest Italian writers of the twentieth century. The novel “The Periodic System” is one of his best known books and is recognized as an exemplary model of scientific writing. The last chapter of the book not only concludes it, but also represents an autonomous narration: it is titled “Carbon” and a rereading of it is proposed here, demonstrating that, beyond the narrative excellence, there is matter in the structure and content of Levi’s pages which can be taken as a canon of chemistry teaching and scientific dissemination; there is also mention of the updates that account for the progress that has occurred in the meantime as regards the topics covered. Levi’s curiosity as a scientist has regarded the topic of molecular chirality since his thesis until the late essay “Asymmetry and Life”. A motivation of the presentation is to modernize the arguments presented in Primo Levi’s pages, in order to make use even today of masterful introductory lessons to chemistry.

Keywords: historical context, the thesis on Walden inversion, carbon, chirality, updates

Riassunto – Occasioni di celebrazione in numerosissime iniziative sono state, nell’anno 2019, sia il centocinquantesimo anniversario della epocale formulazione di Mendeleev del sistema periodico degli elementi, sia il centenario della nascita di Primo Levi, chimico di professione, notissimo testimone della Shoah e annoverato tra i massimi scrittori italiani del Novecento. Il libro di narrativa “Il sistema periodico” è uno dei suoi più noti ed è riconosciuto come modello esemplare dello scrivere di scienza. L’ultimo capitolo del libro non solo lo conclude, ma rappresenta anche una narrazione autonoma: si intitola “Carbonio” e se ne propone qui una rilettura, a dimostrazione che, al di là della eccellenza narrativa, c’è materia nella struttura e contenuto delle pagine di Levi che può essere presa a fondamento della didattica della chimica e della divulgazione scientifica: si accenna altresì agli aggiornamenti che danno conto del progresso intervenuto nel frattempo per quanto riguarda i temi trattati. Argomento trattato da Levi da un punto di vista scientifico è quello della chiralità molecolare, a partire dalla tesi in chimica fino al saggio di alcuni decenni dopo “L’asimmetria e la vita”. Motivazione di questo articolo è anche quella di modernizzare gli argomenti presentati nelle pagine di Primo Levi, così da rendere fruibile, anche oggi, magistrali lezioni introduttive alla chimica organica.

Parole chiave: il contesto storico, la tesi sull’inversione di Walden, il carbonio, la chiralità, aggiornamenti

1. Introduzione e Motivazione

Di Primo Levi il Gruppo di Storia e Fondamenti della Chimica si è occupato spesso; articoli sono apparsi negli atti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, a partire da quello esemplare di Gianlorenzo Marino (1990), fino a quelli di Maria Vittoria Barbarulo che ha chiuso il Congresso nel 2017, e di Trifirò e Barbarulo che hanno presentato la multiforme figura di Levi come chimico industriale nel 2019. Nell'articolo del 2017 si tratta esaurientemente della tesi di laurea in Chimica di Levi, nella Torino nel 1941 (Fig. 1) sull'inversione di Walden, processo reattivo nell'ambito del fondamentale tema della chiralità molecolare: si tratta infatti di un meccanismo della chimica organica e della biochimica mediante il quale una molecola che ha un atomo di carbonio asimmetrico (legato cioè a quattro gruppi diversi) si trasforma nella sua immagine speculare, in corrispondenza dell'inversione simultanea della direzione nello spazio dei quattro legami.

Su questo argomento, che emerge occasionalmente anche nelle sue opere di narrativa (Di Meo 2012), Levi è tornato molti decenni più tardi e "L'Asimmetria e la Vita" è il titolo di un suo celebre articolo degli anni '80 e anche di una raccolta postuma di suoi saggi. Viene considerata altrove (Aquilanti 2021) l'evoluzione del pensiero di Levi e l'attualità del suo contributo a questo tema. La coincidenza con un altro cinquantenario ci appare ineludibile: le rivoluzioni universitarie del Sessantotto

Questo articolo nasce dalla trascrizione di una conversazione tenuta dall'autore con i partecipanti al Convegno del Gruppo di Storia e Fondamenti della Chimica svoltosi nei *giorni 8-10 ottobre 2019* nella Biblioteca dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL presso Villa Torlonia in Roma. Gli atti del convegno sono raccolti in un fascicolo di queste Memorie. (Serie V, vol. XLIII, Parte II, tomo II, 2019) Il ritardo che ha impedito l'inserimento di questa trascrizione in quel volume ha consentito un sostanziale aggiornamento che tiene conto in particolare di un contributo dell'autore al Convegno tenuto presso la sede di Palazzo Corsini dell'Accademia Nazionale dei Lincei nel dicembre dello stesso anno e dedicato a Primo Levi e Sistema Periodico. La trascrizione di questo intervento viene pubblicata altrove (*Dalla Tesi del 1941 a L'asimmetria e la vita del 1984 e l'Intervento di Tullio Regge del 1998*, Aquilanti, 2021) e la sua lettura può essere considerata complementare rispetto a quella del presente articolo. Si vedano inoltre le lezioni per studenti di scuole romane nell'ambito del ciclo Quarantascienza che si tengono annualmente presso questa Accademia. Si sono svolte nel 2019 con il titolo "Il viaggio dell'astronave Terra" e registrate nel sito www.accademiaxl.it. Infine è un dovere e un piacere per me ringraziare la competente assistenza di Antonella Grandolini, senza la quale questo testo non sarebbe stato portato a termine.



Fig. 1. Locandina di un celebre film del 1941, prodotto a Roma nell'anno dell'entrata in guerra dell'Italia nella Seconda Guerra Mondiale: fu un successo internazionale e il riferimento alla chimica nel titolo, del tutto marginale nella trama del film, dimostra quanto popolare fosse la percezione di questa scienza, considerata strategica in particolare per l'Italia in fase di accelerate industrializzazione imposta dal regime fascista. Levi preparò in quell'anno la sua tesi in chimica con dati anche aggiornati raccolti in biblioteca a Torino, non essendogli consentito l'accesso ai laboratori a causa delle leggi razziali.

propiziarono ristrutturazioni della didattica; dal 1969 l'insegnamento del sistema periodico nei corsi di chimica generale e inorganica e di introduzione alla chimica organica venne discusso e fondato su nuove basi. Ci sembra appropriato farne cenno, anche alla luce del moderno dibattito sulla didattica della scienza.

E parleremo altresì del libro importantissimo di Primo Levi che si intitola "Il sistema periodico" del 1975 (Fig. 2). Anche il sistema periodico degli elementi è al centro della nostra attenzione nel centocinquantesimo della sua formulazione a opera di Mendeleev, che è una icona, una metafora, un totem universale non solo per la chimica, ma per un corretto approccio all'attività scientifica in generale: a fondamento del pensiero scientifico di Galileo è la ricerca di portare alla individuazione di ricorrenza di eventi, di periodicità delle situazioni, di ripetibilità di esperimenti, così che la catalogazione delle osservazioni sia accompagnata da relazioni riproducibili su cui basare le leggi che derivano dall'esperienza. Questa è una motivazione ricorrente nella filosofia della scienza secondo Levi.

Primo Levi, annoverato tra i più grandi scrittori italiani del secolo scorso, è stato per sua sfortuna vittima ma poi testimone della Shoah, e quindi come tale è considerato un maestro del pensiero, specialmente in riferimento agli avvenimenti nei momenti più bui della storia dell'umanità, quelli della Seconda Guerra Mondiale: Levi

ne ha percepito piena coscienza e ne ha variamente e profondamente scritto in maniera mirabile.

Di Levi come chimico di formazione e per lunghi anni di professione, la vasta opera è ineguagliabile per confutare l'immagine del chimico, o in generale di un uomo di scienza – per necessità, uno studioso rifugiato nel suo laboratorio, alle prese con i suoi libri e con strani simboli illeggibili che vanno a finire su una lavagna e saranno cancellati o trascritti in volumi depositati in polverosi scaffali delle biblioteche universitarie. Tutta l'opera di Primo Levi è un esempio inarrivabile del contrario. In Fig.2 una citazione da "Il Sistema Periodico" (1975) viene messo a confronto con una da "The Voyage of the Beagle" (1838-1839), la narrazione del viaggio sulla famosa goletta che portò Charles Darwin, allora giovanissimo naturalista, alla circumnavigazione del globo, da cui prese avvio lo sviluppo della teoria dell'evoluzione. E "viaggio" gioca il ruolo di parola chiave che ricorre nel nostro discorso: "Il viaggio" è il titolo del primo capitolo del primo libro di Levi "Se questo è un uomo" (1947). Ma tornando al "Sistema Periodico": in una classifica di quale fosse il miglior libro di narrativa scientifica di tutti i tempi questo di Primo Levi è risultato al primo posto, superando altri notissimi tra cui quello di Darwin sul viaggio del Beagle. La classifica è stata proposta dal giornale "The Guardian", ulteriore riconoscimento del ruolo di questo personaggio nella cultura moderna del XX secolo. (Maggiori dettagli in Di Meo 2012, Aquilanti 2021).

