



Società Chimica Italiana

La Chimica nella Scuola



- 5 Editoriale
Quelli che ci hanno lasciato non sono assenti
Luigi Campanella
- 7 Dalla copertina
Carl Djerassi
Liberato Cardellini
- 13 Nota sul bilanciamento delle reazioni redox in soluzione
acquosa
Giuliano Moretti, Ida Pettiti
- 23 Una particolare elettrolisi dell'acqua per diversi traguardi di
competenza
Roberto Soldà
- 31 Da rifiuto a materiali innovativi. Il caso della lignina
Lucia Brinchi
- 39 Intervista con Carl Djerassi
Liberato Cardellini
- 63 Messa a punto di metodiche per la preparazione e conserva-
zione in liquido di materiale zoologico
Pierangelo Crucitti
- 75 Carbonio. Scoperta, storia e altro
Pasquale Fetto
- 97 Federchimica per la scuola
Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (*Sdgs*)
Luigi Campanella

EDITORIALE

Quelli che ci hanno lasciato non sono assenti

Ci hanno lasciato *Bobbio, Eco, Montanelli, Veronesi, Levi Montalcini* e se ci guardiamo intorno non possiamo che rimpiangerli e capire che sostituirli sarà difficilissimo alla ricerca della genialità dei grandi pensatori e della tempra morale che sole ti elevano sopra la *mediocritas* del nostro tempo.

In questa superiorità sta la caratteristica prima del maestro. Fin dai tempi della Roma Antica il maestro-magister era uomo che valeva più degli altri, una sorta di vertice piramidale della società culturale.

Oggi ne sentiamo la mancanza che ci priva di guide, più che giuridiche, morali.

La crisi dell'etica pubblica ne è la prima responsabile, troviamo direttori e dirigenti, ma non maestri. E questo si riflette sui livelli di istruzione ai livelli massimi della politica. Nel gabinetto Conte dell'ultimo governo si è registrata la più bassa percentuale di laureati, solo il 23% (nel 1949 il valore corrispondente era 74%): eppure negli ultimi decenni il numero di italiani con laurea è cresciuto. Un altro effetto si riscontra nel fatto che in tutti i luoghi in cui si esprime la nostra classe dirigente di rado prevalgono i migliori. La conclusione di tutto ciò è che il diritto sancito dalla Costituzione garante dell'accesso ai gradi più alti ai più meritevoli non venga rispettato.

Ha scritto San Tommaso nel suo *De Magistro* che la sapienza e la virtù sono potenzialmente sempre presenti nell'essere umano: sono i maestri che le rendono da potenziali ad attuali. Dovremmo riflettere su questa situazione e farci un esame di coscienza se non si possa cambiarla incidendo sul sistema dell'educazione e dell'istruzione: le intelligenze in Italia non mancano di certo, ma il sistema di allevamento e sviluppo di esse probabilmente merita una riconsiderazione.

Luigi Campanella

DALLA COPERTINA

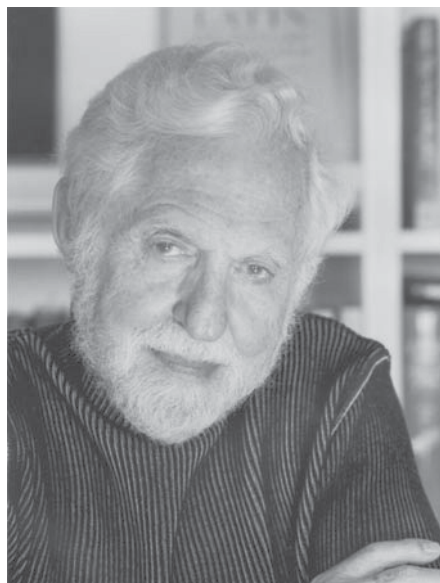
a cura di Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Carl Djerassi

Vienna 1923

di

Liberato Cardellini



Carl Djerassi

Sintesi di una vita

Liberato Cardellini

Dipartimento SIMAU, Facoltà di Ingegneria,
Università Politecnica della Marche, Ancona.
l.cardellini@univpm.it

Carl Djerassi nacque a Vienna, in Austria, nel 1923, da Padre bulgaro e madre viennese, entrambi medici. Visse in Bulgaria con i suoi genitori fino all'età di cinque anni, quando i suoi genitori divorziarono. Lui e sua madre si trasferirono poi a Vienna, e fino all'età di 14 anni Djerassi ha frequentato il *Realgymnasium* (la stessa scuola frequentata da Sigmund Freud molti anni prima), e trascorse le estati in Bulgaria con suo padre. Dopo l'*Anschluss*, suo padre risposò brevemente sua madre per permettere a Carl e sua madre di fuggire in Bulgaria per sfuggire al regime nazista. Nel 1938 entrò in una scuola superiore privata a Sofia, in Bulgaria, The American College of Sofia, dove la maggior parte delle materie venivano insegnate in inglese.

Nel dicembre 1939, Djerassi arrivò quasi senza un soldo con sua madre a New York e nel giro di un mese entrò nel Newark Junior College di Newark, nel New Jersey, con un piano di studi per medicina. All'inizio del 1940, scrisse ad Eleanor Roosevelt per chiederle un aiuto per assicurarsi una borsa di studio per il costo delle lezioni, la stanza e il vitto per poter continuare la sua educazione universitaria. Fortunatamente, gli fu assegnata una borsa di studio per il successivo semestre al Tarkio College, a Tarkio, nel Missouri, lo stesso college frequentato da Wallace Carothers, l'inventore del nylon. Ha condensato la sua carriera universitaria in cinque semestri: due a Newark, un semestre al Tarkio College, e due semestri più un'estate al Kenyon College, nell'Ohio. Ha scritto: "Ciò che mi ha convertito in un chimico furono un superbo insegnante di chimica al Newark Junior College, Nathan Washton ... gli altrettanto superbi insegnanti del Dipartimento di Chimica del Kenyon College, consistente nelle persone di Walter H. Coolidge e Bayes M. Norton, con classi che vanno da due a quattro studenti; e la mia mancanza di risorse finanziarie per medicina" (rif. 1, p. 9).

Djerassi si è laureato nel 1942 (A.B., summa cum laude), non ancora diciannovenne, poi ha iniziato a lavorare come chimico junior nella Compagnia Farmaceutica CIBA a Summit, nel New Jersey, dove ha condiviso la scoperta di uno dei primi antistaminici, la piribenzamina (tripelenamina) [2]. Il successo di questo farmaco, usato da milioni di persone sofferenti di allergie e la lettura del libro di Fieser, *Natural products related to phenanthrene* [3], ha portato Djerassi ad interessarsi agli steroidi. Dopo un anno alla CIBA, sposò la sua prima moglie, Virginia, e iniziò a lavorare come laureato presso l'Università del Wisconsin, Madison per il suo dottorato sull'aromatizzazione parziale degli steroidi androgeni a estrogeni, avendo come referente A. L. Wilds. Nel 1945 Djerassi ha conseguito il Dottorato in Chimica Organica ed è diventato cittadino americano. Poi è tornato alla CIBA per altri 4 anni. Verso la fine del 1949 ha accettato una posizione presso la Syntex SA a Città del Messico, in Messico, dove ha lavorato su una possibile sintesi del cortisone con molti collaboratori e in un laboratorio molto ben attrezzato.

A quel tempo, la gascromatografia e la cromatografia liquida ad alte prestazioni erano ancora sconosciute; i prodotti delle reazioni organiche venivano separati mediante cromatografia su colonna e gli unici metodi fisici usati dai chimici organici erano l'UV e l'IR. Nei due anni che Djerassi ha trascorso alla Syntex, è stato coautore di 60 articoli, e ha sviluppato una conveniente sintesi in tre o quattro passaggi per molti estrogeni [4]. Nel 1951, con il gruppo della Syntex, ha vinto la gara per la sintesi di cortisone [5] da una pianta come materia prima (diosgenina). Più tardi quell'anno, il 15 ottobre, il team ha completato la sintesi del primo contraccettivo orale sintetico, "la Pillola" [6]. Questi risultati hanno fatto scaturire un'offerta per

un lavoro accademico, e nel gennaio del 1952, Djerassi si unì alla facoltà della Wayne State University di Detroit, trasferendosi lì con la sua seconda moglie, Norma. Durante i cinque anni trascorsi lì – gli ultimi tre come professore ordinario – con i suoi studenti ha iniziato un filone di ricerca sui prodotti naturali nell'area degli antibiotici [7], degli alcaloidi [8], e dei terpenoidi [9].

Attraverso l'uso di numerose misure di dispersione ottica rotatoria (optical rotatory dispersion, ORD), Djerassi ha gettato le basi per l'utilizzo di questa tecnica e, successivamente, il dicroismo circolare ottico (optical circular dichroism, OCD) nella determinazione delle configurazioni assolute [10]. Nel 1957, prese un periodo di aspettativa di due anni dalla Wayne State University per tornare a Città del Messico come Vicepresidente responsabile della Ricerca alla Syntex, e per sottoporsi ad una operazione importante: un'anchilosi chirurgica del ginocchio, a causa di un infortunio sugli sci avvenuto durante la sua adolescenza sul Monte Vitosha in Bulgaria. Nell'autunno del 1959, ha completato il suo primo libro, che riassumeva il lavoro di ORD [11], e ha accettato una cattedra nel Dipartimento di Chimica alla Stanford University, dove ha trascorso 42 anni, lavorando su cinque nuove aree di ricerca oltre ai filoni iniziati in precedenza.

Ancora una volta la sua produzione scientifica fu prodigiosa, e la sua millesima pubblicazione fu una recensione dei suoi precedenti lavori ORD e OCD [12]! In 25 anni, a partire dal 1961, è stato coautore di 270 articoli e quattro libri [13-15] sulle applicazioni della spettrometria di massa alla chimica organica. Nel 1967, Djerassi ha intrapreso un importante programma collaborativo sull'uso al computer di tecniche d'intelligenza artificiale per la delucidazione delle strutture in chimica organica, lavorando con Edward Feigenbaum e Joshua Lederberg nel Progetto DENDRAL (algoritmo dendritico). Questo coinvolgimento produsse una serie di pubblicazioni che culminarono nella sua conferenza IUPAC [16] del 1982.

Questi diversi studi potrebbero bastare per un ordinario ricercatore, ma non per Carl Djerassi. ORD e il dicroismo circolare richiedono che il substrato sia otticamente attivo. L'idea fu quella di superare questa limitazione generando magneticamente una rotazione indotta. Nonostante alcuni errori segnalati, il gruppo di Djerassi è stato in grado di registrare soddisfacenti spettri di dicroismo circolare magnetico (MCD) per tutti i composti del carbonile achirale [17]. Per un periodo di circa 20 anni, il gruppo ha pubblicato circa 70 articoli sul comportamento MCD di una varietà di cromofori [18].

È da menzionare anche un ultimo ambito di ricerca che Djerassi ha affrontato: la chimica dei prodotti naturali marini. Oltre alla determinazione di strutture di nuovi steroli marini, questo tema di ricerca si occupa della biosintesi di spugne e fosfolipidi. Lo sviluppo della bio-alchilazione della

catena laterale del colesterolo e il modo piuttosto singolare in cui Djerassi si è interessato a questo campo di ricerca è riportato in una sintesi (rif.1, pp. 114-138) di circa 140 pubblicazioni di ricerca.

Djerassi ha perseguito un'illustre carriera come chimico organico, pubblicando oltre 1200 articoli scientifici, otto libri e attirando nel suo laboratorio più di 300 colleghi pre e post-dottorato, provenienti da 52 Paesi. Va anche menzionato che il lattone Prelog-Djerassi, un prodotto della degradazione chimica di narbomicina e metimicina, potrebbe essere usato come modello per la sintesi di analoghi macrolidici [19].

Djerassi è il modello di maggior successo dello scienziato e dell'imprenditore che sa come trasformare le sue scoperte in imprese commercialmente utili e redditizie senza mettere a repentaglio la sua posizione accademica. Parallelamente all'insegnamento e alla ricerca presso l'Università di Stanford, ha anche condotto una carriera produttiva di ricerca nell'industria. Ha servito come presidente alla Syntex Research e ha aiutato a fondare diverse società spin-off, tra cui SYVA, una joint venture tra Syntex, Varian e Zoecon. Nel 1972, lasciò la presidenza di Syntex per diventare amministratore delegato di Zoecon, una società focalizzata sullo sviluppo di approcci bio-razionali per il controllo degli insetti con un impatto minimo sull'ambiente; si veda "How Do You Get a Cockroach To Take the Pill?" [20], per il quale ha vinto la National Medal of Technology nel 1991. Zoecon ha sviluppato il metoprene, un regolatore della crescita degli insetti che imita un ormone trovato solo negli insetti; l'esposizione al metoprene impedisce ai giovani insetti di svilupparsi in adulti capaci di riprodursi. Questo lavoro ha portato naturalmente alla creazione del Centro internazionale per la fisiologia e l'ecologia degli insetti (International Centre for Insect Physiology and Ecology, ICIPE), che è stato fondato a Nairobi, in Kenya, nel 1970 con il supporto di oltre una dozzina di accademie internazionali, attraverso questa la sua iniziativa con Thomas Odhiambo, primo direttore dell'ICIPE.

Lavorare nell'industria ha fatto di Carl Djerassi un uomo benestante. La sua ricerca sugli steroidi e le nuove tecniche fisiche per l'analisi organica hanno fatto di Carl Djerassi uno scienziato famoso senza eguali. Però, un incontro con il cancro ha riorientato la sua vita in una direzione del tutto inaspettata, come sarà chiaro dall'intervista che segue. All'età di 62 anni decise di perseguire una vita intellettuale molto diversa: diviene uno scrittore. È conosciuto come l'iniziatore del genere "science-in-fiction" e dei romanzi "not-so-fiction", in cui illustra il lato umano di veri scienziati e i conflitti che affrontano nella loro ricerca della conoscenza scientifica, del riconoscimento personale e delle ricompense, con l'obiettivo di parlare del problema piuttosto che delle personalità. È autore di cinque romanzi, due autobiografie, un piccolo opuscolo di poesie, una raccolta di racconti brevi, un libro di memorie e nove opere teatrali – la maggior parte sotto forma di

“science-in-theatre”. Il suo primo volume di poesie, *The clock runs backward* [21], è stato pubblicato nel 1991; il suo primo romanzo, *Cantor's dilemma* [22] è stato pubblicato nel 1989; *Bourbaki gambit* è seguito nel 1994 [23], e *Menachem's seed* è stato pubblicato nel 1996 [24]. Tra altre opere teatrali, è l'autore con Roald Hoffmann del dramma *Oxygen* [25], che ha debuttato negli Stati Uniti al San Diego Repertory Theatre nel 2001 e è stato tradotto in 16 lingue. Per maggiori informazioni, consiglio di fare una breve visita al sito web di Carl Djerassi [26].

Bibliografia

- [1] C. Djerassi, *Steroids make it possible*. American Chemical Society: Washington, DC, 1990.
- [2] C.P. Hutterer, C. Djerassi, W.L. Beears, R.L. Mayer, C.R. Scholz, *J. Am. Chem. Soc.*, 1946, **68**, 1999-2002.
- [3] L. F. Fieser, *Natural products related to phenanthrene*. Reinhold: New York, 1936.
- [4] C. Djerassi, G. Rosenkranz, J. Romo, S. Kaufmann, J. J. Pataki, *J. Am. Chem. Soc.*, 1950, **72**, 4534-4540.
- [5] G. Rosenkranz, J. Pataki, C. Djerassi, *J. Am. Chem. Soc.*, 1951, **73**, 4055-4056; C. Djerassi, H. J. Ringold, G. Rosenkranz, *J. Am. Chem. Soc.*, 1951, **73**, 5513-5514.
- [6] C. Djerassi, L. Miramontes, G. Rosenkranz, U.S. Patent 2744 122 (originally applied on Nov. 22, 1951); C. Djerassi, L. Miramontes, G. Rosenkranz, *Abstracts of Papers, Division of Medicinal Chemistry, Milwaukee*. American Chemical Society: Washington, DC, 1952; No. 25, p. 18 J; C. Djerassi, L. Miramontes, G. Rosenkranz, F. Sondheimer, *J. Am. Chem. Soc.*, 1954, **76**, 4092-4094.
- [7] C. Djerassi, J. A. Zderic, *J. Am. Chem. Soc.*, 1956, **78**, 2907-2908.
- [8] C. Djerassi, J. N. Frick, L. E. Geller, *J. Am. Chem. Soc.*, 1953, **75**, 3632-3637.
- [9] Per una review vedere C. Djerassi, In *Festschrift Arthur Stoll* (pp. 330-352). Birkhauser: Basel, 1957.
- [10] C. Djerassi, R. Riniker, B. Riniker, *J. Am. Chem. Soc.*, 1956, **78**, 6362-6377.
- [11] C. Djerassi, *Optical rotatory dispersion: Applications to Organic Chemistry*. McGraw-Hill: New York, 1960.
- [12] G. Barth, C. Djerassi, *Tetrahedron*, 1981, **37**, 4123-4142.
- [13] H. Budzikiewicz, C. Djerassi, D. H. Williams, *Interpretation of mass spectra of Organic compounds*. Holden-Day: San Francisco, CA, 1964.
- [14] H. Budzikiewicz, C. Djerassi, D. H. Williams, *Structure elucidation of natural products by mass spectrometry*. Holden-Day: San Francisco, CA, 1964; Vol. 1, Alkaloids; Vol. 2, Steroids Terpenoids, Sugars, and Miscellaneous Classes.

- [15] H. Budzikiewicz, C. Djerassi, D. H. Williams, *Mass Spectrometry of Organic Compounds*. Holden-Day: San Francisco, CA, 1967.
- [16] C. Djerassi, D. H. Smith, C. W. Crandell, N. A. B. Gray, J. G. Nourse, M. R. Lindley, *Pure Appl. Chem.*, 1982, **54**, 2425-2442.
- [17] G. Barth, W. Voelter, E. Bunnenberg, C. Djerassi, *J. Chem. Soc. D*, 1969, 355-356; DOI: 10.1039/C29690000355.
- [18] C. Djerassi, E. Bunnenberg, D. L. Elder, *Pure Appl. Chem.*, 1971, **25**, 57-90.
- [19] C. Djerassi, J. A. Zderic, *J. Am. Chem. Soc.*, 1956, **78**, 6390-6395.
- [20] C. Djerassi, *The Pill, Pygmy Chimps, and Degas' Horse*. Basic Books, New York, 1992; Chapter 11. See also C. Djerassi, C. Shih-Coleman, J. Diekman, *Science*, 1974, **186**, 596-607.
- [21] C. Djerassi, *The clock runs backward*. Story Line Press: Brownsville, OR, 1991.
- [22] C. Djerassi, *Cantor's dilemma*. Doubleday: New York, 1989. Penguin: New York, 1992.
- [23] C. Djerassi, *The Bourbaki gambit*. University of Georgia Press: Athens, GA, 1994. Penguin: USA, 1996.
- [24] C. Djerassi, *Menachems same*. Haffmans Verlag: Zurich, 1996; *Menachem's seed*. Penguin: New York, 1998.
- [25] C. Djerassi, R. Hoffmann, *Oxygen*. Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2001.
- [26] Carl Djerassi's Web site. <http://www.djerassi.com/> (accessed Jul 2011).

Nota sul bilanciamento delle reazioni redox in soluzione acquosa

Giuliano Moretti, Ida Pettiti

Dipartimento di Chimica, Sapienza Università di Roma,
piazzale A. Moro 5, 00185 Roma

e-mail: giuliano.moretti@uniroma1.it
ida.pettiti@uniroma1.it

Riassunto

In relazione al metodo di bilanciamento delle reazioni redox in soluzione acquosa, nei manuali universitari di Chimica generale attualmente in commercio solo alcuni seguono le indicazioni chiare e lineari riportate nei manuali di L. Pauling e di R.J. Gillespie et al. (non più in commercio da diversi anni).

La maggioranza dei manuali esaminati (12 su 15) adottano metodologie a nostro parere di dubbio valore didattico che possono confondere sia gli studenti sia i docenti, in modo particolare i docenti delle scuole secondarie di secondo grado che assumono il manuale universitario come testo di riferimento standard.

Abstract

In most of commercial university General Chemistry handbooks (12 out of 15 taken into account) the balancing method of redox reactions in aqueous solution is not according to the correct method described by L. Pauling and R.J. Gillespie et al. in their handbooks no more commercially available.