Levi non ha mai dimenticato di essere chimico di formazione anche se la sua carriera di chimico come scienziato si è arrestata con la Seconda Guerra Mondiale, con l'internamento ad Auschwitz e il terribile viaggio di ritorno; successivamente Levi ha lavorato come chimico nell'industria e poi come manager, infine lasciando completamente anche l'attività di chimico industriale per intraprendere quella di scrittore, sia di narratore che di divulgatore, unica preziosa eccezione, il saggio "L'asimmetria e la vita" cui faremo cenno.

2. Il Sistema Periodico di Levi come Canone Chimico: Il Carbonio

"Il Sistema Periodico", così come "Se questo è un uomo" (l'opera di Levi più famosa), è un libro di narrativa. Consiste in una serie di ventuno capitoli che possono essere letti come una serie di racconti portanti ciascuno il titolo di un elemento del sistema periodico: insieme compongono un romanzo come un mosaico.

L'ultimo capitolo si intitola carbonio; non è un caso

che il libro culmini con il carbonio e significativa la domanda che Levi si pone (Fig. 2): "È lecito parlare di un certo atomo di carbonio? Per il chimico esiste qualche dubbio perché – dice Levi negli anni '70 – non si conoscono fino ad oggi tecniche che consentono di vedere o comunque isolare un singolo atomo, nessun dubbio esiste per il narratore il quale per tanto si dispone a narrare". Dopo mezzo secolo, queste tecniche invece sono accessibili (Aquilanti 2021), ma la narrazione di Levi del viaggio immaginario nel tempo di un atomo di carbonio trascende l'alto valore letterario che lettori e critici gli hanno riconosciuto una presentazione immaginaria di questo viaggio fornendo, anticipando quello che oggi in effetti possiamo fare, cioè "vedere gli atomi".

Oggi quindi questo esempio serve anche a percepire come nel tempo la scienza in questi anni abbia reso falsificabile questa bellissima frase che rispecchia lo stato delle conoscenze fino a una cinquantina di anni fa. Dai tempi in cui Levi la scrisse infatti essa non descrive più la realtà. Va notato che noi adesso gli atomi li "vediamo" con gli strumenti dei laboratori e per capire che cosa ciò vuol dire occorre aggiornare la scrittura di Levi con riferimento a scoperte che sono state elaborate nel corso di questi decenni di ricerca scientifica.

Il Sistema Periodico degli elementi (Fig. 3) viene dunque celebrato per i suoi centocinquanta anni: una ineludibile coincidenza è che nell'anno di grazia 2019 si è celebrato anche il centenario della nascita di Primo Levi (1919). Si sono svolte innumerevoli iniziative che andassero incontro alla opportunità di approfondire la conoscenza di questi temi, il profilo del personaggio Levi, il calibro della sua testimonianza sulla scienza. Tutto ciò va comunque inquadrato tenuto conto dei progressi della ricerca rispetto ai tempi di cui Levi è stato testimone e ci ha trasmesso in maniera mirabile nelle sue pagine.

Che cosa viene esplicitato nella Figura 3? Gli elementi sono differenzialmente evidenziati da cerchietti. In rosso sono cerchiati gli elementi che costituiscono i vari capitoli del libro di Levi e ne rappresentano i titoli; i cerchietti gialli sono elementi per i quali quando Mendeleev propose la sua classificazione, per renderla coerente in un quadro di riferimento complessivo c'erano dei "buchi", cioè c'erano delle cose che non tornavano, c'erano dei posti vuoti. La loro ricerca e scoperta successiva è esemplare del potere predittivo della formulazione di Mendeleev come teoria (Fig. 3).

E invero una teoria scientifica non solo deve interpretare quello che è già noto, ma deve anche anticipare e propiziare eventuali nuove scoperte e inoltre proporre esperimenti futuri che le confermino. C'erano delle la-

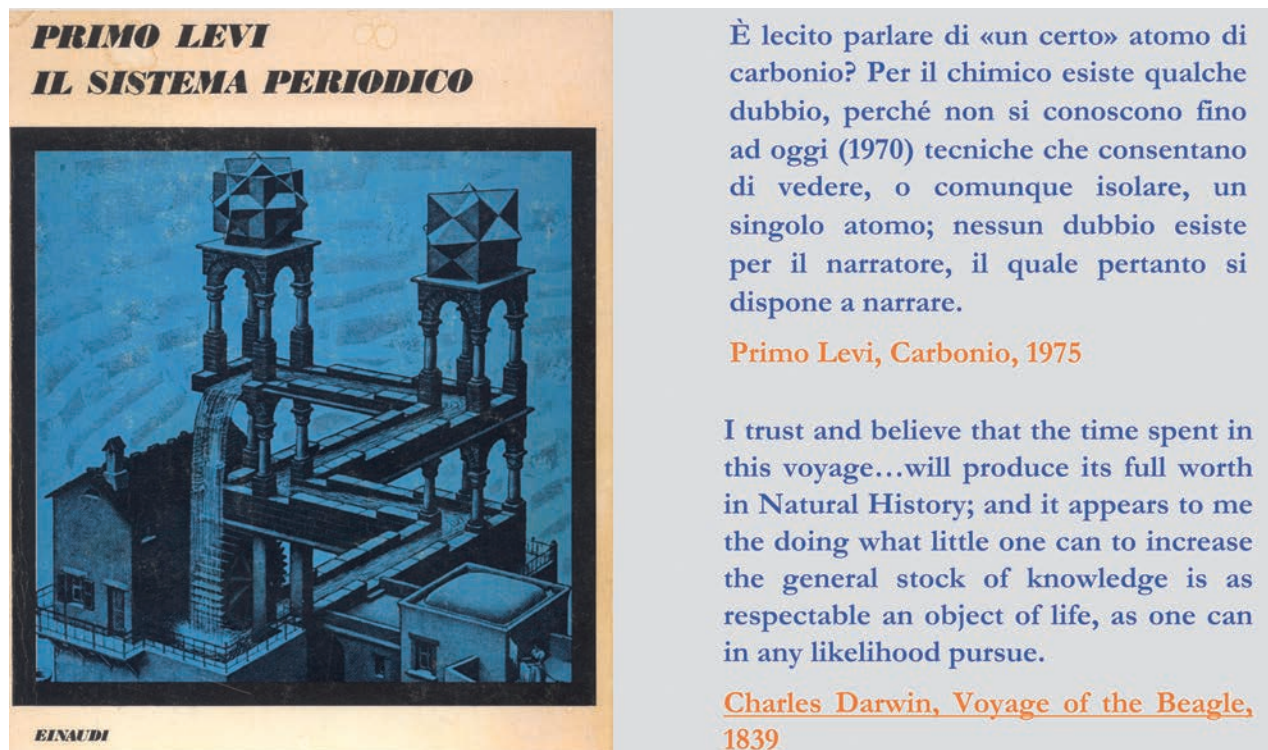


Fig. 2. Nella famosa copertina della prima edizione (1975) de "Il Sistema Periodico", l'immagine di Escher (vedi anche Figs 9, 10, 12 e 13) illustra l'impossibilità del moto perpetuo in un contesto di chimica industriale specifico della professione di Levi in quegli anni.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 IA 1 H Hydrogen 1.008 | 2 IIA 2A 2 He Helium 4.003 | | | | | | | | | | | | | | | | | 18 VIIIA 8A 2 He Helium 4.003 | | | | | |
| 3 Li Lithium 6.941 | 4 Be Beryllium 9.012 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 B Boron 10.811 | 6 C Carbon 12.011 | 7 N Nitrogen 14.007 | 8 O Oxygen 15.999 | 9 F Fluorine 18.998 | 10 Ne Neon 20.180 |
| 11 Na Sodium 22.990 | 12 Mg Magnesium 24.305 | | | | | | | | | | | | | | | | | 13 Al Aluminum 26.982 | 14 Si Silicon 28.086 | 15 P Phosphorus 30.974 | 16 S Sulfur 32.06 | 17 Cl Chlorine 35.453 | 18 Ar Argon 39.948 |
| 19 K Potassium 39.098 | 20 Ca Calcium 40.078 | 21 Sc Scandium 44.956 | 22 Ti Titanium 47.867 | 23 V Vanadium 50.942 | 24 Cr Chromium 51.996 | 25 Mn Manganese 54.938 | 26 Fe Iron 55.845 | 27 Co Cobalt 58.933 | 28 Ni Nickel 58.693 | 29 Cu Copper 63.546 | 30 Zn Zinc 65.38 | 31 Ga Gallium 69.723 | 32 Ge Germanium 72.63 | 33 As Arsenic 74.922 | 34 Se Selenium 78.972 | 35 Br Bromine 79.904 | 36 Kr Krypton 83.798 | | | | | | |
| 37 Rb Rubidium 85.468 | 38 Sr Strontium 87.62 | 39 Y Yttrium 88.906 | 40 Zr Zirconium 91.224 | 41 Nb Niobium 92.906 | 42 Mo Molybdenum 95.95 | 43 Tc Technetium 98.906 | 44 Ru Ruthenium 101.07 | 45 Rh Rhodium 102.906 | 46 Pd Palladium 106.42 | 47 Ag Silver 107.868 | 48 Cd Cadmium 112.411 | 49 In Indium 114.818 | 50 Sn Tin 118.710 | 51 Sb Antimony 121.760 | 52 Te Tellurium 127.6 | 53 I Iodine 126.905 | 54 Xe Xenon 131.294 | | | | | | |
| 55 Cs Cesium 132.905 | 56 Ba Barium 137.328 | 57-71 Lanthanide Series | 72 Hf Hafnium 178.49 | 73 Ta Tantalum 180.948 | 74 W Tungsten 183.84 | 75 Re Rhenium 186.207 | 76 Os Osmium 190.23 | 77 Ir Iridium 192.222 | 78 Pt Platinum 195.085 | 79 Au Gold 196.967 | 80 Hg Mercury 200.59 | 81 Tl Thallium 204.383 | 82 Pb Lead 207.2 | 83 Bi Bismuth 208.980 | 84 Po Polonium [209] | 85 At Astatine [210] | 86 Rn Radon 222.018 | | | | | | |
| 87 Fr Francium 223.020 | 88 Ra Radium 226.025 | 89-103 Actinide Series | 104 Rf Rutherfordium [261] | 105 Db Dubnium [262] | 106 Sg Seaborgium [266] | 107 Bh Bohrium [264] | 108 Hs Hassium [265] | 109 Mt Meitnerium [268] | 110 Ds Darmstadtium [281] | 111 Rg Roentgenium [282] | 112 Cn Copernicium [285] | 113 Nh Nihonium [286] | 114 Fl Flerovium [289] | 115 Mc Moscovium [289] | 116 Lv Livermorium [293] | 117 Ts Tennessine [294] | 118 Og Oganesson [294] | | | | | | |
| | | 57 La Lanthanum 138.905 | 58 Ce Cerium 140.116 | 59 Pr Praseodymium 140.908 | 60 Nd Neodymium 144.242 | 61 Pm Promethium 144.913 | 62 Sm Samarium 150.36 | 63 Eu Europium 151.964 | 64 Gd Gadolinium 157.25 | 65 Tb Terbium 158.925 | 66 Dy Dysprosium 162.500 | 67 Ho Holmium 164.930 | 68 Er Erbium 167.259 | 69 Tm Thulium 168.934 | 70 Yb Ytterbium 173.055 | 71 Lu Lutetium 174.967 | | | | | | | |
| | | 89 Ac Actinium 227.028 | 90 Th Thorium 232.038 | 91 Pa Protactinium 231.036 | 92 U Uranium 238.029 | 93 Np Neptunium 237.048 | 94 Pu Plutonium 244.064 | 95 Am Americium 243.061 | 96 Cm Curium 247.070 | 97 Bk Berkelium 247.070 | 98 Cf Californium 251.080 | 99 Es Einsteinium [254] | 100 Fm Fermium 257.095 | 101 Md Mendelevium 258.1 | 102 No Nobelium 259.101 | 103 Lr Lawrencium [262] | | | | | | | |

Fig. 3. Il sistema periodico nella visione moderna originale di Pauli (1925) agli albori della meccanica quantistica. Cerchiati di verde gli elementi non noti ai tempi di Mendeleev ma da lui previsti e successivamente scoperti, e di rosso gli elementi oggetto di capitoli ne "Il sistema periodico". In azzurro il calcio, oggetto delle figure 4a e 4b.

cune e a questi buchi corrispondono i cerchi verdi. Notiamo il caso del germanio che adesso è un elemento comune dei semiconduttori ma non si conosceva all'epoca di Mendeleev, così come non si conosceva il tecnezio, il cui nome significa infatti "artificiale". Per molti decenni le conoscenze sugli elementi del Sistema periodico si fermavano all'uranio, il famoso numero atomico 92. Tutti gli altri elementi non si sono trovati in natura ma sono stati prodotti successivamente con tecniche di chimica e fisica nucleare.

Riprendendo la frase "il singolo atomo", che Primo Levi dice di poter permettersi di narrare ma non di poterlo dimostrare "perché gli atomi non si vedono", adesso possiamo senz'altro confutarla: degli atomi e delle molecole non solo si può raccontare ma oggi però possiamo proprio vederli. E benchè raccontarli, come ha fatto Levi, sia una magnifica lezione di chimica e in essa vale ancora la pena di avventurarsi. L'osservazione che è qui importante riguarda la "centralità del carbonio", nel quarto gruppo del sistema periodico, una posizione che vede alla sinistra i metalli, a destra i non metalli. C'è tutta una serie di motivi ricorrenti, le valenze del carbonio con segno (e cioè i cosiddetti numeri di ossidazione) vanno da -4 a +4, spaziando dal metano (-4) all'anidride carbonica (+4). Il metano è la più semplice delle molecole organiche; l'anidride carbonica è la molecola "finale" dei processi della chimica della biosfera, che può immaginarsi corrispondere alla morte dell'universo biologico.

Gli atomi di carbonio sono mattoni delle strutture biologiche considerate come una serie di edifici molecolari di estrema complessità rispetto alla relativa semplicità per esempio delle molecole piccole. Le strutture che entrano in gioco sicuramente non possono essere banali, sicuramente vanno al di là in quanto complessità a quelle che sono molecole biatomiche, triatomiche, ecc. La loro architettura può essere articolatissima, ma fondamentale è individuare un mattone portante, un mattone che costruisce nelle forme più variegata l'enorme varietà delle strutture biologiche, e l'elemento portante è appunto il carbonio.

Dovendo continuare a seguire la cronologia della descrizione, notiamo che la concettualità delle architetture della vita deve essere compresa a partire dalle strutture più semplici prima della loro costruzione: ma la loro esemplare ripetitività va individuata come caratteristica a sostegno della chimica nella sua multiformità. All'inizio del ragionamento consideriamo l'esempio del carbonio che nelle rocce compare come carbonato, tipicamente di calcio. Levi dice espressamente che del calcio non ha spazio per occuparsene in dettaglio; quindi, ho lette-

ralmente colto la palla al balzo, scrivendo trenta anni fa articololetti semiseri sul calcio (Fig. 4a e 4b) come elemento dal punto di vista chimico e altro: noi sappiamo che il carbonio è fondamentalmente tetravalente (quarto gruppo!) ma può anche essere effettivamente trivalente – con una certa semplificazione del ragionamento proprio nel carbonato (Fig. 5).

Come fa il carbonio ad essere trivalente? Il carbonio (quarto gruppo!) ha quattro elettroni essenzialmente attivi, se ne tolgo uno, in cosa si trasformerebbe nel sistema periodico il carbonio? Perdendo un elettrone si sposterebbe a sinistra e acquisterebbe la proprietà del boro di essere trivalente. L'ossigeno (sesto gruppo) è bivalente (numero di ossidazione -2) e con un elettrone in più cadrebbe nella casella del fluoro, spostandosi a destra nel sistema periodico. Quindi questa molecola, se ne contate e sistemate gli elettroni, è proprio il carbonato CO_3 , anione doppiamente negativo, quindi se questo ione incontra il calcio, catione doppiamente positivo, dà luogo al solido ionico carbonato di calcio – uno dei minerali più comuni ove il carbonio è al centro di un triangolo equilatero, la più semplice forma di ricopertura del piano. Questo è un concetto fondamentale che abbiamo appreso muovendo l'elemento calcio nel sistema periodico come in una scacchiera. Si spiegano similmente strutture lineari e quindi unidimensionali come nella CO_2 (Fig. 6) e nell'acetilene.