These alternative methods may induce confusion in both students and teachers, in particular chemistry teachers of the secondary school who consider the university textbook as the main point of reference.

Bilanciare una reazione chimica rappresenta un'abilità importante che gli studenti di Chimica e Chimica industriale devono senz'altro acquisire nel primo anno del corso di laurea seguendo gli insegnamenti di Chimica generale, Chimica inorganica 1 e Chimica analitica 1. È importante saper bilanciare le reazioni chimiche per valutarne gli aspetti quantitativi e le condizioni in cui si realizza l'equilibrio chimico tra reagenti e prodotti.

Tale competenza, limitando al massimo le difficoltà che possono presentarsi con reazioni chimiche particolarmente complesse, dovrebbe essere ac-

quisita anche dagli studenti degli altri corsi di laurea scientifici e, a un livello di base, dagli studenti della scuola secondaria di secondo grado.

Tra le reazioni chimiche, che generalmente classifichiamo in *reazioni acido-base secondo Lewis* e *reazioni redox*, quelle che presentano maggiori difficoltà per il loro bilanciamento sono le reazioni redox che si svolgono in soluzione acquosa (in ambiente acido, basico o neutro). In generale, conoscendo i reattivi e i prodotti della reazione, questa può essere facilmente bilanciata considerando la legge di conservazione degli atomi (conservazione della massa) e della carica elettrica.

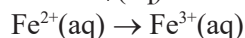
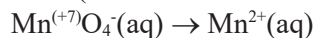
Questa nota è motivata dal fatto che la maggior parte dei manuali di Chimica generale a livello universitario, attualmente in commercio, presentano diversi e contraddittori metodi per bilanciare le reazioni redox in soluzione acquosa. Riteniamo che questa disomogeneità nella trattazione induca confusione tra gli studenti e, probabilmente, anche tra i docenti.

Ricordiamo che il testo di Chimica generale di Linus Pauling introduce chiaramente il metodo ionico-elettronico utilizzando come esempio l'ossidazione in soluzione acida di Fe(II) a Fe(III) con l'anione permanganato che si riduce a ione Mn(II) (L. Pauling, General Chemistry, W.H. Freeman and Company, 1970, pp. 520-522. Non più in commercio, come ci si aspetta considerata l'età, sia nella versione inglese sia nella traduzione italiana).

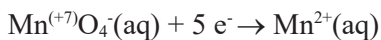
Notiamo che anche l'ottimo e più recente manuale curato da Ronald J. Gillespie (R.J. Gillespie, D.A. Humphreys, N.C. Baird e E.A. Robinson, "Chimica", EdiSES, 1990, versione originale in lingua inglese per i tipi di Allyn and Bacon, 1986. Non più in commercio sia nei paesi anglosassoni sia in Italia) al cap. 9 (parag. 9.5) applica il metodo ionico-elettronico secondo la metodologia riportata da Pauling. (R.J. Gillespie è il principale ideatore della teoria VSEPR, Valence Shell Electron Pair Repulsion, per la determinazione della geometria molecolare.)

Ecco in dettaglio la prescrizione di Pauling e Gillespie *et al.* per il bilanciamento della reazione sopra citata (ricordiamo che possiamo acidificare la soluzione con acido solforico e non con acido cloridrico poiché anche lo ione cloruro può essere ossidato a cloro dallo ione permanganato a $\text{pH} \approx 0$):

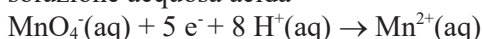
1°) identificare la variazione dei numeri di ossidazione per le due semireazioni (di riduzione e di ossidazione)



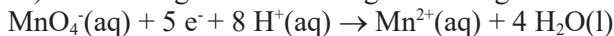
2°) aggiungere gli elettroni coinvolti in relazione alla variazione dei numeri di ossidazione



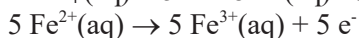
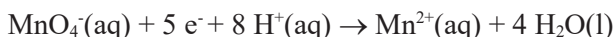
3°) bilanciare le cariche elettriche utilizzando gli ioni H^+ essendo la soluzione acquosa acida



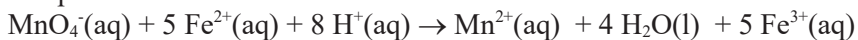
4°) bilanciare gli atomi di idrogeno e ossigeno utilizzando molecole d'acqua



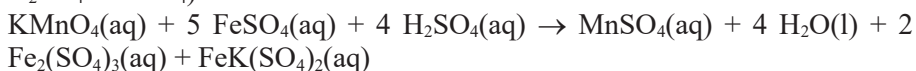
5°) accoppiare le due semireazioni in modo che gli elettroni liberati nella semireazione di ossidazione siano tutti utilizzati nella semireazione di riduzione



6°) sommare le semireazioni per ottenere la reazione in “forma ionica” completa



ed eventualmente riportarla in “forma molecolare” considerando le sostanze utilizzate (qui immaginiamo una soluzione acquosa contenente KMnO_4 , H_2SO_4 e FeSO_4)



Si presuppone noto il concetto di numero di ossidazione, che segue logicamente dopo aver imparato a rappresentare le formule di struttura di Lewis e acquisito il concetto di elettronegatività. Si danno quindi regole semplici e di validità generale per calcolare i numeri di ossidazione a partire dalla formula molecolare delle specie molecolari o ioniche. Come riportato in tutti i manuali di Chimica generale tali regole sono:

- a) il numero di ossidazione delle specie allo stato elementare è zero;
- b) nei composti il numero di ossidazione dei metalli alcalini è sempre +1, quello dei metalli alcalino-terrosi è sempre +2;
- c) il numero di ossidazione dell'idrogeno nei composti è sempre +1 tranne che negli idruri metallici per i quali si ha -1 (es. NaH);

d) il numero di ossidazione degli ioni monoatomici coincide con la carica dello ione;

e) il numero di ossidazione dell'ossigeno nei composti o negli ioni poliatomici è in generale -2 tranne che nei perossidi e superossidi per i quali si ha rispettivamente -1 (es. K_2O_2) e, come media tra i due atomi di ossigeno, -1/2 (es. KO_2), poiché secondo la formula di struttura di Lewis i due atomi avrebbero assegnati i valori 0 e -1;

f) il numero di ossidazione del fluoro in tutti i suoi composti è sempre -1;

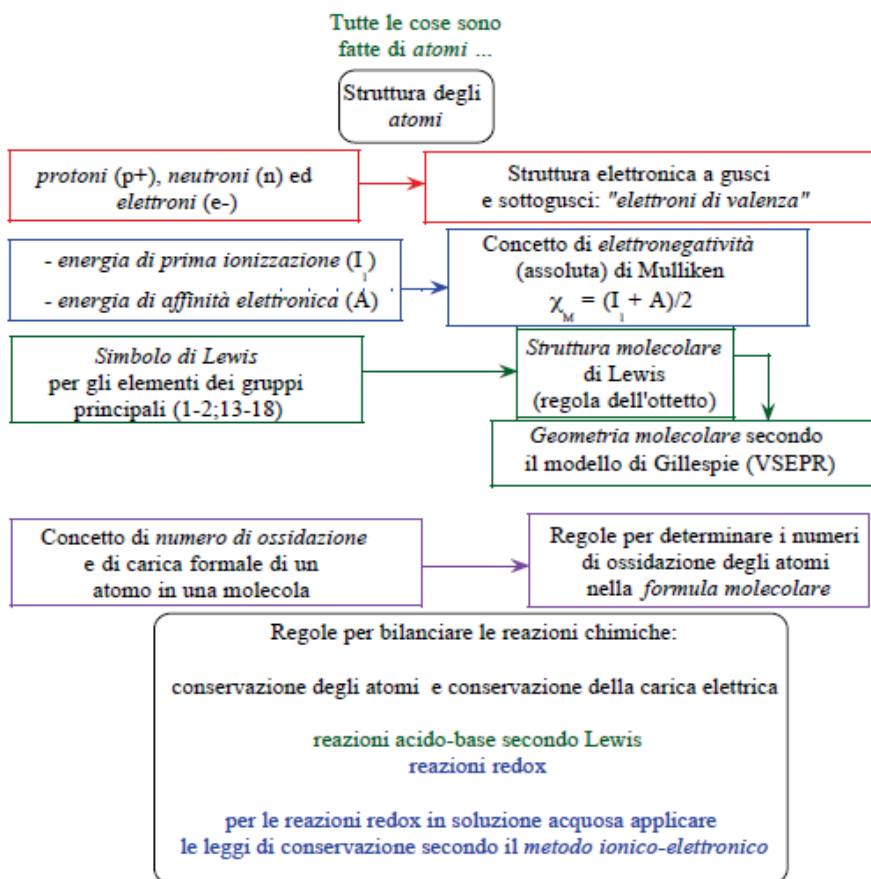
g) la somma algebrica dei numeri di ossidazione in uno ione poliatomico deve dare la carica effettiva dello ione mentre in una specie neutra deve essere zero.

Il metodo ionico-elettronico come esposto chiaramente da Pauling e Gillespie *et al.* è semplice e potente. Il numero di elettroni scambiato tra le coppie redox, n (moli di elettroni per mole di reazione completa così come scritta), determina la variazione di energia libera della reazione $\Delta_r G = -nFE$, in cui F è la costante di Faraday (96485 C mol^{-1}) ed E la massima differenza di potenziale (volt) ottenibile dalla cella elettrochimica costituita dai due semielementi che scambiano elettroni tramite il circuito esterno.

Riportiamo nello Schema 1 la presentazione della parte iniziale del programma del corso di Chimica generale per studenti dei corsi di laurea scientifici. Come si vede, già dopo le prime 5/6 lezioni, gli studenti possono utilizzare gli strumenti concettuali necessari per bilanciare le reazioni chimiche, incluse le più impegnative reazioni redox in soluzione acquosa.

Ovviamente, per mantenere alto l'interesse degli studenti, è sempre fortemente consigliato di utilizzare esempi di reazioni chimiche che quotidianamente si svolgono sotto i nostri occhi o particolarmente importanti sia dal punto di vista tecnologico sia per la salute umana e la protezione del nostro ambiente naturale. Lo Schema 1, con le opportune semplificazioni, si applica anche al livello della scuola secondaria di secondo grado.

Schema 1. Le unità didattiche che descrivono il contenuto delle lezioni iniziali del corso di Chimica generale. Dopo 5/6 lezioni gli studenti possono aver acquisito il concetto di numero di ossidazione ed essere in grado di bilanciare semplici reazioni redox in soluzione acquosa secondo quanto esposto nel testo.



Dato questo quadro piuttosto chiaro, è con molta sorpresa che abbiamo verificato come in molti manuali di Chimica generale, attualmente in commercio, il bilanciamento delle reazioni redox in soluzione acquosa venga descritto secondo metodi contraddittori, poco attinenti con il metodo ionico-elettronico esposto da Pauling e Gillespie *et al.* La Tabella 1 descrive nel dettaglio i problemi che vogliamo evidenziare, *vide infra*.

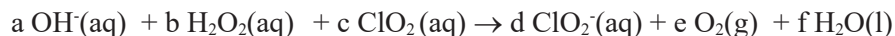
Ci si potrebbe chiedere come mai la maggioranza dei manuali anglosassoni esaminati presentino le problematiche evidenziate. Crediamo sia dovuto alla scarsa attenzione mostrata dai docenti, specialmente americani, verso l'argomento "Bilanciamento delle reazioni". In un recente articolo di W.B. Jensen pubblicato sul *Journal of Chemical Education*, nella sezione "Ask the Historian", dal titolo "Balancing Redox Equations" (vol. 86, pp. 681-682, 2009), rispondendo al quesito di un lettore circa l'origine delle attuali tecniche di bilanciamento delle reazioni redox, l'autore riconosce che in questi ultimi decenni alla maggior parte degli studenti viene insegnato a bilanciare

le reazioni più semplici “*by inspection*”, un modo per dire che ogni studente sviluppa un proprio metodo personale basato sulla pratica. Jensen illustra i seguenti metodi di bilanciamento delle semireazioni delineandone le origini storiche:

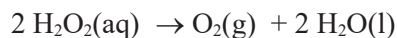
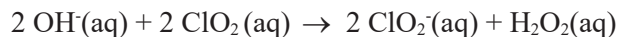
- 1) acquisto e cessione di H o di O dalle specie con atomi che cambiano il numero di ossidazione;
- 2) acquisto e cessione di elettroni dalle specie con atomi che cambiano il numero di ossidazione;
- 3) acquisto e cessione di elettroni dalle specie con atomi che cambiano il numero di ossidazione, nelle soluzioni acquose, scrivendo le semireazioni come esse avvengono nelle celle elettrochimiche o elettrolitiche;
- 4) scrittura di tutte le specie dei reagenti e dei prodotti e le relative equazioni di bilancio degli atomi.

In quest’ultimo caso si deve risolvere un sistema di equazioni lineari per cui la differenza tra il numero delle variabili (la somma dei coefficienti stechiometrici da determinare, indicato con V) e il numero delle equazioni di bilancio (indicato con E) deve risultare al massimo $F = V - E = 1$, in quanto per $F > 1$ la reazione non rappresenterebbe una singola reazione ma la somma di più reazioni, e per $F < 1$ mancherebbe nell’equazione uno o più reagenti o prodotti.

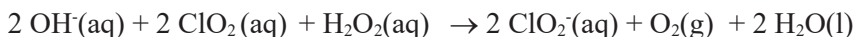
Come si vede Jensen non illustra il metodo ionico-elettronico come oggi dovrebbe essere usato in accordo con le indicazioni di Pauling e Gillespie *et al.* Notiamo inoltre che lo stesso Jensen, in un’altra nota pubblicata sempre nel *Journal of Chemical Education* (vol. 87, pp. 476-477, 2010), illustra il quarto metodo sopra elencato considerando la reazione:



Si hanno sei variabili (a, b, c, d, e, f) e quattro equazioni di bilancio, includendo l’equazione di bilancio della carica elettrica (idrogeno: $a + 2b = 2f$; ossigeno: $a + 2b + 2c = 2d + 2e + f$; cloro: $c = d$; conservazione della carica: $a = d$). Jensen conclude che non è possibile fissare un’incognita uguale a 1 o altro numero intero per ottenere tutti gli altri coefficienti, per cui la reazione come è scritta non rappresenta un’unica reazione ma è la somma delle due reazioni seguenti:

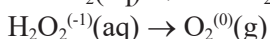
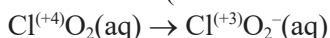


cioè

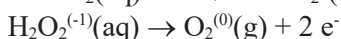
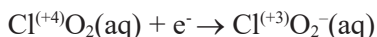


Capiamo la natura dei problemi e la confusione generata dalle note di Jensen bilanciando questa stessa reazione applicando il metodo ionico-elettronico secondo Pauling e Gillespie *et al.* :

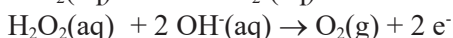
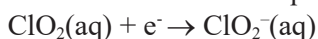
1) identificare la variazione dei numeri di ossidazione per le due semireazioni (di riduzione e di ossidazione)



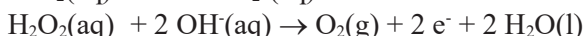
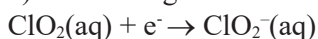
2) aggiungere gli elettroni coinvolti in relazione alla variazione dei numeri di ossidazione



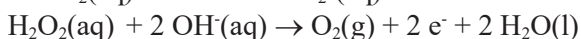
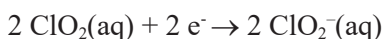
3) bilanciare le cariche elettriche utilizzando, dove necessario, gli ioni OH^- essendo la soluzione acquosa basica



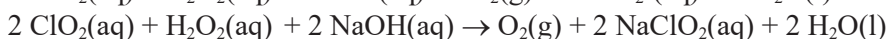
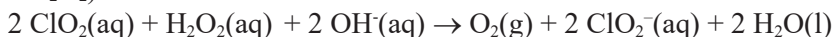
4) bilanciare gli atomi di idrogeno e ossigeno utilizzando molecole d'acqua



5) accoppiare le due semireazioni in modo che gli elettroni liberati nella semireazione di ossidazione siano tutti utilizzati nella semireazione di riduzione



6) sommare le semireazioni per ottenere la reazione in “forma ionica” completa ed eventualmente riportarla in “forma molecolare” considerando le sostanze utilizzate (qui immaginiamo una soluzione acquosa di ClO_2 , NaOH e H_2O_2)



Questa nostra nota vuole richiamare i docenti che curano la traduzione di testi americani o inglesi, o che intendono loro stessi preparare un nuovo ma-

nuale, a esporre il metodo-ionico elettronico secondo quanto riportato nei manuali classici di Pauling e di Gillespie *et al.* e a non avallare l'uso di metodi diversi come evidenziato nella Tabella 1. Ad esempio, bilanciare una reazione che avviene in ambiente basico prima utilizzando ioni idrogeno e poi sostituendoli con ioni idrossido non ha alcun significato didattico. Anche introdurre gli elettroni per bilanciare le cariche dopo aver introdotto gli ioni idrogeno o idrossido è alquanto discutibile, essendo fuorviante rispetto all'applicazione del concetto di numero di ossidazione.

Tutto ciò confonde sia gli studenti sia i docenti e, in attesa di nuovi manuali, consigliamo ai curatori della traduzione in italiano dei manuali degli autori americani o inglesi riportati in Tabella 1, che presentano le incongruenze evidenziate, di integrare il testo almeno con una nota editoriale per illustrare il corretto uso del metodo ionico-elettronico.

Tabella 1. Metodi utilizzati per il bilanciamento delle reazioni redox in soluzione acquosa in una selezione di manuali di Chimica generale a livello universitario attualmente in commercio (in ordine alfabetico secondo il primo autore).