Notiamo che allora non può essere un caso che il carbonio in strutture spaziali sia praticamente sempre tetravalente: estendendo dunque la sua trivalenza nel piano, ove si pone tipicamente al centro di un triangolo, secondo la massima manifestazione di perfetta simmetria. Se si vuole creare infatti una perfetta costruzione a struttura planare, non si ha molta scelta: per esempio per la pavimentazione con piastrelle identiche, sono accettabili piastrelle triangolari, quadrate, rettangolari, esagonali, ma non pentagonali. Il triangolo va bene dunque come archetipo per illustrare questo fondamentale concetto che emerge dallo sviluppo del nostro discorso. Più in generale, un concetto guida nella filosofia scientifica moderna è individuare, mediante la ricerca, la manifestazione e il ruolo della simmetria. La simmetria delle strutture è un concetto importantissimo associato a quello di riproducibilità in repliche sempre uguali e quindi prevedibili, così nel senso più profondo permettendo la misura del tempo. Il ripetersi delle oscillazioni del pendolo non è che l'esempio da cui partire per la costruzione degli orologi più elaborati.

La presenza di una simmetria corrisponde a una ripetitività per esempio sequenziale e porta a una guida alla



The Catalyzer



DAILY CHRONICLE OF THE XXV CHEMISTRY OLYMPIAD

Thursday, July 15, 1993 - n.4

The Catalyzer

Thursday, July 15, 1993 pag.3

This is a first of two articles on how to mix science and leisure Football and Chemistry - I Do Italians love chemistry so much?

Today, we will be having the football tournament. Football is the national sport for Italy, as for most nations (except Americans and a few others). Americans call it soccer (can any of the readers suggest why? – see the accompanying article). They use the word *football* for a different game, more like British rugby. The name *football* and the rules of the game in its present form appear to have originated from Britain in the last century, although for several centuries the Florentins used to play a very similar game (they still occasionally play it with ancient costumes). A striking connection with chemistry arises when we consider the Italian word for football, *calcio*. This is no surprise, because *calcio* means kick, but Italians use the same word for the chemical element calcium. To understand how this coincidence may have happened we have to look into the world of *etymology*, the science that studies the origin and evolution of words. Often a good dictionary is sufficient but trying to go deeper into the *genealogical trees* can be complicated but is always fascinating. For chemistry it is not rare that, following the evolution of the names of the chemical substances, one learns how mankind progressively understood their properties and possible uses in line with the progress of science and industry. Names of chemical elements may be different in different languages, but their symbols came from their Latin name (although Latin is now considered to be a dead

language, Italian is one of the modern languages which originate from it). What about *calcium*? It is easy to relate calcium to *calc*, *calcis*, which is latin for lime. *Calcium* was first isolated from lime (CaO , Ca(OH)_2). From lime to limestone (*calcare* in Italian) the connection, both chemical and linguistic, is obvious. When did the connection with kick (and football) arise, then? Well, Latins used the same word *calc*, *calcis* also to

indicate the back of the foot, which explains *calcio* as kick in Italian: it may then be argued that the double meaning of this word originates from the fact that our feet often typically walk on the limestone. Also, use of lime involves pressing, an act often mimicked by pointing the heel of the foot on the ground. When, as in this case, the connection we try to establish appears still too vague, one has to go back

towards the roots of languages: for Western as well for most Eastern languages, the roots are in Sanskrit, the ancient language of India, and the present author does not have any idea how to proceed further... In conclusion, when you hear the very common statement that one of the main activities for Italians is *parlare di calcio*, be warned that it is unlikely that the meaning is that they are talking chemistry.
V.Aquilanti

The name "soccer"

Are you a gentleman or a barbarian?

The most popular football games played throughout the world are soccer and rugby. But how did they get their names? Well, about 150 years ago, while playing a type of football at one of Britain's more exclusive and expensive "public" school (in England a "public school" is really a

private one, but then the English are mad), against all the rules, one of the boys picked up the ball in his hands and started running with it. The name of the school, like the city where it was situated, was Rugby, so the type of football that he invented by this act became known as Rugby Football, or Rugby, or (in popular slang) ruggier. The most popular type of football in the world is officially called in English Association Football. The word association comes from the same root (-soc-) as the Latin *socius* (friend) or *societas* (society). Just to give Association Football a slang name, like its ruggier counterpart, the basic root soc- was taken from

association and, by adding the same ending as the other type of football, soccer was arrived at. Because the apparently violent sport of rugby was initially played mainly by the upper classes, while the more "gentle" Association Football was the sport preferred by the working men, rugby was known as the "barbarians' game for gentlemen" while soccer was called the "gentlemen's game for barbarians". On this definition most of us are barbarians - and proud of it! For comments on the shape of rugby and soccer balls and their relation to crystalline carbon see tomorrow's article "Football and Chemistry II".
D.Boothman

Tomorrow -

A full coverage of the mini-football and other tournaments, and the article
Football and Chemistry II

Fig. 4a. In occasione della XXV Chemistry Olympiad, una internazionale manifestazione organizzata annualmente coinvolgendo studenti di tutti i continenti e che si svolge a Perugia nel 1992, fu preparato un giornale quotidiano con cronache, giochi, curiosità: riprodotte nelle due figure due pagine. In questa si parla dell'elemento "Calcio" dell'origine del nome e dell'uso della parola in italiano per indicare lo sport più diffuso.



The Catalyzer



DAILY CHRONICLE OF THE XXV CHEMISTRY OLYMPIAD

Friday, July 16, 1993 - n.5

The Catalyzer

Friday, July 16, 1993 pag.3

Here the second article on an unexpected relationship between science and sports

Football and chemistry - II

Fullerenes in Renaissance Perugia?

Undoubtedly, the discovery of a third allotropic form of carbon in 1985 is having a great impact not only on chemistry, but also on physics and astronomy. The molecule corresponding to the formula C_{60} was first identified by laser vaporizing graphite in a pulsed jet of helium, but now can be prepared in macroscopic quantities by careful condensation of carbon vapors, and has been observed in such disparate conditions as in candle flames, soot, and interstellar clouds. Unlike diamond and graphite, which are crystalline solids with an infinite structure, the third form is made of discrete molecules which have the characteristic shape of a football (see fig. 1): in fact, the typical arrangement of the sixty carbon atoms has led some chemists to use *footballene* as a nickname for this fantastic molecule. This molecule is actually to be considered as the most outstanding member of a family, the *fullerenes*, where carbon atoms show up in complicated geometries of hexagons and pentagons, but none of its relatives has the stability and high symmetry of C_{60} - for example, one of its brothers, C_{70} , has the oval shape of a rugby or American football. What is the reason for the name *fullerenes*? In the first decades of this century the American architect Buckminster Fuller built several domes or cupolas, but to distinguish himself from Giotto in Florence or Michelangelo in Rome whose cupolas you will visit soon, he had to emphasize the structural properties of from modern technological materials: so his domes are large *geodesic cages*

where the spherical structure is mainly made of hexagons, but occasionally he had to add pentagons to have stability. Hence the name buckminsterfullerene for C_{60} or fullerene for short. What we want to remark presently is

that there appears to be an interesting connection between the C_{60} structure, a truncated icosahedron, and the University of Perugia. In the 15th Century, there was here a Professor in Mathematics and Science whose name was Luca

Pacioli: he was born in a town about 50 Km north of Perugia not far from Vinci, the home town of his more famous contemporary Leonardo. Both shared a wide range of cultural interests in science, technology and arts, typical of the great

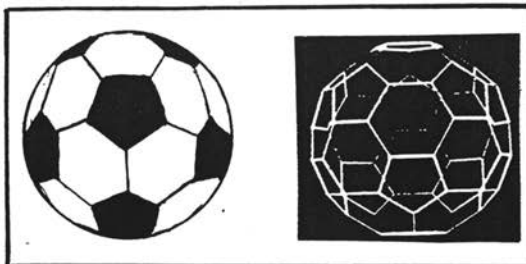


Fig.1

protagonists of the Italian Renaissance. Pacioli was also a professor in Bologna, Pisa, Venice... Relevant to our discussion here is an important book he published around the year 1500. The title is *De Divina Proportione* (On Divine Proportion), and the book is a study of the geometry of solids

with beautiful and accurate illustrations: fig. 2 is a drawing of his showing his view of the truncated icosahedron, both *solidus* (solid) and *vacuus* (empty). The latter is such a striking portrait of C_{60} that the thought may come to one's mind that instead of footballene, or fullerene, a possible

name for this striking molecule could have been *paciolene!* A statue representing Luca Pacioli can be seen in the entrance hall of the building where the theoretical tests of the Olympiad have taken place.

V.Aquilanti

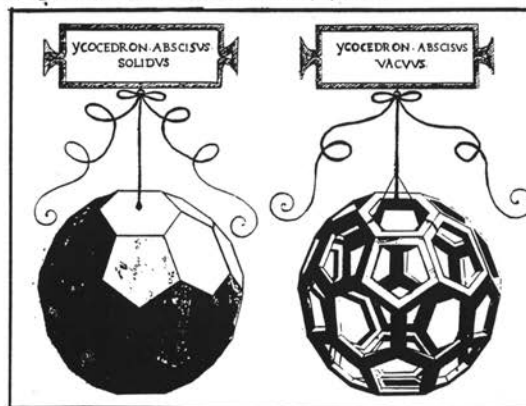


Fig.2

Fig. 4b. In questa pagina si raffronta in alto la simmetria del pallone da calcio con il C_{60} , una molecola la cui scoperta è posta a fondamento delle moderne nanotecnologie (fullerene e nanotubi), in basso disegni di Leonardo illustrano la geometria coinvolta.

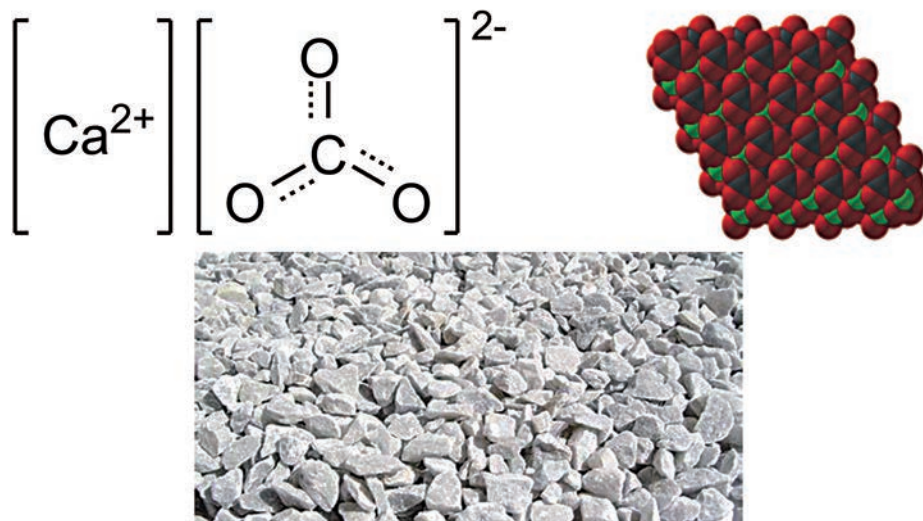


Fig. 5. Nel carbonato di calcio le molecole che costituiscono il comune minerale, al catione Ca^{2+} si lega lo ione negativo, il carbonato, che ha struttura planare, con il carbonio al centro di un triangolo equilatero.

formulazione di illuminanti classificazioni. Simmetria e periodicità sono intimamente legate. Il carbonio trivalente riesce a sistemarsi nelle strutture planari triangolari tipiche dei minerali. Va inoltre discusso come fa il carbonio che è un elemento così flessibile a proporsi in strutture estremamente più complicate. Continuando la descrizione del viaggio, a un certo punto Levi racconta di che cosa succede al suo atomo per quanto concerne la formazione di strutture organiche, e nel suo approccio narrativo e immaginifico descrive il processo attraverso il quale riesce a entrare in strutture complesse; poetico è l'esempio, quello cui ora accenniamo, della formazione di una foglia.

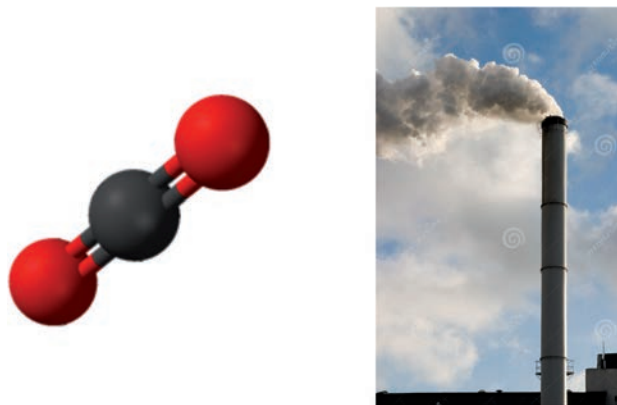


Fig. 6. Nell'anidride carbonica, prodotto principale del destino del carbonio nell'ambiente ossidante della nostra atmosfera (e quindi dei processi sia vitali (la respirazione), sia dell'attività industriale), il carbonio si lega con i due atomi ossigeno ponendosi al centro di una struttura lineare.

Ecco dunque che Levi trascrive la famosa reazione $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$; questa reazione è stata descritta da Lavoisier attorno al 1780 ed è considerata a fondamento della scienza chimica. In particolare si dirà poi della fotosintesi, la cui scoperta rappresenta una pietra miliare e che essenzialmente corrisponde alla reazione inversa che produce zucchero: la respirazione ne rappresenta il prototipo delle reazioni che coinvolgono consumo dell'ossigeno da parte delle strutture che contengono carbonio. Variando in parte i protagonisti, questo è l'archetipo del funzionamento della vita a livello molecolare. L'inserimento del carbonio sotto forma organica è sottolineato come un vero e proprio miracolo da Levi, in particolare come la fotosintesi utilizzi l'energia del sole, essendo il sole il motore che fornisce il meccanismo del funzionamento della vita. Qui il dibattito trascende lo scopo didattico e divulgativo e assume implicazioni vertiginose politiche, filosofiche, scientifiche ed economiche.

Nel narrare il lungo viaggio del carbonio, Levi immagina che infatti si tratti sempre dello stesso atomo, che dai tempi della formazione dell'universo si è trasformato, non perdendo la sua identità. Gli atomi sono i costituenti della materia che si evolve. Possiamo pensare che siano questi dei mattoncini che continuano nel tempo ad essere sempre se stessi. Con un esemplare argomento rigoroso basato su quello che sappiamo della cronologia dell'universo, Levi sostiene che questa ipotesi non è finzione narrativa. Abbiamo visto che il carbonio volentieri si lega a triangolo, e quando lo fa per esempio forma volentieri le strutture aromatiche, prototipo il benzene. Il

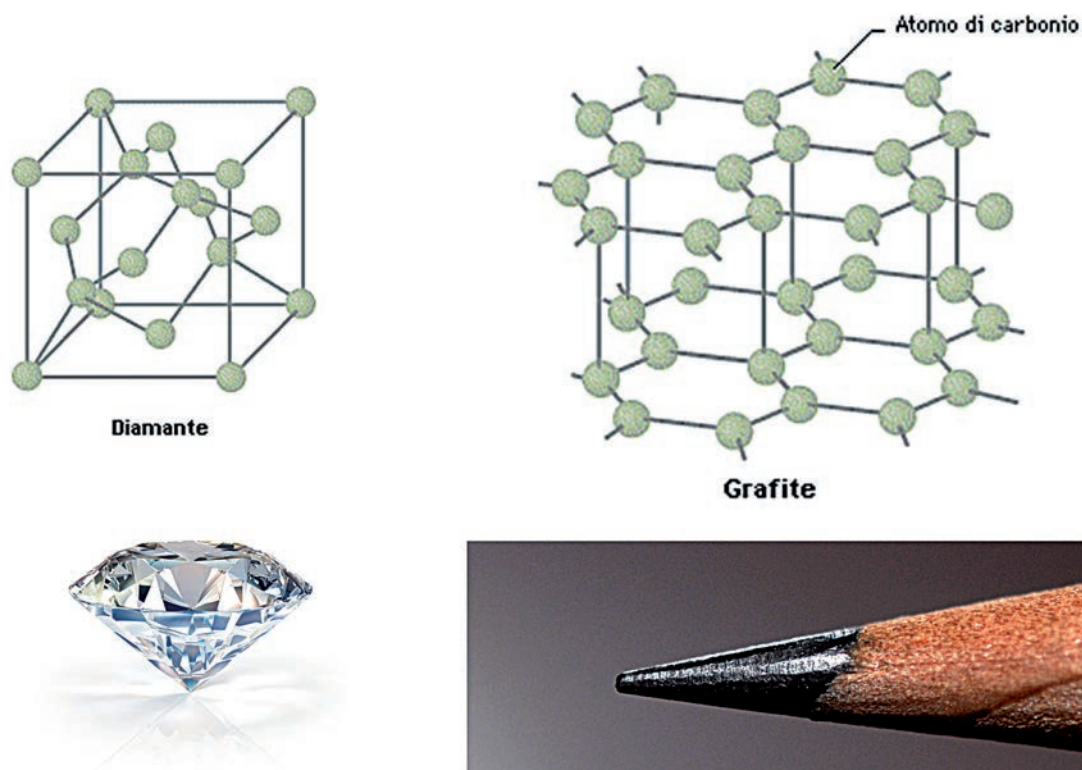


Fig. 7. La proprietà del carbonio di legarsi con sé stesso lo rende protagonista principale della chimica nelle forme geometricamente più perfette, dal diamante (a sinistra) alla grafite (a destra) e in generale nelle straordinarie architetture delle grandi molecole della vita e delle attività industriali.