Manuale di Chimica generale	Commenti e note sui metodi utilizzati per bilanciare le reazioni redox in soluzione acquosa
<p>1) I. Bertini, C. Lucchinat, F. Mani "<i>Chimica</i>" (II edizione) Casa Editrice Ambrosiana, 2011, cap. 10 (parag. 10.3.3).</p> <p>2) M. Schiavello, L. Palmisano "<i>Fondamenti di Chimica</i>" (IV edizione) EdiSES, 2013, cap. 6 (parag. 6.5.2).</p> <p>3) M. Speranza, M. Casarin, L. Casella, R. d'Agostino, A. Filippi, F. Grandinetti, R. Purrello, N. Re "<i>Chimica Generale e Inorganica</i>" Edi.Ermes, 2013, cap.4 (parag. 4.3).</p>	<p>Nei manuali NN. 1, 2 e 3 la procedura utilizzata è in accordo con quanto descritto nei manuali di Pauling (1970) e Gillespie <i>et al.</i> (1986).</p>
<p>4) P. Atkins, L. Jones, L. Laverman "<i>Fondamenti di Chimica Generale</i>" (II edizione italiana, VII edizione americana) Zanichelli, 2018, cap. 6K (parag. 6K.2).</p> <p>5) J.C. Kotz, P.M. Treichel, J.R. Townsend, D.A. Treichel "<i>Chimica</i>" (VI edizione) EdiSES, 2017, cap. 19 (parag. 19.1).</p> <p>6) D.A. McQuarrie, P.A. Rock, E.B. Gallogly "<i>Chimica generale</i>" (II edizione) Zanichelli, 2012, cap. 24 (parag. 24.4).</p> <p>D.W. Oxtoby, H.P. Gillis, A. Campion "<i>Chimica moderna</i>"</p>	<p>Sequenza dei passaggi utilizzati per il bilanciamento della reazione $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ in ambiente acido (confrontare con quanto riportato nel testo):</p> <p>1°) si scrivono le specie coinvolte nella reazione redox secondo le due semireazioni di riduzione e di ossidazione $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$</p> <p>2°) si aggiungono molecole di acqua per bilanciare gli atomi d'ossigeno $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$</p>

<p>(IV edizione) EdiSES, 2012, cap. 11 (parag. 11.4).</p> <p>8) K. Whitten, R. Davis, L. Peck, G.G. Stanley “Chimica” (X edizione) Piccin, 2014, cap. 11 (parag. 11.4).</p> <p>9) P. Zanello, R. Gobetto, R. Zanoni “Conoscere la Chimica” (I edizione) Casa Editrice Ambrosiana, 2009, cap. 15 (parag. 15.2.1).</p>	<p>$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$</p> <p>3°) <i>si aggiungono gli ioni $\text{H}^+(\text{aq})$ per bilanciare gli atomi d'idrogeno</i> $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$</p> <p>4°) <i>si aggiungono gli elettroni per bilanciare le cariche elettriche</i> $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 5 \text{e}^- + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^-$</p> <p>5°) <i>si rendono uguali il numero di elettroni acquistati dalla specie ossidante e ceduti dalla specie riducente</i> $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 5 \text{e}^- + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $5 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow 5 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 5 \text{e}^-$</p> <p>6°) <i>si sommano le semireazioni per ottenere la reazione globale in forma ionica</i> $\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 5 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 8 \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 5 \text{Fe}^{3+}(\text{aq})$</p> <p>Nel manuale N.9, prima del metodo ionico-elettronico spiegato come qui sopra riportato, si presentano altri metodi di cui non comprendiamo la validità didattica:</p> <p>a) <i>metodo degli ioni formali</i> (a ciascun elemento si attribuisce una carica ionica pari al numero di ossidazione);</p> <p>b) <i>metodo diretto</i> (si procede come nel metodo degli ioni formali lasciando indicate le specie chimiche presenti, quindi tale metodo secondo gli autori risulta di più rapida attuazione);</p> <p>c) <i>metodo algebrico</i> (è lo stesso applicato da Jensen e da noi esposto nel testo).</p> <p>In ciascun metodo si tiene ovviamente conto del bilancio sia degli atomi (uso di molecole H_2O) sia della carica elettrica (uso di ioni H^+ o OH^-) ed è comunque necessario indicare sia le specie reagenti sia quelle prodotte nell'equazione non bilanciata.</p>
<p>-----</p> <p>10) R. Bertani, D.A. Clemente, G. Depaoli, P. Di Bernardo, M. Gleria, B. Longato, U. Mazzi, G.A. Rizzi, G. Sotgiu, M. Vidali “Chimica Generale e Inorganica” (II edizione) Casa Editrice Ambrosiana, 2006, cap. 5 (parag. 5.4).</p> <p>11) T.E. Brown, H.E. LeMay, B.E.</p>	<p>-----</p> <p>Nei manuali dal N.10 al N.15 non viene rispettato l'ambiente acido o basico della soluzione acquosa in cui si svolge la reazione. Il bilanciamento delle semireazioni è eseguito sempre con ioni H^+ e poi, se l'ambiente di reazione è basico, si aggiungono ioni OH^- in numero pari agli ioni H^+ a entrambi i lati della semireazione. In uno dei</p>

<p>Bursten, C.M. Murphy, P. Woodward, M.E. Stoltzfus <i>“Fondamenti di Chimica”</i> (IV edizione) EdiSES, 2018, cap.19 (parag. 19.2).</p> <p>12) R. Chang, K. Goldsby <i>“Fondamenti di Chimica Generale”</i> (II edizione) Mc Graw Hill, 2015, cap. 18 (parag. 18.1.1).</p> <p>13) R.H. Petrucci, F.G. Herring, J.D. Madura, C. Bissonette <i>“Chimica generale - Principi ed applicazioni moderne”</i> (IV edizione italiana, XI edizione canadese) Piccin, 2017, cap. 5 (parag. 5.5).</p> <p>14) M.S. Silberberg <i>“Chimica”</i> (III edizione) Mc Graw Hill, 2012, cap. 21 (parag. 21.1).</p> <p>15) N.J. Tro <i>“Chimica - Un approccio molecolare”</i> (II edizione) EdiSES, 2018, cap. 19 (parag. 19.2).</p>	<p>lati della semireazione si formerà acqua ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$) e nell'altro lato rimarranno gli ioni OH^-.</p> <p>Sequenza dei passaggi utilizzati per il bilanciamento della reazione: $ClO_2(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow ClO_2^-(aq) + O_2(g)$ in ambiente basico (confrontare con quanto riportato nel testo):</p> <p>1°) <i>si scrivono le specie coinvolte nella reazione redox secondo le due semireazioni di riduzione e di ossidazione</i> $ClO_2(aq) \rightarrow ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) \rightarrow O_2(g)$</p> <p>2°) <i>si aggiungono molecole di acqua per bilanciare gli atomi d'ossigeno</i> $ClO_2(aq) \rightarrow ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) \rightarrow O_2(g)$</p> <p>3°) <i>si aggiungono gli ioni $H^+(aq)$ per bilanciare gli atomi d'idrogeno</i> $ClO_2(aq) \rightarrow ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) \rightarrow O_2(g) + 2 H^+(aq)$</p> <p>4°) <i>si aggiungono gli elettroni per bilanciare le cariche elettriche</i> $ClO_2(aq) + e^- \rightarrow ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) \rightarrow O_2(g) + 2 H^+(aq) + 2 e^-$</p> <p>5°) <i>si aggiungono ioni OH^- in numero pari agli ioni H^+ a entrambi i lati della semireazione</i> $ClO_2(aq) + e^- \rightarrow ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) + 2 OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2 e^- + 2 H^+(aq) + 2 OH^-(aq)$ $(2 H^+(aq) + 2 OH^-(aq) = 2 H_2O(l))$</p> <p>6°) <i>si rendono uguali il numero di elettroni acquistati dalla specie ossidante e ceduti dalla specie riducente</i> $2 ClO_2(aq) + 2 e^- \rightarrow 2 ClO_2^-(aq)$ $H_2O_2(aq) + 2 OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2 e^- + 2 H_2O(l)$</p> <p>7°) <i>si sommano le semireazioni per ottenere la reazione globale in forma ionica</i> $2 ClO_2(aq) + H_2O_2(aq) + 2 OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2 ClO_2^-(aq) + 2 H_2O(l)$</p> <p>Nel manuale N.10 si presenta anche il <i>metodo diretto</i> esposto nel manuale N.9. Inoltre il metodo ionico-elettronico spiegato come sopra riportato, viene denominato dagli autori <i>metodo indiretto o delle semireazioni</i>.</p>
---	--

Una particolare elettrolisi dell'acqua per diversi traguardi di competenza

Roberto Soldà

roberto.solda@libero.it

Riassunto

In questo articolo si propone un esperimento particolare di elettrolisi dell'acqua effettuabile con allievi a diversi livelli di apprendimento e con materiali facilmente reperibili in ogni tipo di scuola.

Tale esperimento, mediante cui si ottiene ossido di grafene, può essere integrato in un'adeguata unità didattica elaborata dall'insegnante e utilizzato per fare conseguire agli allievi, in ottemperanza alle attuali indicazioni curriculari, diversi traguardi di competenza¹ in qualsiasi tipo di scuola secondaria sia di primo che di secondo grado.

Inoltre può offrire interessanti spunti didattici anche per un eventuale approfondimento relativo alle forme allotropiche del carbonio e all'elettro-chimica in scuole secondarie di secondo grado ad indirizzo chimico.

Introduzione

Come è noto, quasi per gioco, nel 2004, due ricercatori di origine russa, Andre Geim e Kostya Novoselov, usando un normale nastro adesivo e un fiocco di grafite, riuscirono a dimostrare di poter isolare il materiale più sottile del mondo: uno strato singolo di atomi di carbonio ordinati secondo una struttura a nido d'ape, ossia il grafene.

Nel 2010 ai due ricercatori dell'Università di Manchester venne conferito il Nobel per la Fisica per aver dimostrato le inusuali e sorprendenti proprietà del grafene.

Notevoli sono le proprietà fisiche e chimiche del grafene. Esso è forte 200 volte più dell'acciaio. È un particolare conduttore di elettricità ed è anche un eccezionale conduttore di calore. Inoltre è quasi trasparente, ma è così denso che nemmeno l'elio, il più piccolo gas atomico, può attraversarlo. Per tali proprietà esso è utilizzabile nell'ambito dell'elettronica, del fotovoltaico e delle applicazioni sensoristiche, non ultime nel campo della medicina. Inoltre è importante anche per ricerche fondamentali di fisica.

Infatti, con il grafene, i fisici possono verificare in laboratorio una delle più bizzarre previsioni della QED (elettrodinamica quantistica): "l'effetto tunnel perfetto".

1. In questo caso la competenza si può definire come "condizione", in cui conoscenze e abilità sono articolazioni di essa, intesa in una prospettiva di educazione permanente, che si evolve per gradi intermedi (traguardi) in relazione a vari livelli.

Attualmente, riguardo ai fullereni, ai nanotubi ed al grafene, viene fatto almeno qualche cenno in qualsiasi tipo di scuola (perfino anche a livello di scuola primaria, come si può notare in uno stralcio delle indicazioni curriculari riportato sotto e reperibile in internet).

INDICAZIONI CURRICOLARI PER LA SCUOLA PRIMARIA CLASSE QUINTA

Disciplina: TECNOLOGIA 1° bimestre Ottobre-Novembre			
Competenze	Obiettivi di apprendimento	Conoscenze	Attività
<p>È a conoscenza di alcuni processi di trasformazione di risorse e di consumo di energia, e del relativo impatto ambientale.</p> <p>Conosce e utilizza semplici oggetti e strumenti di uso quotidiano ed è in grado di descriverne la funzione principale e la struttura e di spiegarne il funzionamento.</p> <p>Produce semplici modelli o rappresentazioni grafiche del proprio operato utilizzando elementi del disegno tecnico o strumenti multimediali.</p> <p>Inizia a riconoscere in modo critico le caratteristiche, le funzioni e i limiti della tecnologia attuale.</p>	<p>Vedere e osservare –Leggere e ricavare informazioni utili da guide d'uso o istruzioni di montaggio. –Impiegare alcune regole del disegno tecnico per rappresentare semplici oggetti. –Riconoscere e documentare le funzioni principali di una nuova applicazione informatica.</p> <p>Prevedere e immaginare –Riconoscere i difetti di un oggetto e immaginarne possibili miglioramenti. –Pianificare la fabbricazione di un semplice oggetto elencando gli strumenti e i materiali necessari.</p> <p>Intervenire e trasformare –Smontare semplici oggetti e meccanismi, apparecchiature obsolete o altri dispositivi comuni.</p>	<p>◊ La matita</p>	<p>Letture di testi storici e informativi; esplorazione di materie e materiali di cui si compone una matita; ricerche e tabulazione di dati sulla storia della matita; video esperienze di trasformazione della grafite in grafene e scoperta delle proprietà delle micro particelle di grafene.</p>
		<p>◊ La stampa</p>	<p>Letture di testi storici e informativi sull'invenzione della stampa; visita ad una tipografia dove sono conservati telai, caratteri tipografici e presse per la stampa a caratteri mobili; uso della Monotype e costruzione di una matrice; stampa di brevi frasi con uso di matrici e presse.</p>
		<p>◊ La stampa da file digitale</p>	<p>Osservazione delle parti e delle funzioni di una stampante a getto.</p> <p> Italiano</p>
Obiettivi minimi			
<p>Effettuare prove ed esperienze sulle proprietà dei materiali più comuni.</p>	<p>Riconoscere i difetti di un oggetto e immaginarne possibili miglioramenti.</p>		

Per quanto riguarda i metodi per la produzione del grafene, attualmente ce ne sono diversi e basta fare una ricerca in internet per reperire una panoramica di tali metodi.

Fra essi importante è anche il metodo per riduzione dell'ossido di grafene, ottenibile per esfoliazione ed ossidazione anodica della grafite.

Quindi ormai, oltre a sottolineare l'importanza pratica di tali sostanze, in tutti i testi di scienze per la scuola secondaria di primo grado e in tutti i testi di chimica di base per la scuola secondaria di secondo grado si introducono almeno alcuni cenni teorici attinenti a tutte le forme allotropiche del carbonio.

E certamente non mancano riferimenti bibliografici a livello divulgativo e spunti didattici per stimolare la curiosità e l'interesse degli allievi ad approfondire le nozioni teoriche riguardanti i fullereni, i nanotubi ed il grafene.

A tale proposito, poiché l'indagine scientifica e le applicazioni relative a tali sostanze sono in continuo sviluppo, per aggiornarsi su tali argomenti si ritiene utile indicare la ricerca on line mediante internet.

Obiettivi, prerequisiti e tempo

In questo caso gli obiettivi possono essere diversi a seconda del tipo di scuola e del livello di apprendimento e delle conoscenze pregresse degli allievi.

Comunque è abbastanza facile fornire delle prime informazioni relative alle sostanze in questione anche con esperimenti semplici come l'esfoliazione della grafite usando lo striscio di una matita e del nastro adesivo di scotch.

Tuttavia, in questo articolo, gli obiettivi devono essere funzionali ad un approccio sperimentale al grafene collegandolo all'elettrolisi e alle sue applicazioni².

Infatti tale argomento viene affrontato a livello di scuola secondaria sia di primo che di secondo grado.

Anche per quanto riguarda i prerequisiti, essi possono essere collegati abbastanza facilmente agli argomenti in vigore attualmente nelle indicazioni curriculari per scienze e per chimica rispettivamente per la scuola secondaria di primo e secondo grado.

2. A questo proposito già nel 1973, essendo in quell'anno insegnante di matematica e osservazioni scientifiche nella scuola media, avevo osservato che, facendo vedere ai ragazzi l'elettrolisi dell'acqua con $\Delta E = 9 \text{ V}$ (con due pile da 4,5 V collegate in serie) e una soluzione acquosa di solfato di magnesio (reperibile in farmacia come purgante), si formava anche ossido di grafene che allora era noto come ossido di grafite e veniva preparato solo mediante ossidazione chimica non elettrochimica.

Il tempo necessario per l'esperimento relativo all'elettrolisi con evidenza sperimentale dell'ossido di grafene è, in ogni caso, di circa un quarto d'ora.

Cenni e osservazioni sull'esfoliazione ed ossidazione anodica della grafite.

Attualmente, come detto sopra, tale metodica è molto praticata perché non presenta alcun problema di sicurezza e avviene in tempi molto brevi se viene eseguita mediante elettrolisi, allo stesso modo con cui viene proposto il semplice esperimento di elettrolisi dell'acqua, a qualsiasi livello di chimica di base, in qualsiasi scuola soprattutto qualora non si disponga di elettrodi di Pt e di voltmetro di Hoffmann e nemmeno acido solforico.

Infatti le modalità operative sono le stesse con cui viene effettuata l'elettrolisi dell'acqua, usando però come elettrodi due mine di matita e come soluzione una soluzione acquosa diluita di un solfato derivante da catione metallico (per esempio solfato di magnesio reperibile facilmente in farmacia come purgante).

[N. d. A.] Come contenitore per la soluzione acquosa di solfato di Mg si può usare un vasetto di vetro. Ma per visualizzare meglio i fenomeni ai due elettrodi sarebbe preferibile usare un pezzo di tubicino di plastica trasparente piegata ad U o un tubicino di vetro ad U.

Se però, come detto, non esiste sul piano pratico alcun problema per proporre a qualsiasi livello l'esperimento, è difficile che gli allievi da soli riescano a pervenire ad un'adeguata interpretazione delle osservazioni sperimentali.

Pertanto, a maggiore ragione che in altri casi, è opportuno tenere in considerazione il livello di preparazione dei ragazzi.

Interpretazione a livello di scuola secondaria di primo grado in collegamento con gli elementi di scienze relative agli effetti chimici della corrente e applicazioni dell'elettrolisi (galvanostegia, elettrolisi dell'acqua)

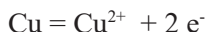
In questo caso a livello di scuola media si può fare l'esempio dei metalli (Fe) e non metalli (C, S) che con O_2 si ossidano.

Così, facendo l'esperimento dell'elettrolisi dell'acqua con mine di matita e facendo osservare sviluppo di H_2 al polo negativo e di O_2 al polo positivo, gli allievi possono intuitivamente interpretare la formazione delle "particelle" nere attorno al polo positivo come prodotte dall'ossidazione del carbonio del grafene con l' O_2 .

Cioè in questo caso si forma ossido di grafene, come nel caso del ferro con l' O_2 si forma ossido di ferro.

Interpretazione a livello di chimica di base nella scuola secondaria di secondo grado in collegamento con l'elettrochimica

A livello di chimica di base per la scuola secondaria di II grado, il fenomeno è molto più complesso di ciò che, avviene ad esempio eseguendo l'ossidazione anodica del Cu, in cui la semireazione anodica è:



Infatti nell'ossidazione della grafite avvengono:

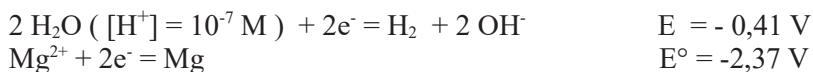
- penetrazione (intercalazione) di diverse specie molecolari, ioniche e radicaliche fra gli strati di grafene del reticolo della grafite;
- separazione degli strati di grafene;
- ossidazione del carbonio del grafene con formazione di diversi gruppi funzionali.

Sfruttando le nozioni elementari di chimica a disposizione degli allievi, si può impostare l'interpretazione secondo il seguente schema:

- migrazione degli anioni SO_4^{2-} verso l'elettrodo positivo (anodo) e loro penetrazione fra gli strati di grafene;
- ossidazione di alcuni atomi di carbonio componenti gli strati di grafene ad opera di O_2 con formazione di ossido di grafene invece che di anidride carbonica o ossido di carbonio;
- esfoliazione di strati di ossido di grafene a gruppi da due a dieci.

Avvalendosi di una tabella con i potenziali standard (e anche non standard per le semireazioni dell'acqua a diversi pH, come nelle tabelle di alcuni testi di chimica di base) i ragazzi possono scrivere tutte le semireazioni di riduzione e ossidazione possibili per l'elettrolisi di una soluzione acquosa di MgSO_4 con pH = 7.

Al catodo



All'anodo



Inoltre, basandosi sulle osservazioni relative al loro esperimento, gli allievi possono scrivere che:

- al catodo si osserva sviluppo di gas inodore attorno alla parte di grafite immersa nella soluzione
- all'anodo si osserva sviluppo di gas inodore e formazione di una sospensione di “particelle” nere attorno alla parte di grafite immersa nella soluzione.

E, basandosi sull'esperimento di elettrolisi “normale” dell'acqua presentato teoricamente o in laboratorio in qualsiasi scuola, possono affermare che

al catodo si ha la formazione di idrogeno e all'anodo formazione di ossigeno, come nell'esperimento "normale" di elettrolisi dell'acqua e in accordo con la previsione dell'ordine di scarica basata sulla tabella dei potenziali disponibile nei testi di chimica di base.

Infatti al catodo si scarica per prima la specie con potenziale più positivo e all'anodo quella con potenziale meno positivo.

Per quanto riguarda invece la "strana" formazione delle "particelle" nere, durante la discussione relativa all'esperimento, richiamando la struttura a strati di grafene della grafite, si può dire che gli anioni SO_4^{2-} (attratti dalla carica positiva dell'anodo) non si scaricano ma, penetrando fra gli strati di grafene della grafite, "vincono" le deboli forze di Van der Waals (intercalazione) e l'esfoliano.

Infine l' O_2 , reagendo con i carboni degli strati di grafene, ne provoca l'ossidazione ottenendo così la formazione di ossido di grafene.

A questo scopo si può fornire agli allievi una scheda riportante schematicamente il fenomeno come riportato in "Immagini" di internet (v. es. fig. 1).

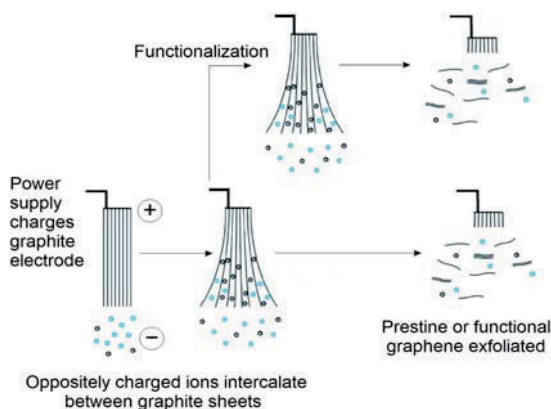


Figura 1.

[N. d. A]

Nell'eventualità di svolgere un approfondimento, si può effettuare:

- elettrolisi con CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ per dimostrare che il solfato funziona da intercalante e il nitrato no;
- prove di conducibilità con grafite e ossido di grafene.