benzene è un esagono, le strutture esagonali sono molto favorite: si pensi di distribuire atomi di carbonio su piani per analogia con il piastrellato a esagoni quando si costruisce un pavimento. Questo fondamentale motivo geometrico fa sì che il carbonio accetti volentieri di formare strutture simmetriche e periodiche, in particolare la grafite (Fig. 7).

Gli atomi possono però disporsi anche in strutture che sono spaziali (tridimensionali) e ciò naturalmente quello che fa il carbonio, esemplarmente nella maggior parte dei casi. Se dalla dimensione due si passa alla dimensione spaziale tre, e quindi se dal piano andiamo nello spazio, emergono le geometrie fondamentali delle strutture tridimensionali (Fig. 7). Qui subito ci accorgiamo che l'esempio di gran lunga più intuitivo è quello della struttura cubica. Il cubo in realtà non è un solido tanto semplice, perché ha 6 facce, 8 vertici e 12 spigoli. È superato in semplicità dal più semplice dei solidi regolari, il tetraedro, che è forse meno intuitivo del cubo ma proprio partendo da una struttura cubica può essere facilmente visualizzato, scegliendo alternativamente solo quattro vertici e generando quattro facce e sei spigoli.

Dalla notte dei tempi è noto che se si mette al centro di otto atomi a struttura cubica un atomo di carbonio si ottiene appunto la struttura che si chiama tetraedro: la struttura più semplice dei solidi platonici, quella che è la struttura fondamentale dei composti del carbonio e che manifesta la sua fondamentale tendenza alla tetravalenza. La tetravalenza va sempre immaginata ponendo il carbonio al centro di un tetraedro: la più bella struttura puramente tetraedrica è naturalmente il diamante, mentre nel piano si ha la grafite, strutturalmente una pila di piani piastrellati da esagoni (Fig. 7).

3. Simmetria e asimmetria

In questa sezione conclusiva invitiamo a seguire la sequenza delle illustrazioni per ampliare il discorso a quello che si è appreso a partire dai tempi di Levi, quando si insegnava che il carbonio puro era o diamante o grafite impuro (il carbone e la grafite disordinata). Con sorpresa nel 1985 si scoprì il fullerene (Fig. 8) che propiziò il premio Nobel nel 1996 a scienziati inglesi e americani (Kroto, Curl, Smalley). Uno scienziato russo e uno israel-

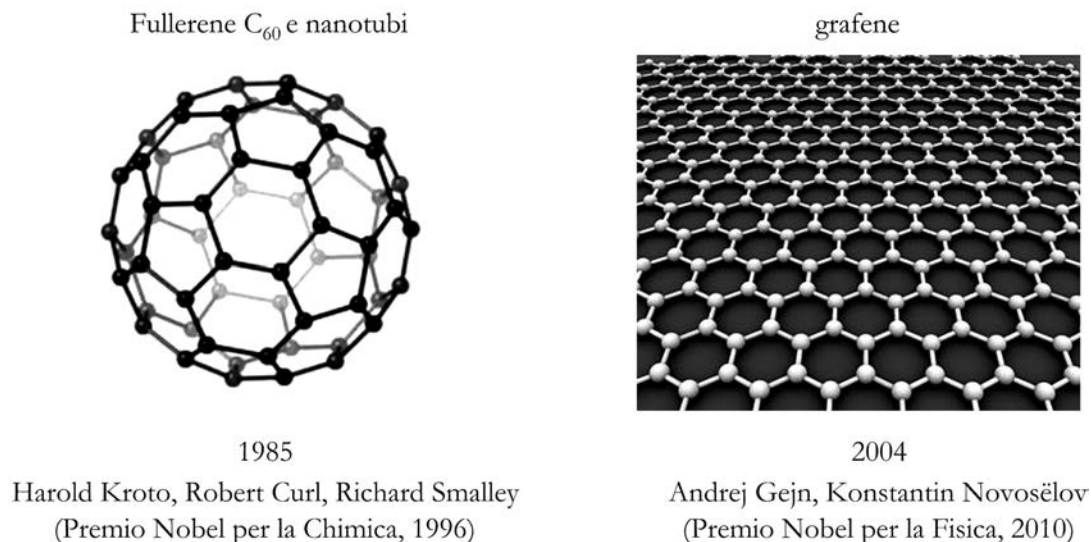


Fig. 8. Sorprendente negli anno '80 fu la scoperta del C_{60} , una molecola sferica con sessanta atomi di carbonio disposti in una configurazione geometricamente perfetta di esagoni e pentagoni nota ai “geometri” rinascimentali. Adesso è anche possibile la preparazione di “fogli” (strati esagonali di di grafite, il grafene, di interessanti proprietà elettriche e meccaniche. Queste forme estendono il ruolo del carbonio come protagonista delle “nanotecnologie”.

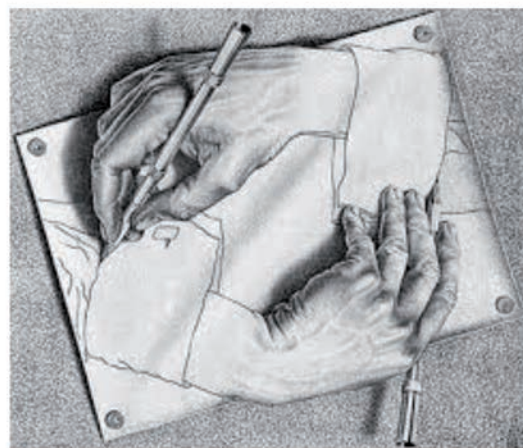
liano presero invece il Nobel per la fisica nel 2010 per il grafene. La scoperta del grafene è la conseguenza del fatto che la grafite è fatta di vari piani sovrapposti che solo recentemente si è riusciti a sfaldare, anche se, come per esempio nella matita, la scrittura è dovuta allo sfaldamento di blocchi di questi piani: sono loro che lasciano una traccia nera sulla carta o sui muri.

Nella prima copertina del Sistema Periodico: (andiamo a considerare di nuovo la Fig. 2) la grafica è tratta da un'opera di M.C. Escher, un grande grafico/pittore del secolo scorso (1898-1872) che genialmente ebbe la capacità di coniugare la geometria e l'arte. Celebri le sue rappresentazioni delle geometrie spaziali e gli apparenti paradossi, a partire da quelli in Fig. 9. Ancora la copertina de “Il sistema periodico” – il disegno a sinistra è quello di un impianto industriale impossibile. E Levi prima di dedicarsi esclusivamente alla scrittura fu chimico industriale e come tale era interessato alla produzione di energia: in questa macchina immaginaria (copertina del sistema periodico) a sinistra si vede l'acqua che entra, scende e per una questione di proiezione artificiale sul piano bidimensionale sembra che realizzi il moto perpetuo, creando l'illusione ottica che l'acqua che cade alla fine poi ricomincia di nuovo il ciclo. In realtà questa è una illusione ottica, però non banale, essendo basata su una profonda conoscenza della geometria dello spazio (le scale di Penrose, Premio Nobel 2020, si veda Aquilanti 2021).

Le figure 9 e 10 riportano ulteriori esempi di Escher: quello a destra in Fig. 9 mostra due mani che si disegnano. In realtà solo apparentemente si tratta della stessa mano, ma quella in alto è una mano destra, l'altra è una sinistra. Questa “manualità”, che meglio dal greco moderno si può trascrivere “chioromorfia”, ci permette di introdurre l'argomento finale di cui parleremo, cioè quello della chiralità. Il termine chiralità viene dal greco “chir” che vuol dire mano: sinistra e destra sono differenti, se prendete un guanto destro non si riesce ad infilarlo nella mano sinistra. Eccezione sono i guanti ambidestri dei chimici e dei chirurghi, e quelli, oggi di uso comune, della difesa antivirale.