Interpretazione a livello di SMS ad indirizzo chimico, in collegamento con gli argomenti di elettrochimica in chimica analitica, chimica fisica e chimica organica

In questo caso gli allievi, avvalendosi delle conoscenze di chimica fisica e chimica analitica, sanno che l'ordine con cui avviene la scarica delle varie

specie agli elettrodi dipende solo in prima approssimazione dal potenziale standard delle coppie redox in soluzione.

A questo livello è necessario, come è noto, un modello più elaborato dell'elettrolisi che tenga conto del fatto:

-che non solo le reazioni avvengono *a velocità finita*

-ma anche il trasferimento di materia in soluzione avviene *a velocità finita*.

Per fare ciò risulta utile introdurre i grafici intensità di corrente / tensione, come negli attuali programmi scolastici.

Per quanto riguarda gli esperimenti, ci si può attenere ai soliti esperimenti relativi all'elettrolisi con osservazioni fenomeni elettrolitici usando, ad esempio, una soluzione acquosa di solfato di Mg, mine di matita e un circuito con potenziometro e ΔE maggiore, minore e uguale 4.5 V.

In chimica organica i fullereni C 60, C 70 e il grafene possono essere proposti, oltre che per altri diversi scopi didattici, anche per illustrare il fenomeno dell'inibizione sterica della risonanza.

Infatti tale fenomeno è facilmente comprensibile mettendo a confronto la situazione degli orbitali p degli atomi di carbonio sp^2 nel caso dei fullereni e della grafite e del grafene (doppi legami veri nei fullereni e elettroni π greco delocalizzati nella grafite e grafene, perché nei fullereni non è soddisfatta la condizione di planarità indispensabile per la risonanza, come invece avviene nella grafite e nel grafene).

Inoltre, tramite adeguate considerazioni relative agli elettroni delocalizzati nel grafene, si possono approfondire, in collaborazione con l'insegnante di fisica, alcune nozioni di meccanica quantistica (effetto tunnel, ecc.).

Ringraziamenti

Sono grato ai proff. Renzo Bortolomeazzi, Maria De Nobili, Ermanno Niccoli, Marina Cisilino, Luigi Bressan, Livia Mercato, Bartolomeo Di Lorenzo, che, a diverso titolo e in diverse forme, hanno dimostrato interesse e utili osservazioni per questo lavoro.

Bibliografia

[1] J. Liu, C.K. Poh, D. Zhan, L. Lai, S.H. Lim, L. Wang, X. Liu, N. Gopal Sahoo, C. Li, Z. Shen, J. Lin, Improved synthesis of graphene flakes from the multiple electrochemical exfoliation of graphite rod. *Nano Energy* 2. **2013**, 377–386.

[2] Lin Li-Shang, Aidan Westwood, Rik Brydson, Graphene synthesis via electrochemical exfoliation of graphite nanoplatelets in aqueous sulphuric acid. *Carbon*, **2016**, 10-15, Pennsylvania.

[3] K. Parvez, Z. S. Wu, R. Li, X. Liu, R. Graf, X. Feng, and K. Müllen, Exfoliation of graphite into graphene in aqueous solutions of inorganic salts, *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, 136, (16), 6083–6091.

Da rifiuto a materiali innovativi. Il caso della lignina

Lucia Brinchi

ITTS “ A. Volta”, Perugia

lucia.brinchi@istruzione.it

Riassunto

La formazione dei futuri chimici dovrà cambiare paradigma, passando dall'attuale centralità riservata alla petrolchimica ad una maggiore enfasi sulle risorse rinnovabili. È il ri-uso dei rifiuti, visti come materia prima per la produzione di sostanze chimiche e di materiali e di energia che aiuterà per la transizione verso un' economia circolare a zero rifiuti. In questo contributo si affronta il caso della lignina, un rifiuto prodotto in ingenti quantità nell'industria cartaria e più recentemente, nelle industrie del bioetanolo. Ad oggi è poco valorizzata e per lo più bruciata. Tuttavia la sua valorizzazione offre notevoli vantaggi, oltre che sfide, per i chimici della prossima generazione.

Abstract

Education of chemists will have to change from its current emphasis on petrochemical-based manufacturing to include a greater emphasis on renewable resources. The re-use of waste as a raw material for the production of chemicals and materials and energy will help our society to achieve a circular economy based on zero waste.

Herein we focus our attention on lignin, produced extensively as a waste in the paper pulp industries and, more recently, in the bioethanol industries. It is currently undervalued and it is mostly used as fuels in the biorefineries. Nevertheless, its valorisation offers several advantages, together with challenges, for the next generation of chemists.

1. I rifiuti sono risorse

La formazione della prossima generazione di chimici ed ingegneri chimici dovrà fare un netto cambiamento di impostazione, passando dall'enfasi finora riservata ai processi basati sulla petrolchimica ad una maggiore enfasi a processi basati su risorse rinnovabili ed a basso impatto ambientale. In pratica dobbiamo imparare a produrre sia energia che beni di consumo (fra cui vestiti, farmaci, plastiche, profumi, imballaggi etc.) non partendo più

da fonti fossili. In questa ottica il riutilizzo di rifiuti come materia prima per la produzione di composti chimici ad alto valore aggiunto sarà cruciale per poter gradualmente costruire le nuove industrie del XXI secolo, industrie che siano sostenibili, ecocompatibili, cioè per arrivare a costruire una economia circolare a zero rifiuti. Infatti sono più di una le sfide epocali che la nostra società deve affrontare nell'immediato futuro:

- l'esaurimento delle fonti fossili,
- l'aumento dei problemi ambientali connessi all'esteso utilizzo degli stessi combustibili fossili (la CO₂ associata alla combustione causa l'effetto serra) ed anche
- l'accumulo di rifiuti con il conseguente aumento dei costi sia economici che ambientali (oltre che alle sempre maggiori restrizioni legislative) connessi al loro smaltimento.

Con tali premesse è chiara la necessità di imparare ad usare i rifiuti come materia prima rinnovabile, e dare valore a tutto il "carbonio organico" piuttosto che ridurlo a calore e CO₂.

Settori cruciali in tal senso sono e saranno, per citarne solo alcuni, le industrie cartiere, le industrie alimentari e quelle legate all'energia, magari in sinergia fra loro. Per esempio in Italia si stanno costruendo in questi mesi due impianti, a Marghera e Gela, per produrre biodiesel a partire dagli scarti della lavorazione dei grassi alimentari ed oli di frittura (Il sole 24ore, 22 febbraio 2019).

2. La lignina, uno scarto in quantità sempre crescenti

In questo contributo la nostra attenzione verrà al momento riservata alla lignina, il principale scarto delle bioraffinerie di seconda generazione a biomassa lignocellulosica. Per bioraffineria si intende un approccio integrato per la conversione di vari tipi di biomassa (inclusi scarti di cibo) in una serie di utili prodotti, quali carburanti, energia, calore, e prodotti chimici ad alto valore aggiunto; il concetto è analogo a quello di raffinazione del petrolio, con la sostituzione del petrolio con biomasse rinnovabili [1]. Si sta imponendo l'uso di biomasse lignocellulosiche (ivi inclusi scarti agricoli, oltre che gli scarti alimentari ma anche specie vegetali residuali come *Arundo donax*) come plausibile sostituto del petrolio per la produzione di combustibile bioetanolo e prodotti chimici. Nelle piattaforme di tali bioraffinerie, chiamate di seconda generazione perché non usano biomasse destinate all'alimentazione, avviene un pretrattamento sulla matrice originaria, seguito da depolimerizzazione della cellulosa a glucosio e successiva fermentazione a etanolo. Il sottoprodotto principale è la lignina.

Dati gli obiettivi di notevole incremento della produzione ed uso di biocombustibile nei programmi di vari stati e della UE, la produzione annua di lignina è destinata ad aumentare considerevolmente nel prossimo futuro.

La sola industria della carta produce già molta lignina come scarto, circa 50 milioni di tonnellate annue [2], ma si stima che prossimamente la lignina prodotta sarà più che raddoppiata [3]. La lignina nelle bioraffinerie attualmente è bruciata per il 40%, per produrre calore ed elettricità per il sostentamento dello stesso impianto; è il restante 60% che resta da valorizzare, e la competitività sia ambientale che economica dei processi di bioraffineria è quindi strettamente legata alla valorizzazione della lignina [4].

“Lignina” è un termine generico che descrive un grande gruppo di biopolimeri aromatici [5]. Rappresenta una grande frazione della biomassa del pianeta Terra (si stima che la quantità sia 300 Gtonn nel mondo) ed è la seconda più abbondante risorsa naturale rinnovabile, dopo la cellulosa, ed il più abbondante polimero aromatico naturale. È una sostanza idrofoba ed ha svariate funzioni nella parete cellulare vegetale, conferendo impermeabilità, resistenza meccanica, e maggior resistenza agli attacchi microbici. È un complesso polimero aromatico e manca di una struttura primaria, cosa inusuale per un biopolimero. Si può far derivare da tre precursori alcolici aromatici, l'alcol coniferilico, l'alcol p-cumarilico e l'alcol sinapilico legati fra loro da una serie di differenti legami intermonomerici, prevalentemente di tipo etereo o di tipo C-C. In Figura 1 sono riportate le formule di struttura dei tre alcol monomerici, che differiscono fra loro solamente per la presenza o meno di gruppi metossilici. La struttura chimica delle lignine è molto complessa e risulta difficilmente rappresentabile in modo univoco dato che si diversifica nelle diverse specie vegetali per struttura, composizione e pesi molecolari [5]. La mancanza di sequenze ripetitive, di specifici legami int-

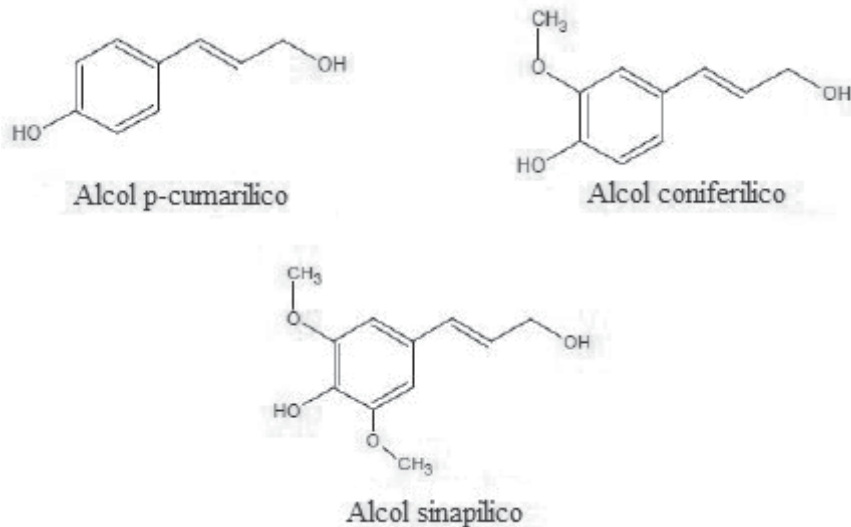


Figura 1. Le molecole dei tre precursori monomerici aromatici della lignina.

intermonomerici e specifiche subunità rende sia la caratterizzazione strutturale che la valorizzazione delle lignine delle sfide per i chimici.

3. Tanti tipi di lignine

Oltre alla variabilità strutturale naturale, importanti variazioni chimiche possono essere introdotte durante i processi di estrazione (pulping) che nell'industria della carta sono quattro, e portano alla lignina solforata, a sua volta suddivisa in lignina lignosulfonata e lignina Kraft, e lignina senza zolfo, a sua volta suddivisa in "organosolv lignin" e "soda lignin", come schematizzato nella Figura 2 [2]. Come ivi mostrato, a questi quattro tipi di lignine se ne dovranno aggiungere altre, con caratteristiche diverse, provenienti dallo scarto delle bioraffinerie, le cui proprietà varieranno in funzione dei pretrattamenti e dei trattamenti subiti dalla biomassa iniziale, per esempio (solo per citarne alcuni) la steam explosion piuttosto che microonde (MW) o trattamenti con solventi tra cui gli innovativi liquidi ionici (IL) o i deep eutectic solvents (DES) [6-12]. La disponibilità della lignina è attualmente solo legata all'industria della carta.

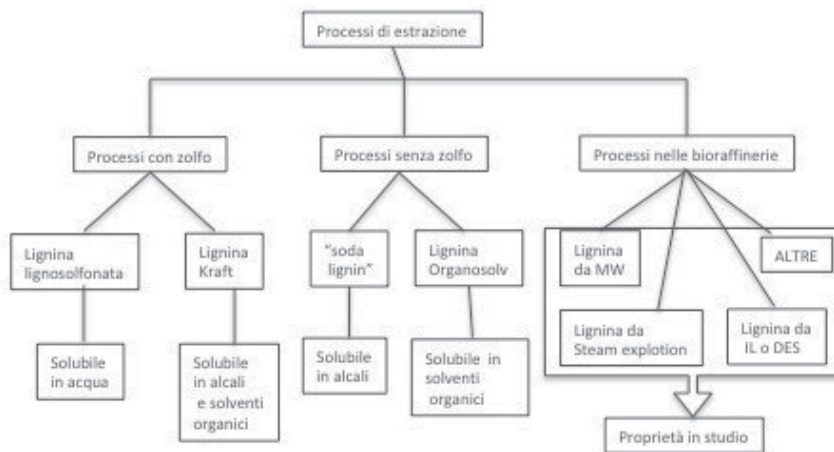


Figura 2. Tipi di lignine.

4. Utilizzi delle lignine – Sfide e opportunità

Attualmente, la lignina viene prevalentemente utilizzata come combustibile per produrne calore ed elettricità. Questo non è un uso efficiente perché in tale modo più del 40% del carbonio presente nella lignina immagazzinato ed "organicato" con la fotosintesi viene rilasciato nell'ecosistema sotto forma di CO₂. Varie stime danno una quantità compresa fra il 2 ed 5 % come

percentuale di lignine attualmente utilizzate per usi diversi dalla combustione, e per lo più per usi a basso valore aggiunto, come additivi in adesivi, in cementi, agenti coloranti, tensioattivi [3,13,14]. L'uso ad elevato valore aggiunto attualmente consolidato è quello della conversione a vanillina [15].

La comunità scientifica è sempre più interessata all'esplorazione di metodi per valorizzare la lignina, come dimostrato dal numero crescente di pubblicazioni di ricerca, per ora per lo più accademica, nel settore. Mentre nel 1990 i lavori scientifici arrivavano a stento a 500, nel 2018 sono aumentati quasi di un ordine di grandezza, e sono stati più di 4000; e nel primo semestre del 2019 sono già più di 1000. Le sfide sono almeno queste [16]:

- messa a punto di pretrattamenti della biomassa e tecnologie di separazione della lignina che superino il problema della grande varietà strutturale delle lignine prodotte e che consentano di ottenere lignine ad elevata purezza;
- messa a punto di efficienti metodi analitici avanzati che consentano di determinare la lignina dei vari processi di trasformazione a livello strutturale con parametri quantitativi;
- caratterizzazione della reattività chimica e delle proprietà funzionali dei vari tipi di lignine;
- messa a punto di metodi per la conversione della lignina ricavata in prodotti a valore aggiunto, usando metodologie che siano sia ecocompatibili che economiche.

La possibilità di utilizzo della lignina offrirebbe diversi vantaggi:

- la grande disponibilità a basso costo;
- resistenza ad attacchi biologici (funzione che ha anche nelle piante);
- proprietà antiossidanti;
- abbondanza di gruppi funzionali, con possibilità di derivatizzazione e funzionalizzazione.

Data la grande mole di esperimenti e dati in letteratura, nella Figura 3 si riportano solo alcuni esempi delle multiformi applicazioni investigate, che spaziano dalla produzione di biocombustibili alla preparazione di tutta una serie di derivati che trovano applicazioni in diversi ambiti, tra cui sistemi di rilascio controllato di farmaci per la cura del cancro.

Uno dei campi di applicazione forse studiati da più tempo è probabilmente la conversione a biocombustibili, sia gassosi che liquidi, con processi termochimici sempre più efficienti [17,18].

Per andare ad applicazioni a maggior valore aggiunto, solo per citare alcuni casi, si può partire dal fatto che grandi potenzialità derivano dalle proprietà antiossidanti ed antimicrobiche della lignina. Le possibilità applicative della lignina in tal senso spaziano dalla cosmetica, per filtri solari o creme anti-età [19] a formulazioni antimicrobiche [10] ma anche a formulazioni per la salute umana, che vanno dal controllo dell'obesità, del diabete, ad anticoagulanti ed antivirali [20].

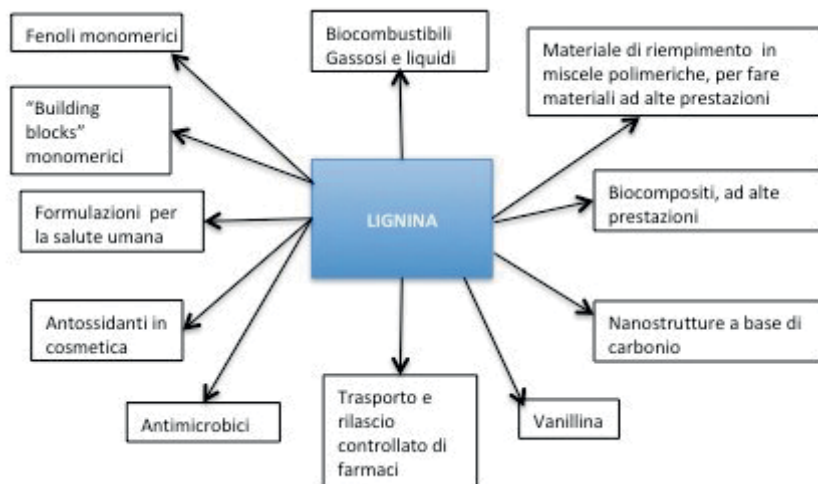


Figura 3. Alcune delle applicazioni della lignina.

5. Conclusioni

Per concludere vorrei solo ricordare come le tecnologie tuttora in uso per ricavare prodotti chimici, materiali ed energia da fonti fossili siano stati messi a punto in almeno 50-100 anni di tempo dedicati a ricerche sia nei laboratori universitari che nei laboratori industriali. Quindi è ora di raccogliere le sfide, dedicare tempo ed energie alla nuove ricerche per trasformare le sfide in opportunità.

6. Spunti didattici

Si offrono solo alcuni spunti e riferimenti bibliografici per progettare dei lavori il cui principale obiettivo è sollecitare gli studenti ad una maggiore attenzione ai temi ambientali, e ad una riflessione di come la chimica possa fare molto per migliorare l'ambiente e la sostenibilità.

Chemistry for kids. Per un' introduzione elementare ai concetti di utilizzo di rifiuti come materie prime, con un approccio che sia anche divertente, si può usare la lignina per fabbricare colori a tempera, tutti naturali e biodegradabili. Basta mescolare la lignina finemente macinata, che fa da pigmento marrone, con tuorlo d'uovo, che funziona da legante, e un po' d'acqua; e poi stendere con il pennello su carta e lasciare essiccare per diverse ore o meglio giorni.

Per proporre a studenti di chimica di scuola superiore dotata di laboratorio un uso a valore aggiunto delle lignine, si può pensare ad esperimenti in cui si studia l'adsorbimento usando un sistema molto usato negli studi di adsorbimento, cioè il blu di metilene.

Per condurre l'esperimento è necessario uno spettrofotometro UV-VIS. Dettagli sperimentali su come allestire l'esperimento possono essere trovati in letteratura [21], e può essere proposto uno studio di effetti di variazioni sull'adsorbimento di fattori quali la concentrazione iniziale di blu di metilene, il tempo di contatto e la variazioni di pH. La parte sperimentale può essere accompagnata da una ricerca per comparare l'efficacia del sistema investigato con quella di lignine modificate appositamente, o altri sistemi di adsorbimento.

Più ambizioso, e per classi che studiano chimica a livello più avanzato, è pensare di introdurre al concetto di bioraffineria integrata con valorizzazione di tutte le frazioni con un esperimento a più tappe, come recentemente proposto [22]. Si può partire da uno scarto ligno-cellulosico di facile lavorazione come le pannocchie di mais, e ricavarne sia biodiesel che bioetanolo e poi con lo scarto, la lignina, farne una crema filtro solare. In tal modo gli studenti di chimica imparano come ottenere prodotti ad alto valore aggiunto da scarti, e così sono anche sollecitati ad una maggiore attenzione ai temi ambientali.

Bibliografia

- [1] J.H. Clark, V. Dudarin, F.E.I. Deswarte, J.J.E. Hardy et. al., *Green Chem.*, 2006, **8**, 853.
- [2] Internation Lignin Institute. <http://www.ili-lignin.com>.
- [3] A. Grossman, V. Wilfred, *Curr. Opin. Biotechnol.* 2019, **56**, 112.
- [4] S. Beisl, A. Fridel, A. Miltner, *Int. J. Mol. Sci.*, 2017, **18**, 2367.
- [5] A.Sakakibara, *Chemistry of lignin*. In: *Wood and cellulosic chemistry*, Dekker Inc., New York, 1991.
- [6] J. Li, G. Gellersted, K. Toven, *Bioresour. Technol.* 2009, **100**, 2556.
- [7] M.F. Li, S.N. Sun, F. Xu, R.C. Sun, *Food Chem.* 2012, **134**, 1392.
- [8] E. Melro, L. Alves, F.E. Antunes, B. Medronho, *J. Mol. Liq.* 2018, **265**, 578.
- [9] A.A. Shamsuri, D.K. Abdullah, *Modern Applied Sci.*, 2010, **11**, 19.
- [10] X. Dong, M. Dong, Y. Lu, A. Turley, T. Jin, C. Wu, *Ind. Crops Prod.*, 2011, **34**, 1629.
- [11] F. Cotana, G. Cavalaglio, A. Nicolini et al., *Energy procedia*. 2014, **45**, 52.
- [12] Z. Chen, C. Wan, *Bioresour. Technol.*, 2018, **250**, 532.
- [13] S. Sahoo, M.O. Seydibeyoglu, A.K. Mohanty, M. Misra, *Biomass Bioenergy*, 2011, **35**, 4230.
- [14] N. Supanchaitamat, K. Jetsrisuparb, JTN Knijnenburg et al., *Bioresour. Technol.*, 2019, **270**, 570.
- [15] A. Pearl, *J.Am. Chem. Soc.* 1942, **64**, 1429.

- [16] H. Wang, Y. Pu, A Ragauskas, B. Yang, *Bioresour. Technol.*, 2019, **271**, 449.
- [17] J. Piskorz, P. Majerski, D. Radlein, D.S. Scott, *Energy Fuels*, 1989, **3**, 723.
- [18] V.K. Ponnusamy, J. Dharmara, S. Shobana et al., *Bioresour. Technol.*, 2019, **271**, 462.
- [19] M.P. Vinnardell, V. Ugartondo, M. Mitjans, *Bioresour. Technol.*, 2008, **27**, 220.
- [20] M. Mitjans , M.P. Vinnardell, *Int. J. Mol. Sci.*, 2017, **18**, 1219.
- [21] B.H. Hameed. R.R. Krishni, S.A. Sata., *J. Harzard. Mater.*, 2009, **162**, 305.
- [22] H. Zhou, W. Zhan, L. Wang. et al. *J. Chem. Educ.*, 2018, **95**, 1376.

L'intervista con Carl Djerassi

Liberato Cardellini

Dipartimento SIMAU, Facoltà di Ingegneria,
Università Politecnica della Marche, Ancona.
l.cardellini@univpm.it

Traduzione autorizzata dal Journal of Chemical Education, Vol. 88, No. 10, 2011, pp. 1366-1375. Copyright 2011 American Chemical Society.

Questa intervista ha avuto luogo a Sondrio, in Italia, nell'aprile del 2008. Per dare informazioni più ampie e di base, Carl Djerassi inizia informando i lettori delle sue tre autobiografie.

Riassunto

In questa intervista, Carl Djerassi ricorda i suoi primi anni, dalla sua piacevole infanzia, a come sia sfuggito alle persecuzioni naziste e alla sua educazione universitaria in America. Racconta come con il suo gruppo di ricerca abbia vinto la gara per la sintesi del cortisone e come abbiano poi sintetizzato il noretindrone, l'ingrediente attivo nei contraccettivi orali. Djerassi parla anche della relazione a volte difficile tra dottorandi, studenti post-dottorato e i professori. Questo è anche il tema di due dei suoi libri "science-in-fiction". Djerassi condivide la sua opinione sulla carriera delle donne nel mondo accademico, i rapporti e i problemi che possono insorgere quando un professore universitario accetta una posizione nell'industria. Oltre a discutere dei progressi nella riproduzione umana e delle posizioni femministe, come anche i temi ricorrenti nella sua seconda vita di scrittore di successo, Djerassi condivide la sua esperienza personale con il dolore e la morte.

Parole chiave

Formazione continua, Pubblico generico, Chimica Organica, Comprensione Pubblica/Extracurriculare, Comunicazione/Scrivere, Chiralità/Attività ottica, Spettrometria di massa, Steroidi, Sintesi.

Abstract

In this interview, Carl Djerassi recalls his first years, from his pleasant childhood, to how he escaped the Nazi persecutions, to his college education in America. He remembers how with his research group he won the race for synthesis of cortisone, and how they then synthesized norethindrone, the active ingredient in oral contraceptives. Djerassi also discusses the sometimes-difficult relationship of graduate students and postdoctoral fellows with professors. This is also the subject of two of his

“science-in-fiction” books. Djerassi shares his views about the careers of women in academia, and the interactions and the problems that can arise when a university professor accepts a position in industry. Beyond discussing human reproductive advances and feminist positions, as well as recurring themes in his second life as a successful writer, Djerassi shares his personal experience with sorrow and death.

Keywords

Continuing Education, General Public, Organic Chemistry, Public Understanding/Outreach, Communication/Writing, Chirality/Optical Activity, Mass Spectrometry, Steroids, Synthesis.

Influenze iniziali e traguardi

Iniziamo con un'introduzione utile per tutti i lettori. Non sei il primo che mi ha posto queste domande, anche se non tutti chiedono queste tue stesse domande in una singola intervista. Le risposte sono già note perché le ho messe, non solo in una ma in due autobiografie e una memoria – in effetti, potrei risultare come essere l'unica persona in chimica che abbia scritto qualcosa come tre autobiografie. Potresti pensare che una sia abbastanza. Due poi sono eccessive, ma tre? Non vi ho solo messo molte cose dentro, ma come autore di finzione, ho messo molto di me nella mia finzione. Quindi, le risposte stesse ma anche cose più sottili sono effettivamente presenti nella mia finzione, piuttosto che nella mia autobiografia.

La mia prima autobiografia era interamente di chimica nella famosa serie di 22 volumi di autobiografie di chimici organici che Jeff Seeman ha curato per l'American Chemical Society negli anni '90. [1] La seconda, *The pill, pygmy chimps e Degas' horse* [2] è stato presentato al pubblico nel 1992, ma nel 2001 ne ho pubblicato un terzo, un libro di memorie, *This man's pill: Reflections on the 50th birthday of the pill*. [3] L'ho scritto perché erano successe molte cose nel decennio intercorso della mia vita che non avevo fatto conoscere prima. In quel periodo, da chimico mi ero davvero trasformato in un autore letterario. Inoltre, in quella memoria ho riflettuto sulle conseguenze sociali, politiche e culturali della pillola. Sento di dover iniziare facendo riferimento a quelle pubblicazioni, perché altrimenti, parlo per ore e ore di argomenti che ho già descritto dettagliatamente in questi tre scritti autobiografici.

Cardellini: *In “The Quest for Alfred E. Neuman” [4] hai descritto le tue difficoltà come rifugiato dalle persecuzioni di Hitler. Quanto questa persecuzione ha influenzato la tua vita?*

La maggior parte degli americani, sebbene anche alcuni stranieri, capiranno questo riferimento ad Alfred E. Neuman, perché i primi lo cono-

scono per via di *MAD Magazine* e la sua didascalia con un immaginario personaggio con quel nome. Questo capitolo della mia grande autobiografia è psicologicamente interessante perché descrive come io, rifugiato ebreo dall'Austria nazista, ho risposto alla domanda di antisemitismo anche nei casi in cui non esisteva, che è qualcosa che solo i rifugiati comprendono, molto diverso da diciamo, gli ebrei americani, intendendo gli ebrei che sono nati in America. Questi mostrano un certo grado di fiducia perché si sentono a casa, e se ancorché possono essere considerati una minoranza religiosa, loro si considerano americani.

Avevo solo 16 anni quando sono arrivato dalla Bulgaria negli Stati Uniti, originario dell'Austria, pochi mesi dopo l'Anschluss. Ricorderai che hai intervistato un altro rifugiato dall'Europa nazista, Roald Hoffmann, ma il suo caso era molto diverso perché suo padre è morto in un campo di concentramento, e se lui e sua madre non furono nascosti da Polacchi decenti per molto tempo, anche lui sarebbe morto. Quando alla fine sono fuggiti, sono passati attraverso svariati tipi di campi profughi prima di arrivare negli Stati Uniti. Niente di tutto ciò vale per me. Provengo da una piccolissima famiglia. Mio padre era un ebreo Sefardita Bulgaro, che aveva incontrato mia madre, che era una Ebreja Ashkenazita nata a Vienna, mentre entrambi studiavano medicina all'Università di Vienna. I miei genitori avevano divorziato quando avevo circa quattro anni. Così ho avuto due case: sono nato a Vienna e ho vissuto con mia madre e mia nonna a Vienna dove sono andato a scuola. Ma ho sempre trascorso le estati in Bulgaria con una famiglia bulgara molto numerosa da parte di mio padre, che spesso ci veniva a trovare a Vienna. Quindi, la mia fu un'infanzia molto piacevole.

Alcuni mesi dopo l'Anschluss nazista nel marzo 1938 – in altre parole mesi prima della *Kristallnacht* e delle cose davvero terribili, inclusa la deportazione di migliaia di ebrei, mio padre venne a Vienna e si risposò frettolosamente con mia madre, così da farle acquisire un passaporto Bulgaro, e poter partire immediatamente. Quindi non fui direttamente toccato dagli orrori dell'Olocausto. Questo non significa che non sia rimasto traumatizzato, ma questa è una questione molto diversa. Nel settembre del 1938, sono entrato nell'American College di Sofia, un collegio dove ho imparato l'inglese in Bulgaria, da insegnanti americani e inglesi. Questo era un vantaggio enorme, perché al contrario di molti dei rifugiati dalla Germania e l'Austria, quando sono arrivato negli Stati Uniti nel dicembre 1939, parlavo un buon inglese. Avevo un accento, ma parlavo correntemente l'inglese e quindi non ho avuto problemi di lingua. Tuttavia, ho visto problematiche antisemite che spesso non erano considerate tali ed ero sempre molto, molto sospettoso.

Al contrario di molti degli altri profughi ebrei, migliaia e migliaia di loro, che hanno soggiornato nella costa orientale, nei dintorni di New York con la

sua enorme popolazione ebraica americana, io ho trascorso la maggior parte del tempo nel Midwest: all'inizio a Tarkio, nel Missouri, un posto dove non c'era un solo ebreo. Ho frequentato il Tarkio College, e lì non c'era un singolo europeo. La maggior parte delle persone non sapeva nemmeno dov'era la Bulgaria. Quindi è stata un'esperienza completamente diversa da quella della maggior parte degli altri profughi ebrei della mia generazione. Quando io ero di fronte a domande che mi sembravano domande intrusive riguardo all'essere Ebrei, in realtà non erano pensate in quel modo. In larga misura erano domande derivanti dalla curiosità e basate sull'ignoranza. Quindi, la maggior parte delle volte ho risposto in un modo molto evasivo come ho raccontato in dettaglio in quel capitolo della mia autobiografia dove metto in relazione la copertina di *MAD Magazine* con le immagini che avevo visto nella Vienna nazista.

Altra cosa da ricordare è che nel periodo in cui son cresciuto, ho acquisito un dottorato di ricerca in chimica, e sono entrato nell'industria, c'erano molti posti in cui gli Ebrei erano esclusi. Era molto tipico a quel tempo negli Stati Uniti. C'erano molte aziende che non avevano Ebrei. C'erano molti club che escludevano gli ebrei. La Columbia University, proprio nella New York ebraica, aveva un *numerus clausus* per gli studenti Ebrei che desideravano entrare nella facoltà di Medicina. Sono stato professore in due università, prima alla Wayne State University di Detroit e poi alla Stanford University. A Stanford ero il primo membro ebraico della Facoltà del Dipartimento di Chimica. Non voglio alludere che Stanford nel 1959 era antisemita, perché c'erano membri di Facoltà ebrei in altri dipartimenti. Ma fino ad allora, il Dipartimento di Chimica non aveva avuto un solo ebreo, mentre ora non è più così. E alla Wayne State University c'era stato un solo ebreo prima di me, Herbert C. Brown, che in seguito vinse il premio Nobel per il suo lavoro sui boro-idruri. Era nato a Londra e venne negli Stati Uniti da immigrato.

In che modo il tuo gruppo ha vinto la gara per sintetizzare il cortisone?

Tra il 1949 e il 1951, la questione di come sintetizzare il cortisone da un materiale vegetale era forse l'argomento più caldo in chimica organica in quel momento. Il cortisone era stato sintetizzato una volta da Lewis Sarett in una monumentale sintesi che comprendeva 40 step. Era davvero un capolavoro, ma non sembrava risolvere il problema della (limitata) disponibilità di cortisone, che, a quel tempo, era considerato essere una sorta di bacchetta magica per il trattamento dell'artrite reumatoide e altre malattie infiammatorie. In quel momento avevo lavorato già per quattro anni dopo il mio dottorato alla CIBA, la compagnia farmaceutica svizzera nel New Jersey, ma quasi tutto il mio interesse per la chimica degli steroidi l'avevo già acquisito durante il mio lavoro di dottorato (1943-1945) all'Università del Wisconsin,

dove mi ero occupato della sintesi parziale degli estrogeni dagli androgeni. Quindi ero diventato molto interessato a questo problema, ma non mi è stato possibile lavorarci alla CIBA. Una piccola compagnia messicana, la Syntex, mi ha invitato nel 1949 – ero quasi 26enne – per diventare il direttore associato della ricerca chimica, che era una meravigliosa opportunità, anche se la maggior parte della gente ha pensato che ero completamente pazzo per accettare di andare in Messico dove apparentemente non c'era stato alcun lavoro di ricerca chimica fatto prima. Ma questa era una meravigliosa opportunità: la Syntex era molto piccola e c'era un eccellente chimico ungherese, George Rosenkranz, che aveva studiato in Svizzera ed era anche lui fuggito dai nazisti, che ne era il direttore tecnico. Mi aveva invitato – in realtà dovrei dire che mi ha sedotto – con una meravigliosa opportunità. Ha detto “avrà numerosi assistenti” (rispetto all'unico assistente che avevo alla CIBA) “e questo è il problema su cui vogliamo lavorare: il cortisone”. La Syntex è anche stata d'accordo che avremmo potuto pubblicare i risultati molto rapidamente e questo costituiva l'argomento decisivo per me, perché alla fine intendevo ottenere una posizione accademica in una università e questo poteva essere un modo per farlo, aver lavorato su uno dei problemi più caldi in chimica organica. L'obiettivo era di produrlo a partire da una pianta molto comune in Messico, la diosgenina, che era davvero la ragione per cui esisteva la Syntex, perché questa sapogenina steroidea, anche se si trova anche in altre piante, era in quel momento facilmente estraibile dalle specie messicane della *Dioscoreae*. In effetti, già nei primi anni '40, l'americano Russell Marker aveva sviluppato una semplice ed economica sintesi di progesterone da diosgenina. Ad ogni modo, abbiamo iniziato a progettare una sintesi del cortisone a partire dalla diosgenina; essenzialmente nessuno sapeva che stavamo partecipando alla competizione in cui erano presenti persone come Fieser e Woodward ad Harvard, così come i chimici all'ETH di Zurigo, a Oxford, e in aziende come Merck e Glaxo, e così via.

Con sorpresa di tutti, fummo i primi a realizzare una sintesi del cortisone da una materia prima vegetale. E questo era davvero un fatto molto sensazionale. Non c'è da stupirsi che abbiamo riscosso una quantità enorme di attenzioni non solo nella letteratura chimica, ma anche nella stampa popolare. Mise davvero la Syntex sulla cartina scientifica. In retrospettiva, è sorprendente che abbiamo fatto tutto questo lavoro in soli due anni, cioè non solo la prima sintesi di cortisone da un materiale vegetale ma anche la prima sintesi di un contraccettivo orale. Direi che questi sono stati i due anni più produttivi la mia vita. E questo è ciò che mi ha procurato il mio primo lavoro accademico: professore associato di ruolo presso la Wayne State Uni-

versity di Detroit, che ha portato un anno dopo ad avere una cattedra come professore ordinario intorno al mio 30esimo compleanno.

Come è stata creata “la pillola”?

Ho scritto di questo in modo così dettagliato in tutte e tre le autobiografie che non vale la pena ricominciare tutto da capo in dettaglio, quindi la farò molto veloce e mi limiterò a indirizzare chi è interessato alle fonti di letteratura, perché ho pubblicato materiale che davvero documenta ogni passaggio in gran dettaglio. Essenzialmente, non c’era alcuna competizione, nel senso che stavamo lavorando al problema della creazione di un progestinico orale efficace, quando praticamente nessun altro ci stava lavorando. In realtà c’era un’altra società che s’interessò a quest’area, anche se con un anno di ritardo, ed era la G. D. Searle, che, proprio come la Syntex, ora non esiste più – entrambe sono poi state acquisite da società più grandi. A quel tempo, la G. D. Searle era una società farmaceutica di medie dimensioni e ben affermata, vicino a Chicago. In ogni caso, noi alla Syntex eravamo interessati allo sviluppo di nuovi farmaci in modo che la Syntex potesse venderli sotto il proprio nome, piuttosto che produrre ormoni steroidei noti. La Syntex a quel tempo era solo un produttore di grandi quantità di steroidi come progesterone e testosterone, che venivano venduti ad altre case farmaceutiche.

Il progesterone mi aveva già interessato teoricamente durante la scuola di specializzazione perché a quel tempo si credeva che, al contrario degli estrogeni, qualsiasi modifica della molecola del progesterone avrebbe diminuito o distrutto la sua attività biologica. C’erano molti composti differenti non steroidei, diversi come lo è il dietilstilbestrolo dall’estradiolo, che erano potenti estrogeni, quindi c’erano molte modifiche strutturali che erano possibili e che non diminuivano l’attività degli estrogeni. Al contrario, si era ipotizzato che il progesterone fosse molto legato alla struttura. A quel tempo (stiamo parlando del 1950), il progesterone era usato in medicina per due scopi. Era utile nel trattamento dei disturbi mestruali ed è stato utile nel trattamento di alcuni casi d’infertilità, perché le donne che non producono sufficiente progesterone durante la gravidanza non possono mantenere in vita il feto. Ma era anche noto che il progesterone era il contraccettivo della natura: le donne durante la gravidanza non rimangono incinta perché producono progesterone tutto il tempo, che impedisce l’ulteriore ovulazione.

Ciò che non era generalmente noto, ed è molto imbarazzante secondo la mia opinione, è che un fisiologo austriaco di nome Ludwig Haberlandt aveva già predetto (negli anni ’20) il potenziale contraccettivo del progesterone, e aveva lavorato per convertirlo in realtà. Sebbene il progesterone non fosse ancora stato isolato allo stato puro, veniva usato come estratti di placenta o corpo luteo, con i quali Haberlandt ha lavorato. Lui ha dimostrato

che tali estratti prevenivano l'ovulazione nei conigli e nei topi, e si è chiesto, "Perché non usarlo come contraccettivo negli umani?" E perché no come una pillola, che chiamò una pillola "per la sterilizzazione temporanea delle donne". Ricevette parecchia pubblicità nei giornali alla fine degli anni '20.

Tutto ciò sembrava essere stato dimenticato o ignorato successivamente, e in modo particolarmente vergognoso dai biologi riproduttivi americani. Haberlandt, supportato dalla Fondazione Rockefeller, ha pubblicato moltissimo su questo soggetto, incluso un piccolo libro, e poi si è suicidato nel 1932 a causa di tutte le opposizioni che aveva incontrato a quel tempo nell'Austria cattolica. Aveva solo circa quarant'anni quando è morto. Successivamente altri biologi hanno portato avanti questo studio quando il progesterone divenne disponibile negli anni '30 come composto sintetico puro, attraverso il lavoro di Butenandt e Slotta e altri chimici tedeschi. Ma il progesterone era attivo solo per iniezione. Per farlo funzionare come contraccettivo, si avrebbe dovuto ricorrere a iniezioni giornaliere, il che sarebbe risultato non realistico. Inoltre, la contraccezione non era un argomento di alta priorità durante la guerra, e certamente non dopo la guerra, quando le persone erano interessate al suo contrario: milioni di persone erano morte e i sopravvissuti volevano avere bambini, e come risultato ci fu il conseguente famoso baby boom.