La chiralità concerne dunque asimmetria rispetto alla riflessione tipica di uno specchio, o anche la non sovrapposibilità delle mani destra e sinistra (Fig. 11). La scienza della chiralità è stato argomento di studio di Levi, sia nella sua tesi, sia nella sua ultima opera scientifica che andremo a considerare, giovandoci di pregevoli illustrazioni Escher delle spirali evocative del DNA e RNA, composte grazie alla prodigiosa flessibilità strutturale delle catene di atomi di carbonio (Fig. 12).

E famose sono anche le stelle di Escher, da cui prendiamo spunto per parlare della attualissima evoluzione della nostra percezione della chimica dell'universo (Fig. 13), cioè da quando nell'ultimo mezzo secolo si cominciarono a scoprire molecole che effettivamente popolano persino gli spazi interstellari. Queste scoperte provo-



Chiralità, dal greco χείρ: mano

Levi e Escher

Fig. 9. Il fenomeno della chiralità molecolare, spesso illustrate da Escher, cruciale nella chimica della vita, interessò Levi dalla sua tesi fino al suo celebre saggio che precedette di poco la sua scomparsa. Il nome del fenomeno descrive l'asimmetria speculare, la differenza per esempio tra la mano destra e la sinistra. Il termine Chiralità è dovuto a Lord Kelvin.



M.C. Escher (1898-1972)

Fig. 10. Escher su topologia di nastri di Moebius che li introdusse in matematica a metà dell'ottocento, mentre indipendentemente Pasteur in chimica e biochimica fondava la scienza della chiralità. A destra immagini di Escher che evocano le spirali destrorse e sinistrorse della biochimica.

la vita si basa su molecole chirali...

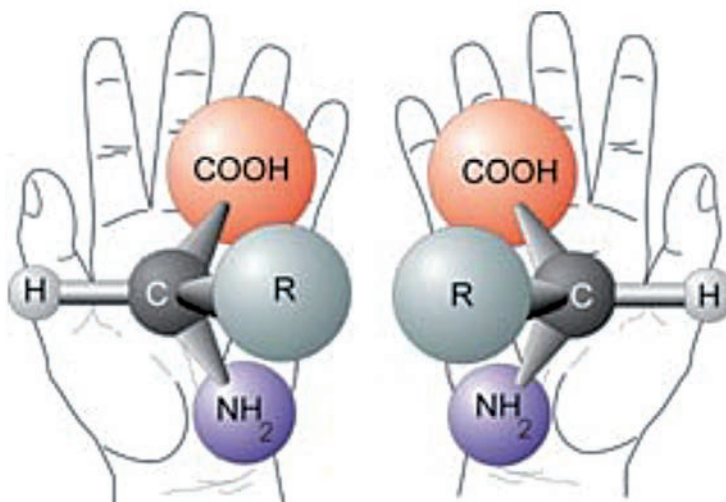
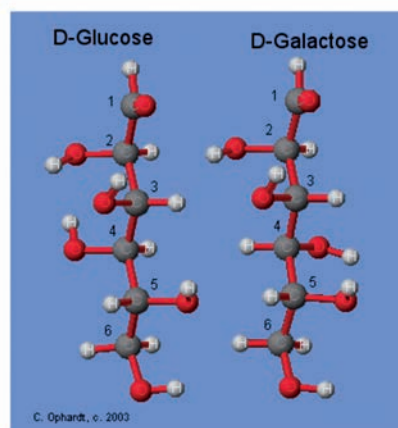
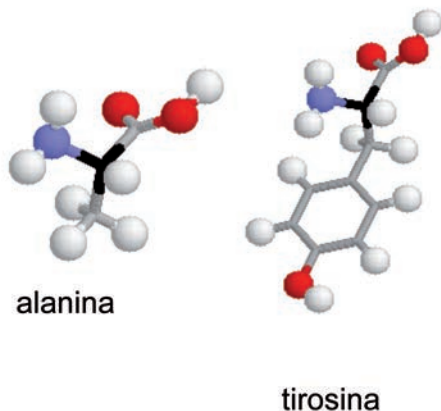


Fig. 11. L'asimmetria speculare o chiralità dei composti del carbonio è illustrata da un aminoacido nelle due forme destra e sinistra. Tipica della chimica biologica è la rigorosa specificità chiralità funzionale, per cui le due immagini corrispondono a funzioni alternative.

L'origine della specificità chirale delle molecole biologiche

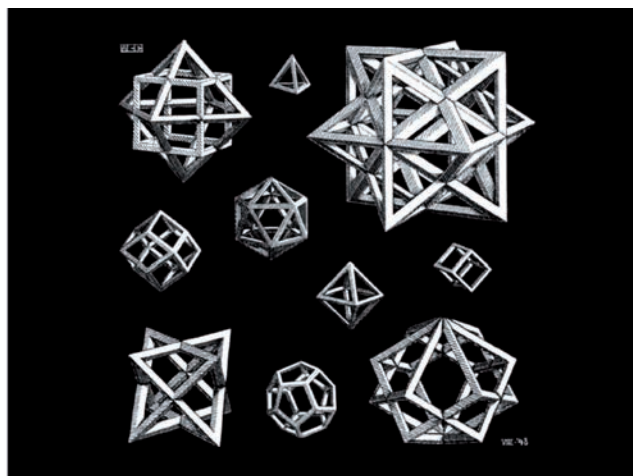
Negli organismi viventi sono presenti solo amminoacidi levogiri e zuccheri destrogiri



recentemente è stato scoperto che nelle meteoriti di Murchison e Murray gli amminoacidi levogiri predominano la preferenza per gli amminoacidi levogiri non sembra quindi una esclusiva della terra

origine extraterrestre della vita?

Fig. 12. Ancora aminoacidi (a destra) e zuccheri (a sinistra), la cui rigorosa specificità chirale nelle molecole biologiche è al centro delle, intense indagini sulla evoluzione biochimica della vita.



M.C. Escher – Stars (1948)

Fig. 13. Ancora esempi dove Escher genialmente illustra geometrie ispirate a disegni leonardeschi (ca. 1500), modernamente manifeste a livello molecolare e artisticamente proiettate negli ambiti della recente ricerca in astrochimica e prototobiologia.

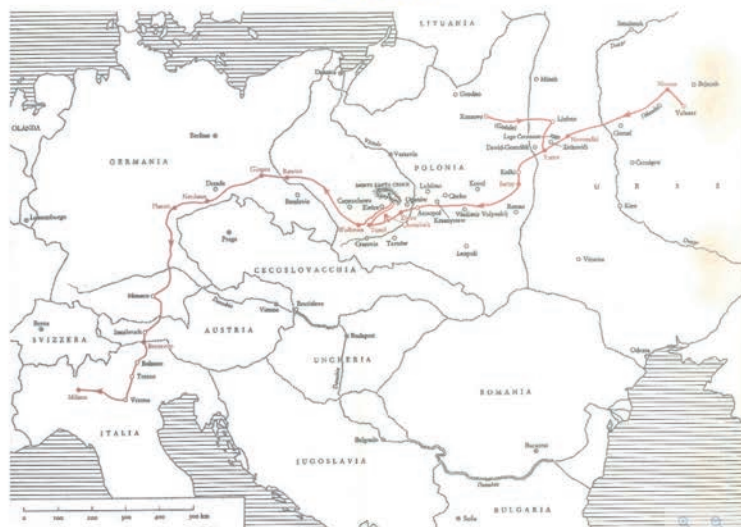
1941



Fig. 2. Le Università e gli Istituti coinvolti nelle ricerche sull'inversione di Walden.

Mappa adattata dalla tesi di Laurea di Primo Levi che indica i laboratori dove si è studiata la reazione di inversione di Walden, da lui discussa nel 1941.

1943-45



da *Se non ora, quando?* 1982

Fig. 14. Il leit-motiv del viaggio in Levi è visualizzato in due mappe d'Europa singolarmente antitetiche: la prima illustra i laboratori europei dove nell'immediato anteguerra si affrontavano ricerche sulla reazione di inversione chirale oggetto della sua tesi di laurea, la seconda il viaggio di ritorno dalla guerra descritto in "Se non ora, quando".

BOLLETTINO
UNIONE MATEMATICA ITALIANA
 Sezione A – La Matematica nella Società e nella Cultura

PRIMO LEVI

L'asimmetria e la vita

Bollettino dell'Unione Matematica Italiana, Serie 8, Vol. 1-A – La Matematica nella Società e nella Cultura (1998), n.2, p. 131-141.