Quando abbiamo iniziato a lavorare sui progestinici alla Syntex, eravamo interessati alla questione se la modifica chimica del progesterone ne avrebbe mantenuto l'attività biologica. Il modo in cui questo è stato ottenuto è una storia troppo lunga e la si trova tutta descritta in dettaglio nelle mie autobiografie, ma siamo riusciti a ottenere un composto, il 19-nor-17 α -etinitestosterone (comunemente chiamato "Noretindrone") che era attivo per via orale e anche più potente del progesterone, che fu una vera svolta. Il resto della storia – lo studio biologico guidato da Gregory Pincus della Worcester Foundation for Experimental Biology; gli studi clinici iniziati da John Rock di Harvard; la competizione tra la Syntex e Searle – vengono raccontati nei minimi dettagli in un capitolo intitolato "Genealogia e nascita della pillola" nella mia memoria, *This man's pill: Reflections on the 50th birthday of the pill*. [3] Fino a oggi, il noretindrone viene ancora usato da milioni di donne mentre gli altri sette principi attivi delle centinaia di formulazioni contraccettive vendute in tutto il mondo che furono sintetizzate negli anni successivi al nostro lavoro del 1951 sono (con un'eccezione) ancora solo piccole modifiche chimiche della struttura del noretindrone. Lasciami concludere facendo un commento riguardo al mio uso del plurale "noi" in questo resoconto molto condensato. Questo non è inteso come il "noi" regale, ma essenzialmente ha coinvolto un gruppo minuto, composto dal defunto Luis Miramontes (un giovanissimo chimico messicano allora poco più che ventenne, che stava facendo il suo lavoro di tesi per un diploma di laurea

presso l'Università del Messico sotto la mia direzione alla Syntex), George Rosenkranz e me stesso.

I tuoi importanti risultati in chimica sono stati riconosciuti con una lunga lista di onorificenze e premi. Quali sono le reazioni organiche di cui sei più orgoglioso?

Direi, di nessuna reazione organica in particolare, anche se io sono un chimico organico che ha anche fatto un sacco di sintesi. Ma io in realtà non stavo lavorando su una metodologia di sintesi organica. Ciò di cui vado più orgoglioso tra i miei contributi chimici è l'applicazione di metodi fisici in chimica organica. Ritengo che in questo settore il mio gruppo accademico abbia apportato dei contributi molto importanti per molti anni e questo è particolarmente vero per i metodi chirottici (ORD, OCD e MCD) e la spettrometria di massa: abbiamo pubblicato centinaia di articoli e diverse monografie in queste specifiche aree. Quindi direi nel contesto dell'essere orgoglioso di contributi chimici questi sono quelli che sono risultati i più duraturi.

Intraprendere carriere sia nell'accademia che nell'industria

Hai ricoperto posizioni di primo piano nel settore industriale e accademico. Quali sono le tue opinioni sulla loro interazione?

Queste sono cose di cui ho parlato molte volte e di cui tratterò in modo interessante quest'anno in un paio di conferenze importanti. Una di queste sarà all'Accademia Austriaca di Scienze, solo pochi giorni prima del mio 85esimo compleanno. E il titolo sarà (lo sto traducendo perché darò quella conferenza in tedesco) "Bigamia professionale, virtù o peccato?" Sto parlando proprio della tua domanda, che descrive una situazione che si verifica sempre più frequentemente, in particolare negli Stati Uniti. Una volta ciò era vero anche in Germania, prima della guerra. Se tu pensi a persone come Fritz Haber o Adolf Butendandt in Germania o Leopold Ruzicka, in Svizzera, erano tutti davvero coinvolti sia nell'industria che nel mondo accademico. In questi paesi ciò era comune, ma non negli Stati Uniti.

Più tardi, divenne comune anche negli Stati Uniti che i professori potevano lavorare come consulenti, ma fu davvero solo quando l'industria della biotecnologia è fiorita che questa relazione di bigamia si è andata verificando più frequentemente. Ma molto prima, già nei primi anni '60, potrei essere stato uno dei primi che avevano posizioni formali concorrenti come vicepresidente e poi presidente in una compagnia oltre a essere professore di chimica organica. Questo era possibile a Stanford, un'università privata che lo permetteva. Non avresti potuto farlo per esempio nella vicina Università della California, che era un'università statale. A Stanford fui incoraggiato in

quel momento dall'allora Rettore Fred Terman, che molti considerano il fondatore della Silicon Valley. Ecco perché era così interessato a portarmi a Stanford, perché già sapeva che venivo dall'industria. A quel tempo, lo Stanford Industrial Park era prevalentemente incentrato su elettronica e fisica, e non c'era la chimica o la biologia, anche se Stanford aveva già un'importante scuola medica. Quindi erano interessati ad attirare qualcuno che potesse portare lì quel tipo d'industria. La Syntex fu una delle prime e alla fine una delle più grandi realtà industriali biomediche nella Silicon Valley.

Quindi, sono un credente in questo tipo di bigamia, ma uno deve stare molto attento, e penso che debba essere una bigamia aperta, che deve essere molto trasparente: devi sapere esattamente che cosa si sta facendo. Sono stato in grado d'indulgere in questo lusso in un modo in cui molte persone non possono, perché ho completamente separato il mio lavoro nei due campi. Quello che ho fatto nell'industria, alla Syntex, in Zoecon e in altre aziende che ho contribuito a creare, non aveva nulla a che fare con la mia ricerca accademica. Non ho brevettato nulla nella mia ricerca accademica. Non c'era conflitto d'interessi, perché quello che ho fatto a Stanford – diciamo spettrometria di massa, metodi chirottici e altre ricerche sui prodotti naturali – non avevano niente a che fare con ciò che la Syntex e la Zoecon stavano facendo.

Questo è un lusso che la maggior parte delle persone non può permettersi. La maggior parte delle persone si trova in entrambe le aree, perché stanno usando la loro esperienza e ciò che hanno scoperto all'università, e poi provano a tradurlo nell'industria. E io penso che sia, dentro certi limiti, legittimo. Ma bisogna stare molto attenti, specialmente perché ciò ha ripercussioni sui propri collaboratori all'università. E alcune istituzioni lo fanno molto meglio di altre e penso che Stanford lo faccia molto bene.

Nel 1991 hai vinto la National Medal of Technology e chiuso il tuo laboratorio a Stanford. Per quali ragioni un chimico di successo vorrebbe chiudere il suo laboratorio?

Innanzitutto, la tempistica dei due eventi è stata solo una coincidenza; non avevano niente a che fare l'uno con l'altro. In realtà ho effettivamente chiuso il mio laboratorio un anno dopo, nel 1992. Avevo già deciso di chiuderlo nel 1985; ma non puoi farlo in un anno con una grande gruppo di ricerca, perché se prendi una decisione del genere non puoi semplicemente andare e dire agli altri "Il mio laboratorio chiude". Che cosa hai intenzione di fare con la ventina di persone che lavorano con te? Hai intenzione di calciare fuori studenti che lavorano a un dottorato di ricerca? Non era realistico. Quindi, i due eventi erano del tutto scollegati.

Ho scelto di chiudere il mio laboratorio nel 1985 quando mi è stato diagnosticato un caso molto serio di cancro al colon. Prima di conoscere la

prognosi post-operatoria, ero molto depresso, e per la prima volta pensavo alla mortalità. Stranamente non avevo mai pensato alla morte prima, non che non credessi di poter morire. Ma supponevo che fosse ancora molto lontano. Avevo allora 62 anni ed ero stato molto sano, a parte il mio incidente sciistico che coinvolgeva la mia gamba con la conseguente fissazione del ginocchio. Allora non pensavo alla morte. Non pensavo che sarei morto domani, il prossimo anno, il prossimo decennio. Mio padre morì a 96 anni in un incidente. Mia nonna materna ne aveva 101. Anche mia madre morì solo a 91 anni, quindi, puoi immaginare, non pensavo di essere ancora pronto a morire. E poi improvvisamente mi sono reso conto che chissà per quanto tempo sarei vissuto? Nel cancro parlano sempre di circa cinque anni: se si può sopravvivere per cinque anni allora presumibilmente il cancro era stato estirpato. E ho pensato: beh, se avessi saputo cinque anni prima che mi sarei ritrovato con il cancro, avrei condotto una vita diversa durante questi ultimi cinque anni? E la mia risposta a me stesso fu un sì. Mi son detto, bene, Carl Djerassi, ora lo sai. Forse hai solo cinque anni o meno di vita. Che cosa hai intenzione di fare al riguardo? Ho deciso che volevo vivere un'altra vita intellettuale: molto diversa. E ho quindi deciso d'interrompere con la ricerca, ma non l'avrei detto a nessuno, perché sarebbe stato molto demoralizzante per i miei studenti. Quindi ho semplicemente deciso di non prendere più studenti per il dottorato, e per quelli che stavano lavorando con me, la quantità massima di tempo che sarebbero rimasti con me sarebbe stato di circa di cinque anni per ottenere il loro dottorato di ricerca. E poi avrei ancora accettato alcuni borsisti post-dottorato in quel periodo, perché loro stavano solo per uno o due anni. E a quel punto sarebbe finito. Così, dal 1989, quando ho iniziato davvero a ridurre le dimensioni del mio gruppo di ricerca su una scala sostanziale ho scritto la prima autobiografia. Ho scritto il mio primo romanzo, *Cantor's dilemma*, [5] che, per inciso, è stato pubblicato tre anni fa in italiano da Di Renzo Editore in Roma, e questo editore ha poi pubblicato anche le traduzioni italiane di tutti i miei altri romanzi. Nel 1992, i miei ultimi due studenti laureati hanno ottenuto il loro dottorato e ho chiuso il mio laboratorio. Non che mi sia ritirato da Stanford. Ho solo deciso di non fare più ricerca perché questo richiedeva un'enorme quantità di tempo creativo, e preferivo spenderlo come un autore piuttosto che come un chimico.

Vedere la Chimica nell'Arte

Come collezionista di opere d'arte e sostenitore di artisti, ti piace il bello. C'è chimica nell'arte: c'è arte nella chimica?

Beh, c'è chimica nell'arte, ma non credo che tu lo intenda in termini della chimica dei colori, per esempio. Allora lascia che ti risponda facendo tutto

un giro. Nel mio ultimo libro, intitolato *Four Jews on Parnassus—A conversation*, [6] che è stato recentemente pubblicato dalla Columbia University Press, tratto del processo di canonizzazione: quand'è che una persona diventa famosa, quand'è che un'opera d'arte diventa famosa? Un'opera d'arte diventerà davvero famosa solo per le sue componenti estetiche e tecniche, ma in particolare quelle estetiche, o magari anche quelle metaforiche, e non so dove questo possa risultare nel confronto con la chimica. Voglio dire, per un chimico alcune strutture chimiche possono risultare esteticamente molto belle, ma non ce sono poi molte, intendo non migliaia e migliaia tra i milioni di prodotti chimici. La maggior parte di essi, esteticamente parlando, appaiono alquanto noiosi. A parte alcune preferenze personali, ti puoi inventare alcune strutture proteiche tridimensionali molto intriganti o puoi considerare i fullereni, che possono piacere al pubblico in generale, ma queste sono minoranze. Per me, la chimica nell'arte è una componente tecnica. Quando si tratta di estetica, può essere applicata ai chimici, ma non al pubblico in generale e non penso alla maggior parte degli artisti. Ora quando dici "c'è arte in chimica?" puoi farne un dibattito. È interessante che Escher, l'artista olandese, sia uno dei preferiti dei chimici, in particolare degli stereochimici, perché nel lavoro artistico di Escher, ritrovi certi elementi di stereochimica. Ti farò un altro esempio: avevo nel mio ufficio a Stanford un dipinto a olio molto grande di un artista svizzero molto noto e rispettato, Lenz Klotz. L'ho visto una volta sul muro del Museo Guggenheim a New York nel 1960, e sono rimasto molto colpito da quell'artista astratto. A me sembrava un'esplosione in una camera a nebbia. Ho un altro lavoro a casa, un grande dipinto a olio di un artista californiano, Lee Mullican, che ho visto una volta nel Museo di Arte Moderna di San Francisco. Nel lavoro di Mullican ho visto tutti i tipi di simboli chimici che forse lui non ha mai visto. Non sapeva che fossero lì dentro. Ecco, quello che sto dicendo è che il chimico Carl Djerassi ha visto immagini davvero scientifiche in questi dipinti. Uno dei disegni di Paul Klee che possiedo mi sembra molto chimico. Forse ho mancato la tua domanda nel senso metaforico rispondendo in modo troppo specifico. Non riesco a vedere una grande relazione tra chimica e arte, che è strano dal momento che sono un gran collezionista di arte e molto coinvolto con essa.

Aspetti politici e culturali dei successi in Chimica

Tra le molte onorificenze, hai ricevuto la National Medal of Science dal presidente Nixon. Perché nello stesso anno sei stato incluso nella lista dei nemici di Nixon?

Non nello stesso anno, ma nel giro di due settimane da quando ho ricevuto la National Medal of Science – e questo è stato molto divertente.

Ero nella lista dei “Nemici della Casa Bianca” per una semplice ragione: ero molto contrario alla guerra del Vietnam. Ed io ero molto franco su questo, e apparentemente c’era questo elenco dei nemici della Casa Bianca, durante i giorni paranoici di Nixon che ha raccolto i nomi degli avversari alle sue politiche. Ed era una lista illustre, mi ricordo che Alexander Calder era uno dei nomi su di essa. Ma, naturalmente, non sapevo di essere in quella lista. Era tipo una lista segreta e presumibilmente coloro che ci avevano lavorato avranno provato a fare qualcosa d’altro oltre la raccolta dei nomi, magari esaminando i registri delle imposte sul reddito delle persone, per cercare di dimostrare che avevano fatto qualcosa d’inappropriato, e così via.

In realtà era tutto teorico. Ma poi quando ho ricevuto la National Medal of Science nel 1973, accadde proprio lo stesso giorno in cui il Vicepresidente Agnew si dimise, che è stato un giorno sensazionale negli Stati Uniti. E fu davvero sorprendente il fatto che Nixon doveva sapere che il suo intero castello di carta stava per crollare. Ciononostante, sorrideva consegnando alla Casa Bianca la National Medal of Science alle persone e mi ricordo che mi ha rivolto una domanda idiota. Mi ero promesso di non sorridergli, ma non ho potuto evitarlo dato l’oggetto della nostra conversazione.

In tutte le fotografie sono apparso sorridente perché mi ha chiesto come sarebbe andato a finire l’incontro di football tra Stanford e l’Università della California. Ma il football americano mi lascia completamente indifferente. Questo a causa della mia gioventù in Europa: per me, il football era il calcio, mentre il football americano mi sembrava solo un gioco noioso di persone enormi, dove la maggior parte delle volte non succede niente. Ho detto solo, “Non lo so”. E abbiamo riso entrambi. E poi i giornali ovviamente scoprono che c’era una lista dei nemici della Casa Bianca e così è successo che a causa della tempistica, ero lì che stavo prendendo la National Medal of Science da Nixon e probabilmente non sapeva che fossi sulla sua lista di nemici. Nei giornali di San Francisco è stato riportato con un titolo meraviglioso: “Nixon dà la medaglia al nemico”, il che è stato molto divertente.

Hai scritto “Stiamo assistendo a una graduale separazione tra sesso e fecondazione”, [7] e siamo in un’epoca di riproduzione meccanica. Che ruolo ha avuto la Pillola nella promozione dei diritti riproduttivi?

La separazione tra sesso e fecondazione è l’argomento principale delle mie attuali conferenze scientifiche e di alcune delle mie opere. “An immaculate misconception” [8] è la prima opera teatrale che io abbia mai scritto che ormai è stata tradotta in una dozzina di lingue. Ma il mio ultimo spettacolo, “Taboos”, che tratta della paura delle persone riguardo a questa imminente

separazione, ha avuto la sua prima americana nel Settembre 2008 a New York presso la SoHo Playhouse e un mese dopo in un posto lontano come la Bulgaria (in realtà ha avuto la sua anteprima mondiale a Londra nel 2006). I tabù sono anche il soggetto di un libro che era stato pubblicato nel luglio 2008 dalla University of Wisconsin Press sotto il titolo *Sex in an age of mechanical reproduction*. [9]

Mi chiedi “qual è stato il ruolo della Pillola sulla promozione dei diritti riproduttivi?” In termini di diritti riproduttivi è abbastanza ovvio, perché permetteva alle donne fertili di separare il rapporto sessuale dalla contraccezione. Fino ad allora sesso e riproduzione erano sempre connessi e questa separazione è vera solo per la pillola e per dispositivi intrauterini, che sfortunatamente non sono molto popolari negli Stati Uniti anche se sono ampiamente utilizzati in altri paesi, in particolare la Cina. Mettendolo in un altro modo, la pillola consentiva alle coppie di fare sesso senza le conseguenze riproduttive. Ma il contrario, la riproduzione senza sesso, divenne possibile solo nel 1977 dall’invenzione della fecondazione in vitro di Edwards e Steptoe in Inghilterra. In cifre questo significa che circa cento milioni di donne usano la pillola in qualsiasi momento, mentre nel caso della fecondazione in vitro, dal 1977 sono nati almeno tre milioni d’individui che sono stati concepiti senza rapporto sessuale. Quindi queste sono cifre molto rilevanti.

Ma la vera separazione tra sesso e fecondazione è stata dimostrata inequivocabilmente nel Paese in cui siamo ora seduti, l’Italia. Perché L’Italia ha uno dei tassi di natalità più bassi, circa 1,2–1,3 bambini per famiglia, con la Spagna a circa lo stesso livello. Un denominatore comune tra la Spagna e l’Italia è che sono entrambi Paesi ufficialmente cattolici. Ho detto “ufficialmente”. Com’è possibile avere 1,2 bambini per famiglia senza la separazione totale tra sesso e fecondazione? Sugerire che le persone in Italia non praticano più rapporti sessuali dopo aver avuto i loro 1,1 figli sarebbe naturalmente assurdo. Quindi la mia risposta alla tua domanda è in realtà, “Chiedi a qualsiasi italiano e spagnolo come fanno”. La separazione tra sesso e la fertilizzazione è illustrata in modo più netto in questi due Paesi di qualsiasi altro Paese fatta eccezione per la Cina, che ha ufficialmente una politica di un bambino per famiglia. Chiaramente, la pillola ha avuto un effetto enorme, ma non esclusivo. E io ritengo la fertilizzazione in vitro essere un’altra componente molto importante.

Consigliare i consiglieri

Nei tuoi scritti hai dimostrato che gli scienziati hanno gli stessi limiti di tutti gli altri esseri umani. Alcuni tra noi condividono la sfortuna di essere sfruttati durante i primi anni della carriera universitaria dai nostri supervisori. Com’è possibile migliorare la “cultura tribale” degli scienziati? Che ne pensi di un codice di condotta per i professori?

Tu qui parli in realtà del rapporto tra studenti laureati e borsisti post-dottorato con i professori. Questa è una questione molto complicata, una questione che sfortunatamente non viene affrontata nel nostro insegnamento scientifico, certamente non in chimica. Le persone imparano queste cose solo dall'esperienza umana, a volte in modo positivo o addirittura più frequentemente in modo negativo quando il danno è già stato fatto. Questo è stato uno dei motivi principali per cui ho scritto la mia tetralogia "science-in-fiction", in particolare il mio primo romanzo, *Cantor's dilemma*, [5] e in una certa misura anche alcuni dei componenti del secondo, *The Bourbaki gambit*. [10] Con mia soddisfazione, *Cantor's dilemma* è diventato un libro di testo o lettura consigliata in molte università e college, in alcuni posti anche all'ultimo anno delle scuole superiori perché è la descrizione, davvero molto realistica, di entrambi gli aspetti positivi e negativi di questa relazione mentore-discepolo. Quest'ultimo è un componente molto importante della cultura scientifica e in molti aspetti differisce fundamentalmente da quello delle scienze umanistiche, eppure ne parliamo molto poco.

Ho avuto la seguente esperienza molto personale nella mia famiglia. Sono stato sposato tre volte; la mia terza moglie, Diane Middlebrook, con la quale sono stato sposato per 20 anni prima che morisse recentemente, era professore di letteratura inglese a Stanford. Così lei era negli studi umanistici, mentre io ero in chimica. Non aveva mai avuto niente a che fare con i chimici prima, e seppur anche lei avesse molti studenti laureati, era davvero stupita che il mio nome apparisse sulle pubblicazioni dei miei studenti laureati. Lei disse: "Io non lo faccio, i miei studenti pubblicano il loro lavoro di tesi da soli". Abbiamo discusso i pro e i contro di questa pratica e le ragioni dietro questa differenza tra le due discipline accademiche che ho descritto fino all'ultimo dettaglio in *Cantor's Dilemma*. È un romanzo che è stato ristampato almeno una volta all'anno. È stato pubblicato in edizione economica nel 1991 ed è ora alla sua 24^a tiratura.

E ora alla tua domanda su un codice di condotta dai professori. In teoria sono un grande sostenitore dei codici di condotta, allo stesso modo in cui ogni medico dovrebbe sottoscrivere il giuramento di Ippocrate. Ma la mia sensazione è che tali codici non avrebbero un grande impatto. Una persona intrinsecamente retta sotto il profilo etico si comporterà in modo eticamente corretto non perché ci sia un codice di condotta scritto, ma perché gli sono state insegnate le basi del comportamento etico e lo pratica in tutte le occasioni. Il giuramento di Ippocrate o un codice di condotta per i professori non impedisce il comportamento non etico da parte di coloro che lo violano. Nella migliore delle ipotesi, offrono alcune linee guida alle persone che, da sole, non prestano molta attenzione alle considerazioni sul comportamento etico.

Un codice di condotta per gli scienziati è stato pubblicato dalla National Academy of Sciences, e la American Chemical Society ha fatto qualcosa di simile per i chimici, ma direi che il 99% di tutti gli studenti laureati non li abbia letti e quindi non conoscono cosa contengono. È come tenere a qualcuno una lezione sulla riproduzione umana all'età di 10, o 12, o 14 anni, e che questa sia l'intera educazione sessuale che ricevono per il resto della loro vita, piuttosto che una spiegazione continua, logica e graduale della riproduzione e della sessualità umana. Una volta ho pubblicato su *Chemical & Engineering News* [11] una proposta molto seria sull'argomento "Chi supervisionerà i supervisori?". In altri termini, chi esaminerà i professori nel contesto della loro capacità di mentori, che è davvero ciò di cui stai parlando qui, il codice di condotta per i professori. E questo è quello che non facciamo.

Alla Stanford University, abbiamo valutazioni continue dagli studenti in corso. Ogni semestre gli studenti ricevono un foglio da compilare e valutano l'intero contenuto del corso, la capacità di insegnare del professore, la correttezza della valutazione, l'ampiezza e la profondità del corso e così via. E i professori non lo vedono, perché è presentato in modo anonimo all'ufficio del Rettore. I professori ricevono i risultati riassuntivi, e a volte sono abbastanza devastanti, ed è appropriato che sia così. Nelle nostre procedure di promozione dipartimentali, prendiamo in considerazione queste valutazioni degli studenti. Eppure, non facciamo nulla riguardo alla capacità di fungere da guida dei professori con studenti laureati. In parte perché siamo preoccupati che i professori possano indovinare chi tra gli studenti laureati abbia compilato il questionario, visto che ora stiamo trattando con numeri molto più piccoli. Accoglierei volentieri la proposta di una maggiore valutazione perché ancora non insegniamo ai professori come essere buoni consiglieri. Ci si aspetta che acquisiscano questa capacità da soli. Fondamentalmente è come aspettarsi che coloro che diventano genitori per la prima volta imparino da soli come essere dei buoni genitori, senza dare loro consigli su come farlo. Questo è un problema estremamente serio che non viene affrontato in molti Paesi e nella maggior parte delle istituzioni. Quindi, per approfondire questo aspetto suggerirei di leggere i miei romanzi.

Sesso, riproduzione e femminismo

Il sesso è un altro argomento ricorrente nei tuoi scritti, e l'erotismo riempie il vuoto esistenziale in molti di noi nella società industrializzata. Come è accaduto per l'impero romano, è questo un segno del declino della civiltà occidentale?

Io non lo penso affatto. Perché se fosse il declino del resto della civiltà allora direi che si presuppone che il sesso abbia solo una funzione, e questa

sia la riproduzione. E ovviamente io non lo credo affatto. Una delle cose che ci separa con poche eccezioni da milioni di altre specie, è che noi umani potremmo avere sesso 365 giorni all'anno. Non voglio dire che lo facciamo ogni giorno, ma noi siamo biologicamente in grado di farlo mentre la maggior parte delle specie non lo sono. La maggior parte delle altre specie può avere rapporti solo quando è stimolato fotochimicamente o in altro modo e quindi pronto per la riproduzione. I cani sono uno dei migliori esempi. Fondamentalmente copulano due volte all'anno quando la femmina è pronta per la copolazione e il maschio allora ovviamente risponde a questo.

Quindi penso che la sessualità, il sesso e il piacere nel sesso, siano importanti. Naturalmente comprende tutto, dallo sfruttamento ai rapporti d'amore intimi. E va trattato in questo modo. Hai ragione; è un argomento a cui mi sono dedicato in molti romanzi. Nel mio ultimo libro, *Four Jews on Parnassus—A Conversation*, [6] lo faccio forse nel modo più intellettuale, perché contiene un capitolo intitolato "Pornografia in un'epoca di riproduzione tecnica". Quello di cui sto realmente parlando è la differenza tra pornografia ed erotismo e questo è ovviamente il modo in cui ottieni una transizione dagli aspetti molto positivi di un rapporto sessuale frutto di attrazione agli aspetti più negativi, in particolare quelli che coinvolgono lo sfruttamento. Quindi, ritengo, ciò di cui stai veramente parlando qui è lo sfruttamento. Io sono molto attento a differenziarli.

Penso che tu abbia ragione: ognuno dei miei romanzi e quasi tutti i miei spettacoli, ha una componente erotica. Ma ti sfido a trovarne uno che coinvolga lo sfruttamento. O se è una situazione di sfruttamento, di solito viene usata per illustrare ciò che non si dovrebbe fare. Quindi, è un argomento che ho scelto deliberatamente. È interessante considerare che un buon numero di persone mi abbia criticato a questo proposito. Ricordo ancora quanto fosse irritato un recensore di *Cantor's Dilemma* in *Nature* riguardo alcune delle mie allusioni sessuali. E poi uno scienziato molto illustre, che non conoscevo personalmente, ha scritto una tale netta confutazione che mi sono ritrovato con due opinioni totalmente contrapposte su questo argomento in *Nature*, il che ha sostanzialmente risolto la questione per il meglio.

Sei un sostenitore delle posizioni femministe: hai qualcosa da farti perdonare dalle donne?

Non credo: penso piuttosto che sia l'opposto. Credo di essere fondamentalmente un maschio-femminista. Non che io lo sia diventato così in senso formale fino a probabilmente abbastanza tardi nella vita quando ho sposato la mia terza moglie che teneva a quel tempo la Cattedra degli Studi Femministi a Stanford. Senza dubbio potresti quasi dire che ho ottenuto la

mia esposizione accademica sull'argomento a letto. Ma se si chiede "Qual è la definizione del femminismo?" si otterrebbero molte risposte accademiche. La definizione di mia moglie era: è una questione di relazioni di potere. E aveva assolutamente ragione. La questione delle relazioni di potere tra uomini e donne è un argomento che è diventato una componente prepotente di ognuno dei miei romanzi. In realtà l'ho trattato in particolare nell'introduzione al mio terzo romanzo, *Menachem's seed*, [12] dove mi rivolgo alla natura patriarcale, fallocentrica di gran parte del nostro comportamento tribale.

Per esempio, denuncio gli ostacoli per le promozioni delle donne nelle professioni. Posso anche suggerire come migliorare la situazione? Sì, penso che non sia abbastanza che siano solo le donne a farlo. Penso che sia cruciale che siano anche gli uomini a farlo. Ed è per questo che ero così interessato a insegnare nel corso di studi femministi di Stanford anche se non sono riuscito in un aspetto: volevo avere un sacco di uomini nella mia classe e non ci sono mai riuscito. Erano sempre per lo più donne. E penso sia cruciale che ci siano gli uomini. Questo è uno dei motivi per cui sono passato a scrivere fiction, perché questo è un argomento che affronto in molti modi diversi, in ciascuno dei miei romanzi e in alcune delle opere teatrali. Ma ritengo che la chiave per farlo sia l'esposizione degli uomini a queste problematiche. Penso che uno dei problemi nelle discipline dominate dagli uomini, con la chimica che ne è un buon esempio, è che sono campi difficili che richiedono molto addestramento.

Una donna è di solito alla fine degli anni 20 quando ottiene il dottorato di ricerca, e poi facendo qualche forma di post-dottorato e altri corsi di formazione si ritrova nella fase iniziale dei 30 anni prima che possa intraprendere una carriera professionale e se è ambiziosa, ambiziosa come la controparte maschile, si ritrova a lavorare 60-80 ore a settimana per sei anni, che sono gli anni in cui lei viene considerata per un'occupazione. Prima che se ne accorga, è a metà o sul finire dei trent'anni e durante quel periodo la maggior parte delle donne nelle discipline sperimentali non possono permettersi di avere figli. Non possono farlo finanziariamente o in termini d'impegno di tempo imposto su di loro. Eppure, la maggior parte delle società presuppone ancora che i primi anni di cura ed educazione di neonati e bambini piccoli sia a carico della donna.

Certamente è qui che dissento. Sono d'accordo che la donna deve dare alla luce il bambino, e che sarebbe meglio se lei potesse allattare il suo bambino per un po' di tempo, che generalmente è meglio dell'allattamento artificiale. Alcuni bambini hanno bisogno di avere una bottiglia molto presto, in quel caso puoi arruolare immediatamente l'uomo. Ma dopo ciò, può divenire benissimo un'occupazione congiunta. È diventato così in moltissime coppie moderne, ma ci sono ancora un sacco di esempi dove non

è questo il caso, e in particolare non nella società tradizionale. E penso che sia una delle cause di conflitto. Non solo le donne devono prendere una decisione tra una gravidanza e l'avanzamento professionale, ma ci sono molti datori di lavoro che considerano le potenziali gravidanze un fattore negativo nel decidere di assumere e promuovere le donne. Spesso, un datore di lavoro fa questo calcolo: “Se la assumo, e poi lei rimane incinta, prenderà un congedo per maternità per un anno; se lei dovesse avere un secondo figlio, questo è un altro anno e non possiamo possibilmente permetterci così tanto tempo di assenza per la maternità”. Alcuni Paesi riescono a gestirlo molto meglio e direi che i Paesi Scandinavi sono un buon esempio di come farlo al meglio, mentre altri Paesi lo stanno facendo in modo molto meno efficace.

Motivazione, progetti e piani futuri

A vent'anni tu e i tuoi collaboratori avete sviluppato un antistaminico di successo, la tripelenamina. Inoltre, hai avuto successo in così tanti campi, compresi gli sport, dove hai scalato montagne, incluso l'Himalaya ad un'altitudine di oltre 4000 metri, nonostante il tuo ginocchio bloccato. Da dove provengono le tue motivazioni? Hai raggiunto così tanti obiettivi a causa degli studi che hai fatto, perché sei un maniaco del lavoro, o per cause ambientali di concorrenza creativa?

Certamente, non è per gli studi che ho fatto. Ho lavorato in molti campi diversi, perché intellettualmente sono sempre stato una persona di orientamento poligamo (Figura 2). Ma penso di aver anche scelto buoni argomenti. Sono stato fortunato in molti casi e hai bisogno di fortuna e del giusto tempismo. Il lavoro duro e intelligente da solo non porta necessariamente al successo. Ma sono principalmente i seguenti due motivi: sono un maniaco del lavoro e gli aspetti competitivi dell'impresa scientifica mi hanno infettato. Sono contento che stiamo finendo l'intervista con questo argomento, perché ambizione e competizione sono le due componenti chiave della cultura scientifica e non sono tutti positivi. Per me, ne scrivo perché scrivere questi romanzi e opere teatrali è diventata una sorta di auto-psicoanalisi. Non c'è dubbio alcuno che io sia diventato molto più riflessivo nei confronti delle mie stesse pratiche comportamentali, che forse sono un po' estreme, ma sono tipiche di tutti quelli che sono miei colleghi nella stessa “cultura tribale” della scienza e in particolare della chimica. E ne ho scritto al riguardo nella mia fiction come una forma di mea culpa, perché la penso così cioè che la dipendenza dal lavoro può essere produttiva per la scienza, ma non per una vita piena.



Figura 2. Il “poligamo intellettuale” Carl Djerassi, nel 2008.
Fotografia di Isabella Gregor; riprodotta con il permesso.

Oltre al lavoro, ci sono altre cose importanti nella vita. Un esempio che insegna è che negli ultimi 10 anni non sono andato in vacanza; l'ultima volta che sono andato in vacanza è stato a metà degli anni '90. È una cosa ridicola da dire agli Europei che ogni anno vanno quattro, cinque, o sei settimane in vacanza. Guardavo alle vacanze in un certo senso in modo macho: “ah, tutto quello che sanno fare è andare in vacanza”. Ma tutto sommato è stupido da parte mia dirlo; dovrei farlo di più io stesso. C'è più nella vita oltre che lavorare sempre per tutto il tempo, perché anche se lavori tutto il tempo non puoi realizzare tutto ciò che tu vuoi fare. Quindi potresti essere più realistico ed essere selettivo e renderti conto che non è solo la tua vita personale in gioco, ma anche le tue relazioni con altre persone, che si tratti della tua famiglia, di amici o conoscenti, che sono influenzati dalla tua dipendenza dal lavoro. Io ora accetto questa filosofia completamente anche se non la metto in pratica per niente. Spero sempre che migliorerò l'anno prossimo. Ma almeno, attraverso i miei scritti spero d'influencare le altre persone, dicendo che c'è di più nella vita oltre che il solo puro e continuo lavoro. Ma in questo caso, ci dovrebbe essere un giudizio di valore stabilito dalle istituzioni accademiche, e loro non lo fanno.

Negli Stati Uniti ci aspettiamo che gli studenti laureati in chimica lavorino sette giorni alla settimana e che siano in laboratorio la sera. Quasi tutti i professori nelle migliori università di ricerca che vanno in giro alla sera e se non ci trovano i loro studenti laureati vengono pervasi da una forma di sentimento negativo. Ti darò un esempio molto pertinente. Nonostante quello che ho detto, come studente laureato io non ho mai lavorato in laboratorio di notte. Ero già sposato, e in quel momento ho sentito, che non avevo intenzione di farlo. Certo, è stato tanto tempo fa. Ma ero molto ben organizzato. Così, durante il tempo trascorso in laboratorio, lavoravo ininterrottamente dalle otto alle diciotto. Ma non sono mai tornato di notte e non passavo il fine settimana in laboratorio. Stavo lavorando forse 45 ore o 50 ore a settimana, ma certamente non le suddette 60 o 80 ore. Ma anche questo non è del tutto corretto, perché poi ho lavorato anche a casa. “Lavoro” non significa solo lavorare in laboratorio; potrebbe anche essere leggere letteratura scientifica o scrivere articoli.

Ricordo ancora una splendida conferenza a Stanford che presiedetti, con sei oratori eccezionali, uno di loro che era forse il miglior giovane chimico organico negli Stati Uniti in quel momento (non dirò il suo nome, perché è molto famoso), e lui ha fatto una conferenza davvero brillante. Il suo ex mentore, un professore più anziano, era anch'esso uno dei relatori. Mentre eravamo in giro in piedi durante l'intervallo, mi sono rivolto all'uomo più giovane dicendogli:

“Come sai, questa che hai presentato è stata una lezione molto bella. Se fossi uno studente giovane, diciamo di 22 anni, mi piacerebbe molto lavorare con te. Ma voglio farti una domanda seria. Non è uno scherzo e non ti lusingherò. Supponiamo che io venissi da te e dicessi, il mio nome è Carl Djerassi e attraverso una qualche magia puoi convertirmi in uno studente di 22 anni ma sai che diventerò l'attuale Carl Djerassi (che lui stesso ammira: il mio lavoro gli piaceva e lo rispettava), e quindi saresti orgoglioso di aver avuto me come uno dei tuoi studenti. E vengo da te e dico, Professore, mi piacerebbe lavorare con lei ma intendo chiarire alcune cose: non lavorerò di notte in laboratorio, non verrò nei fine settimana, ma farò in modo di essere presente la mattina presto. Non andrò fuori per il caffè né mi prenderò alcuna pausa pranzo. Io commetterò uno dei peggiori peccati: avrò un panino in laboratorio mentre sto lavorando; o se qualcosa sta andando a riflusso, non starò a guardarlo rifluire ma porterò avanti un secondo esperimento allo stesso tempo, cioè sarò molto ben organizzato e produttivo ma vengo in laboratorio solo 45 ore. Allora, mi prenderà con lei?”

Prima ancora che il giovane chimico organico rispondesse, il suo professore disse: “Sì, io ti prendo”. Risposi: “Non l'ho chiesto a lei, l'ho chiesto a

quest'uomo." Perché quell'uomo aveva circa trent'anni ed era famoso per andare al laboratorio alle sei del mattino e andare via la sera tardi. Aveva circa 30 studenti laureati e post-dottorato e ha capito che lo stavo testando. Si è preso un po' di tempo prima di dire "Sai, sono tentato, ma la risposta è no. Non ti prenderei perché anche se tutto quello che dici è vero, non puoi fare tanto lavoro nelle tue 45 ore quanto quello che posso ottenere dagli altri studenti in 80, e voglio quel tipo di lavoro da loro". In altre parole, li stava usando come coppie virtuali di mani in una forma di schiavitù volontaria, che così tanti studenti universitari fanno in questi giorni e a cui io fondamentalmente obietto. Anche se a modo mio sono un maniaco del lavoro, non mi aspetto la stessa cosa dai miei studenti, ma la maggior parte dei miei colleghi lo fa. E questo, penso, è uno dei problemi più gravi e l'unico modo in cui possiamo risolverlo è quello di cambiare l'attuale cultura in laboratorio.

Quali altri importanti traguardi hai in programma nel futuro?

Sto lavorando tutto il tempo, davvero sette giorni su sette. Ora sto per lo più scrivendo, ma se guardi anche il mio programma di conferenze, dirai che è uno dei più pazzi che tu abbia mai visto: ogni paio di giorni un altro paese, un'altra città. Ma adesso questa è la mia forma di terapia per la tremenda perdita di mia moglie nel dicembre 2007. La trovo lavorando tutto il tempo e incontrando nuove persone durante i miei viaggi; non vado in giro a lamentarmi per i miei problemi personali. Ma sono uno scrittore e naturalmente ho molte altre cose di cui voglio davvero scrivere, che ho già nella mia testa, quindi è quello che sto facendo ora. E le mie conferenze sono delle vere presentazioni, perché io uso materiale audiovisivo, uso la musica, uso le letture drammatiche, perché voglio toccare tante più persone possibile attraverso la mia scrittura, e voglio incoraggiarle ad andare a leggere quello che sto scrivendo. Non sono così interessato a che comperino i libri, non m'interessa se li leggono in una biblioteca, o li fotocopiano o li rubano. Ma ho qualcosa da comunicare nei miei libri e nelle opere teatrali e voglio che le persone leggano i testi o guardino le opere teatrali, quindi questo è quello che faccio.

Per perseguire la tua illustre carriera in chimica organica hai dovuto lavorare così tante ore ogni settimana. Pensi che lavorare così tanto ti abbia portato ad avere una vita equilibrata? Se così non fosse, questo spiegherebbe perché così poche donne sono chimici al livello che tu hai raggiunto?