Unione Matematica Italiana

<http://www.bdim.eu/item?id=BUMI_1998_8_1A_2_131_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

Articolo digitalizzato nel quadro del programma
 bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica)
 SIMAI & UMI
<http://www.bdim.eu/>

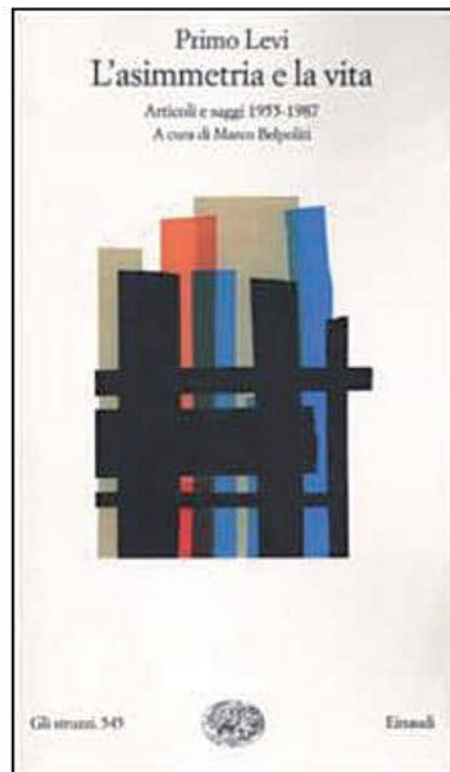


Fig. 15. Il tema della selettiva chiralità biologica e il problema delle sue origini in riferimento al ruolo chiave delle molecole del vivente è sviluppato da Levi in un importantissimo saggio del 1984 ripubblicato come vero e proprio articolo scientifico nel 1999 e ripubblicato in una opera postuma di alta divulgazione scientifica, composta da una raccolta di suoi racconti. (Si veda Aquilanti 2021).



Per noi, parlare con i giovani è sempre più difficile. Lo percepiamo un dovere, ed insieme come un rischio: il rischio di apparire anacronistici, di non essere ascoltati. Dobbiamo essere ascoltati: al di sopra delle nostre esperienze individuali, siamo stati collettivamente testimoni di un evento fondamentale ed inaspettato, fondamentale appunto perché inaspettato, non previsto da nessuno. È avvenuto contro ogni previsione; è avvenuto in Europa; incredibilmente, è avvenuto che un intero popolo civile, appena uscito dalla fervida fioritura culturale di Weimar, seguisse un istrione la cui figura oggi muove al riso; eppure Adolf Hitler è stato obbedito ed osannato fino alla catastrofe. È avvenuto, quindi può accadere di nuovo: questo è il nocciolo di quanto abbiamo da dire. Può accadere, e dappertutto.

1986

L' 11 aprile 1987 Levi muore tragicamente a Torino a 68 anni

Fig. 16. Nella sua ultima opera una inquietante tematica, più o meno esplicita sviluppando vari aspetti delle sue testimonianze sulla Shoah, Levi mette in guardia sulla pericolosità di un andamento “periodico” della storia umana, che comporti la possibilità del ripetersi di tragici errori.

carono molta sorpresa, perché proprio dove si pensava che ci fosse praticamente il vuoto assoluto (per esempio, tra una stella e l'altra) in realtà c'è una ricchezza chimica enorme, una ricchezza chimica che si rileva attraverso i satelliti, attraverso le osservazioni sperimentali astronomiche, astrofisiche ecc.: una abbondanza di dati che devono essere interpretati per conoscere la storia dell'universo. La storia chimica dell'universo si sovrappone con la questione fondamentale dell'origine della vita. Non è una coincidenza che a metà del XIX secolo fu Pasteur a scoprire la chiralità molecolare e successivamente l'astrofisico Kelvin a dargli il nome.

La tesi di laurea di Primo Levi comprende una sorprendente anticipazione: una mappa, molto accurata (Fig. 14) nella quale Levi ha ricostruito le locazioni di 38 laboratori che, a sua conoscenza, quasi tutti in Europa, studiavano il problema da lui affrontato nella tesi. Sconvolgente è confrontare questa mappa con quella che poi Levi ha elaborato e pubblicato quando ha descritto il ritorno a casa dei profughi di Auschwitz ne "La Tregua" e in "Se non ora quando". Questa corrispondenza diacronica è illuminante.

Nel saggio "L'asimmetria e la vita" nell'84 Levi ritorna (Fig. 15) al problema della non sovrapposibilità speculare delle molecole della vita e quindi del ruolo della chiralità. Questo saggio viene oggi considerato una perla tardiva del nostro autore, specificatamente mirabile esempio di alta divulgazione scientifica. (Aquilanti 2021). Negli amminoacidi (sequenze di tetraedri ciascuno con un atomo di carbonio al centro) variando un vertice in circa venti modi (i gruppi chimici) si ottiene il cosiddetto alfabeto della vita. Amminoacidi di chiralità specifica tipica della biosfera terrestre, cioè levogiri, pare siano stati trovati in una meteorite: implicazioni per segnali di vita extraterrestre sono ancora troppo labili e il nostro discorso prosegue altrove (Aquilanti 2021), non potendo addentrarci qui nei dettagli metodologici della ricerca corrente. Il nostro compito è interpretare dati che vengono dalle osservazioni che abbondano ma non sono mai sufficienti.

A proposito del tema della chiralità – e dell'asimmetria speculare delle molecole della vita – scriveva Tullio Regge nel 1998, a dieci anni dalla scomparsa di Levi: *Il breve saggio "L'asimmetria e la vita" è [...] dedicato, unica tra le opere di Levi, interamente alla scienza. [...] si tratta di matrimonio felicissimo tra il saper scrivere e la competenza scientifica che ha lasciato in noi il desiderio struggente di vedere un seguito che purtroppo non ci sarà*

mai. Sulle orme di Levi, si possono rintracciare gli sviluppi significativi e le prospettive di progresso delle conoscenze attuali su questa intrigante tematica, oggetto di numerosissime investigazioni, individuandone alcune che meritino attenzione, sia tra esperimenti in laboratori di spettroscopia e dinamica, sia tra osservazioni astronomiche e astrofisiche: si veda Aquilanti (2021), in particolare riguardo al possibile ruolo dell'emergenza dell'enantioselettività da collisioni di molecole spazialmente orientate, suggerito da studi della dinamica e della cinetica dei processi chimici elementari. Benchè le varie proposte avanzate sull'origine dell'omochiralità naturale richiedano ulteriore scrutinio e nessuna goda di generale consenso, notevole è l'impulso di queste ricerche di ambito astrochimico e astrobiologico al progresso sperimentale e teorico della chimica fisica, delle scienze molecolari e della biofisica.

Una considerazione conclusiva è d'obbligo: Levi pensava con preoccupazione che la periodicità che permea "Il Sistema Periodico", e il concetto di simmetria, sono concetti che escluderebbero che un qualcosa così grave come la tragedia della seconda guerra mondiale fosse un caso unico, e pertanto conclude la sua ultima opera postuma "I Sommersi e i Salvati" amaramente scrivendo "... è avvenuto quindi può accadere di nuovo...". Il monito, quindi, è quello di assolutamente non abbassare la guardia. (Fig. 16), una esortazione enunciata da Levi e ampiamente ripresa a tutti i livelli nei dibattiti, purtroppo sempre più attuali, sulla fragilità del mondo in cui viviamo.

BIBLIOGRAFIA

- Aquilanti V., 2021 Dalla tesi del 1941 a "L'asimmetria e la vita" del 1984 e l'intervento di Tullio Regge del 1998, in *Primo Levi, chimico e scrittore*, a cura di V. Aquilanti, A. Dolfi, M. L. Meneghetti, Atti Convegni Lincei (2021).
- Barbarulo M. V., 2017. Un lavoro ben fatto – La tesi di laurea di Primo Levi nel trentennale della scomparsa, *Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, vol. XLI, parte 2, pp. 265-274.
- Di Meo A., 2012. *Primo Levi e la Scienza come Metafora*, Rubettino editore.
- Marino G., 1990. Primo Levi, chimico e scrittore, *Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, serie V, vol. XIV, parte 2, pp. 555-568.
- Trifirò F., Barbarulo M. V., 2019. Primo Levi chimico industriale, *Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL Memorie di Scienze Fisiche e Naturali*, vol. XLIII, parte 2, tomo I, pp. 63-74.