Come ho già affermato, la risposta alla prima parte della tua domanda è assolutamente no. Non conduce a una vita equilibrata. In una certa misura può essere uno dei motivi per cui ci sono ancora relativamente pochi chimici

donne ai massimi livelli. Nelle scienze fisiche, una grande proporzione di donne lascia il mondo accademico dopo essersi guadagnate il dottorato di ricerca, perché si rende conto che dovranno competere con i giovani uomini che sono totalmente coinvolti in attività per giornate lavorative di 16 ore, e molte donne non vogliono farlo. Questo probabilmente è il motivo per cui la maggior parte di queste donne lavora nell'industria, dove l'orario di lavoro è fisso, e in particolare nelle aziende gestite in modo intelligente, dove c'è una solida struttura di supporto, sia rispetto al tutorato all'interno dell'organizzazione e nell'offrire compromessi per le donne che non vogliono essere penalizzate nel diventare madri. Alcune aziende hanno anche servizi di assistenza all'infanzia in loco. Se fornisci una struttura di supporto e tratti le donne in modo equo, allora credo che resteranno. Ma in questo momento nell'accademia non facciamo granché in chimica a questo riguardo.

Una domanda personale e molto delicata: hai fondato il DRAP (Djerassi Resident Artists Programme) ispirato a due donne: tua figlia e tua moglie, Diane Middlebrook. È un modo per dare un senso al profondo dolore provocato dalla loro scomparsa?

La risposta è sì, ma dipende dal tipo di morte. E qui c'è una differenza fondamentale. Voglio dire che queste sono le due tragedie più grandi della mia vita. La morte di mia figlia 30 anni fa quando aveva 28 anni avvenne per suicidio. Il suicidio è una morte molto diversa dalla malattia o da un incidente. Per molti aspetti una malattia di lunga durata è l'opposto, perché allora ti aspetti la morte. Questo è stato il caso con mia moglie, con la quale vivevamo entrambi sotto una spada di Damocle, particolarmente negli ultimi tre anni, quando sapevamo che la morte stava arrivando. Ma che sarebbe morta prima di me risultò inaspettato perché era molto più giovane di me. Ci siamo adattati bene, allo stesso modo in cui ho dovuto far fronte al suicidio di mia figlia, che avvenne proprio quando avevo appena incontrato la mia terza moglie.

Un padre non si aspetta di sopravvivere ai suoi figli, è così quasi antibiblico, e in particolare in questo caso perché a quel tempo ero così vicino a mia figlia. Era sposata e viveva nella stessa proprietà, nel nostro ranch di famiglia, un'ora a piedi da casa mia, ma era di nostra proprietà e quindi molto intimo. (Anche mio figlio aveva una casa nella proprietà). La sua morte giunse totalmente inaspettata, perché avevo passato alcune ore del giorno precedente con lei a bordo della piscina e non c'era alcuna indicazione che fosse sull'orlo del suicidio. Il giorno dopo ho ricevuto una telefonata frenetica da parte di mio genero che m'informava che c'era una lettera che annunciava il suicidio che lo aspettava quando è tornato a casa. Era un medico e non sapeva cosa le fosse successo o dove si trovava. Quando finalmente ho trovato il suo corpo diversi giorni dopo e ho dovuto fare i conti con il fatto

della sua morte, mi sono completamente immerso nel lavoro; diversamente, non avrei potuto sopravvivere.

Ma il suicidio è una morte che ha uno scopo, e la persona che si suicida di solito invia un messaggio, a volte uno scritto, ma anche in sua assenza, i sopravvissuti dovrebbero essere in grado di capire cosa abbia provocato il passo irrevocabile. Volevo creare qualcosa di vivente dalla morte di mia figlia, non volevo costruire qualche memoriale o creare una tomba. Invece, abbiamo disperso le sue ceneri in una cascata nella nostra proprietà che lei e io avevamo scoperto, e dove avevo detto: quando morirò mi piacerebbe vedere le mie ceneri qui distribuite. Così questa è stata la mia risposta nel contesto della morte di mia figlia e perché ho fondato una colonia di artisti in sua memoria. Quando mia moglie è morta, ce lo aspettavamo, perché soffriva di una forma incurabile di cancro. Ora stiamo raccogliendo fondi per costruire un altro edificio per ospitare più artisti al DRAP, in modo che ci saranno ulteriori strutture per aumentare la capacità del programma di circa il 50%. In entrambi i casi, volevo creare qualcosa di nuovo che visse oltre la morte.

Ringraziamenti

Ringrazio Richard N. Zare dell'Università di Stanford per i consigli e i suggerimenti che mi ha dato per migliorare le domande per questa intervista e l'assistenza durante l'intervista.

Bibliografia

- [1] C. Djerassi, *Steroids make it possible*. American Chemical Society: Washington, DC, 1990.
- [2] C. Djerassi, *The Pill, Pygmy Chimps, and Degas' Horse*. Basic Books, New York, 1992; Chapter 11. See also C. Djerassi, C. Shih-Coleman, J. Diekman, *Science*, 1974, **186**, 596-607.
- [3] C. Djerassi, *This man's pill: Reflections on the 50th birthday of the pill*. Oxford University Press: New York, 2001.
- [4] C. Djerassi, *Current Comments* 1989, 24, 3-7. *Grand Street*, 1988, **8**, 167-174.
- [5] C. Djerassi, *Cantor's dilemma*. Doubleday: New York, 1989. Penguin: New York, 1992.
- [6] C. Djerassi, *Four Jews on Parnassus—A Conversation: Benjamin, Adorno, Scholem, Schönberg*. Columbia University Press: New York, 2008.
- [7] C. Djerassi, *Science*, 1999, **285**, 53-54.
- [8] C. Djerassi, *An immaculate misconception: Sex in an age of mechanical reproduction*. Imperial College Press: London, 2000.
- [9] C. Djerassi, *Sex in an age of technological reproduction: ICSI and taboos*. University of Wisconsin Press: Madison, WI, 2008.

[10] C. Djerassi, *The Bourbaki gambit*. University of Georgia Press: Athens, GA, 1994. Penguin: USA, 1996.

[11] C. Djerassi, *Chem. Eng. News*, 1991, **69** (47), 30-33.

[12] C. Djerassi, *Menachems same*. Haffmans Verlag: Zurich, 1996; *Menachem's seed*. Penguin: New York, 1998.

Messa a punto di metodiche per la preparazione e conservazione in liquido di materiale zoologico

Pierangelo Crucitti

Società Romana di Scienze Naturali – ente di ricerca pura
Campus di Villa Esmeralda - Via Fratelli Maristi 43, 00137 Roma
info@srsn.it

Premessa

L'Italia ha una grande tradizione nel campo delle esposizioni e collezioni scientifiche che vanno dalla Antropologia alla Zoologia passando per la Botanica, Geologia, Mineralogia, Paleontologia, Paleontologia e Preistoria e infine Storia della Scienza (Chiarelli e Simonetta, 2008). Materiali caratteristici di questi settori disciplinari sono conservati nei musei naturalistici, importanti serbatoi di raccolte ordinate e catalogate di oggetti di pregio artistico, storico, scientifico (Cipriani, 2006). La valenza di questi oggetti è imputabile a canoni estetici e importanza scientifica; quest'ultima è costituita da numerosi fattori tra i quali la rarità intrinseca e la quantità e qualità delle informazioni associate all'oggetto; data di raccolta e data di ingresso nella collezione, provenienza (toponimo e sue coordinate), modalità di acquisizione (acquisto, donazione, scambio; infine, reperimento nel corso di specifiche campagne di ricerca da parte del personale dell'istituzione museale o di altro ente o di privati). Contrariamente a quanto si ritiene, l'assegnazione di un nome scientifico al reperto è forse l'ultima cosa di cui preoccuparsi, prima o poi qualcuno lo studierà attribuendolo al *taxon* di appartenenza (famiglia, genere, specie, sottospecie). Non tutti i reperti conservati in un museo zoologico sono esposti; al riguardo, si devono distinguere i materiali lasciati nei magazzini, a disposizione dei soli studiosi specialisti (personale del museo incluso), dai campioni visibili nelle vetrine accessibili al pubblico, questi ultimi relativamente pochi ma spesso molto vistosi ad es. scheletri ed esemplari in liquido di grandi dimensioni.

Una delle tre *mission* di un grande museo di storia naturale, oltre alla conservazione e alla didattica (studio delle migliori forme di comunicazione verso i visitatori, in particolare studenti) è infatti la ricerca scientifica basata sull'esame dei materiali conservati nelle raccolte dell'istituzione (Cipriani, 2006). Emerge peraltro ormai da tempo un modo innovativo di vivere il museo; aperto e pienamente collaborativo nei confronti di un pubblico eterogeneo di visitatori che include non solo scienziati, studiosi e appassionati locali ma anche scolaresche, insegnanti e cittadini; partecipazione, creatività oltre all'introduzione di nuove tecnologie sono oggi più che mai

necessarie (Cariani, 2018). In una concezione allargata, il Museo moderno è luogo di promozione culturale; di formazione di professionisti del settore, aggiornamento di docenti, oltre che sede di corsi specialistici attinenti le discipline di indirizzo, ad es. zoologia dei vertebrati, anatomia comparata, museologia scientifica (Zuffi, 2002).

Le collezioni zoologiche

Le collezioni zoologiche possono costituire sezioni di collezioni più estese di norma conservate in musei di storia naturale di grandi dimensioni (ad es. *Natural History Museum* di Londra con oltre 70 milioni di esemplari organizzati in cinque collezioni principali: botanica, entomologia, mineralogia, paleontologia, zoologia) o, al contrario, costituire raccolte di soli reperti animali ospitate in musei dedicati (ad es. Museo Civico di Zoologia di Roma con circa 5 milioni di esemplari conservati); infine, importanti raccolte zoologiche possono essere ospitate nelle sedi di associazioni naturalistiche, dipartimenti universitari, enti parco e istituti scolastici. L'interesse storico di queste collezioni è oggi correlato soprattutto al dato negativo della scomparsa di moltissime specie, in Italia e altrove; la presenza di innumerevoli zoocenosi irrimediabilmente perdute è testimoniata esclusivamente dai reperti conservati nei musei (sia detto per inciso, questo vale non solo per le comunità animali ma anche per quelle vegetali: Magdalena, 2019). Le collezioni zoologiche costituiscono, oggi più che mai, importanti serbatoi di biodiversità; assumono un valore significativo come fonte di dati sulla distribuzione spaziale, stagionale e temporale delle diverse specie nell'area di cui la collezione è rappresentativa (Cariani, 2018). Se questi materiali sono in buone condizioni di conservazione e dotati di informazioni precise, la loro importanza risulta paradigmatica (Crucitti *et al.*, 2014). Anche le collezioni costituite da un modesto numero di reperti, ad es. la Collezione Vertebratologica "Benedetto Lanza" della Società Romana di Scienze Naturali (CVSRSN), dotata di poco più di 1200 esemplari, acquisiscono, alla luce dei moderni criteri di preparazione e ostensione dei materiali al pubblico, una notevole importanza; per il pregio estetico di molti reperti in ottime condizioni di conservazione nonché per il peculiare interesse storico, essendo costituite da materiali omogenei in base ad es. ai seguenti descrittori: periodo di raccolta (1968-2018), provenienza (Lazio, Campagna Romana a nord-est di Roma, Vicino e Medio Oriente, Sicilia, Sardegna), gruppi tassonomici rappresentati (Anfibi, Rettili, Mammiferi) (Crucitti *et al.*, 2017). Le collezioni di istituzioni scolastiche sono non di rado ricche di reperti interessanti (specie rare, localizzate, in declino) la cui adeguata ostensione è trascurata nella maggior parte dei casi; moltissimi reperti, spesso in condizioni precarie di conservazione, sono del tutto sprov-

visti di indicazioni precise in merito alla loro storia; tutto ciò è comprensibile se si considera la funzione esclusivamente didattica di queste raccolte e la scarsità di fondi destinati alle scuole superiori.

Modalità di conservazione e stato delle collezioni

La preparazione di materiale zoologico macroscopico in liquido costituisce una pratica dalla storia lunga e articolata che, a partire dalla seconda metà del XVII secolo, si estende sino all'avvento della moderna museologia naturalistica (Barbagli, 2002). La messa a punto di metodiche sempre più efficaci ai fini della conservazione di reperti zoologici ha determinato, in ultima analisi, l'enorme incremento di collezioni, sia pubbliche sia private, costituite da reperti interi di specie, anche di notevoli dimensioni. Prima dell'introduzione dell'uso dell'alcool da parte di Robert Boyle (1627-1691), gli esemplari venivano tutti disseccati, la qual cosa "alterava notevolmente gli animali più delicati" (Chiarelli e Simonetta, 2008). Peraltro il mantenimento in liquido non costituisce l'unica modalità di conservazione di campioni zoologici; limitandoci ai soli vertebrati, il ben noto manuale dello Zàngheri suggerisce, soprattutto per gli Uccelli, metodiche articolate che hanno come risultato finale la preparazione di un reperto completo di tutte le sue parti; a secco (riconoscibile dalla rigidità della pelle e da tutta la preparazione) ovvero tassidermizzato ed eventualmente (se montato su supporto in posizione di vita) naturalizzato, modalità suggerita anche per molti mammiferi; solo nel caso dei Chiroterri (pipistrelli), viene consigliata la conservazione definitiva in alcool; infine, i crani (Rettili, Uccelli, Mammiferi) conservati a parte, determinano una terza tipologia per modalità di preparazione e risultato finale; la collezione osteologica (Zàngheri, 1981). Recenti revisioni dello stato di importanti collezioni museali suggeriscono un trattamento più appropriato per numerosi campioni. L'esame delle collezioni di Pesci, Anfibi, Rettili e Mammiferi (limitatamente a Insettivori, Roditori e Chiroterri) del Museo di Storia Naturale dell'Università di Pavia ha permesso di confrontare lo stato dei preparati a secco e in alcool in funzione del danno e del tempo. In molti casi è stato evidenziato uno stato di conservazione migliore negli esemplari in liquido rispetto agli esemplari a secco che, nei Chiroterri, raggiunge valori significativi; nell'88% degli esemplari a secco si sono resi necessari interventi di restauro contro il 13% degli esemplari conservati in alcool (Maretti *et al.*, 2002). Con riferimento alla CVSRSN si potrà constatare come solo 16 esemplari su 1208 (1,3%) sono conservati a secco (cfr. Crucitti *et al.*, 2014) (Tabella 1).

Tabella 1. Modalità di conservazione degli esemplari della CVSRSN.

Classe	AMPHIBIA	REPTILIA	MAMMALIA
Modalità			
In liquido	309	387	248
A secco	-	16	-
Osteologica	-	3	245

Il vantaggio della conservazione in liquido consiste nel fatto che gli esemplari sono immersi completamente in una soluzione isolante oltre ad essere ulteriormente protetti dal contenitore e infine dalla vetrina/armadio in cui sono collocati; nel caso degli esemplari a secco di dimensioni medio-grandi (quelli di piccola taglia possono essere stivati in scatole di tipo entomologico), l'esemplare è esposto in piena aria all'interno di un armadio-vetrina. Indubbiamente l'alcool decolora, ma questo dipende anche dalla concentrazione della soluzione finale utilizzata; nella collezione CVSRSN sono presenti esemplari raccolti oltre mezzo secolo or sono che mantengono la colorazione originale. Del tutto sconsigliato è l'uso, come fissativo, della formaldeide o aldeide formica, gas incolore dall'odore pungente e altamente solubile in acqua alla cui prolungata esposizione sono stati positivamente associati cancro del nasofaringe e leucemia.

Sintesi terminologica

Nel contesto delle problematiche di base relative alle collezioni in liquido si rende necessaria una rassegna terminologica che definisca, una volta per tutte e senza ambiguità, epiteti e locuzioni in gioco. I termini *esemplare* e *reperto* possono essere considerati praticamente sinonimi, corrispondenti alla parola inglese *specimen* che indica appunto un esemplare *sui generis* che, se dotato di dati di riferimento (*reference*) e collocato in una collezione pubblica accessibile, dovrebbe essere designato come *voucher specimen*; nel contesto, un *tipo* è un particolare *voucher specimen* che serve come base per la descrizione tassonomica di una specie. È invece assolutamente sconsigliato l'uso del termine individuo che si riferisce ad un soggetto animale vivo, mantenuto in cattività oppure osservato sul campo. I reperti in vaso facenti parte di una collezione, possono essere *singoli* (ad es. un anfibio in un vaso patologico) o *multipli* (ad es. un serpente catturato e preparato) con la preda nella bocca; un serpente con le prede, ancora riconoscibili, estratte durante l'eviscerazione in laboratorio o con un certo numero di embrioni estratti dal corpo; una femmina di mammifero catturata insieme ai neonati); il reperto sarà quindi corredato da un numero variabile di informazioni; queste ultime, oltre ad essere trascritte sul cartellino di accom-

pagnamento saranno riportate in una *checklist* (lista di controllo) computerizzata ed eventualmente in cartaceo. Le informazioni riportate nella *checklist* non devono essere necessariamente le stesse riportate sul cartellino; ovviamente varierà solo la quantità di informazioni (maggiore nella *checklist*; non tutti i dati raccolti possono essere agevolmente trascritti sul cartellino) mentre sui dati di base relativi allo stesso reperto non devono sussistere ambiguità (es. nome della specie; toponimo e altitudine della stazione di raccolta; nominativo del raccoglitore e del determinatore). Con il termine di *liquido di fissaggio* si designa la soluzione nella quale l'esemplare permane per un tempo limitato (ore o giorni), funzione del tempo di stazionamento del campione nel medesimo. Si possono usare indifferentemente i termini di liquido conservativo o conservante o fissativo prima dell'utilizzazione definitiva. Con il termine di *liquido di dimora* si designa la soluzione nella quale l'esemplare permane indefinitamente ad eccezione di brevi periodi in cui viene estratto dal vaso per interventi di varia natura; riesame dell'esemplare, trasferimento in contenitore più adatto ecc.

Il *vaso pesafiltro* è un contenitore trasparente di definitivo stivaggio del campione; recipiente cilindrico in vetro sottile di calibro uniforme dalla base all'imboccatura (smerigliata, ovvero resa quasi opaca e ruvida al tatto), dotato di coperchio (anch'esso smerigliato), con presa di forma variabile ma diversa dalla sferica. Il *vaso patologico* è un contenitore trasparente di definitivo stivaggio del campione; recipiente cilindrico di vetro borosilicato dotato di base d'appoggio e coperchio smerigliato ispessiti, quest'ultimo con presa di forma sferica (pomolo). I vasi patologici sono esteticamente più attraenti e funzionalmente più adatti soprattutto per la robustezza; sono tuttavia molto costosi e sempre più difficili da reperire sul mercato, al contrario dei vasi pesafiltro. Altri recipienti possono essere utilizzati con profitto, ad es. bottiglie di vetro simili a quelle utilizzate per la conservazione di prodotti chimici, assai più economiche; molto dipende dalle disponibilità finanziarie dell'istituzione che ha in cura le collezioni.

Materiale necessario

Nell'ambiente del laboratorio adibito alla preparazione del liquido conservante, è opportuno che siano sempre presenti due bottiglie di plastica da 10 L cadauna, dotate di tappo di sicurezza, tappo a vite e rubinetto, da utilizzare per lo stivaggio di acqua demineralizzata (deionizzata) e della soluzione del liquido fissativo; quest'ultima bottiglia sarà utilizzata nelle operazioni finali del procedimento. Sarà il caso di utilizzare uno ed un solo recipiente di raccolta del liquido fissativo, piuttosto che frazionare la raccolta in numerosi recipienti, ad es. una serie di beute ciascuna delle quali dotata di imbuto con carta da filtro; in quest'ultimo caso, lo spazio richiesto

sarà maggiore, le operazioni preliminari più lunghe ecc; da non trascurare la possibilità che nei diversi contenitori, per quanto apparentemente puliti, possano verificarsi reazioni secondarie con intorbidamento della soluzione. Per ragioni di sicurezza è opportuno che la bottiglia di raccolta del fissativo non sia superiore alla capacità indicata (max. 10 litri); inoltre che sia esclusivamente adibita a tale scopo. La bottiglia che contiene l'acqua deionizzata potrà essere eventualmente sostituita da un qualunque recipiente adatto al trasferimento di acqua nella soluzione alcoolica, ad esempio un grosso becher. Le due bottiglie dovranno essere periodicamente rifornite di una certa quantità di liquido, da utilizzare immediatamente ad es. al rientro da una campagna di ricerca in territori lontani. È opportuno quindi che una piccola quantità di liquido di partenza (soluzione di alcool denaturato 94%) sia sempre presente in laboratorio, ancorché stivata in ambiente sicuro. Il resto del materiale è costituito dalla comune vetreria in uso nel laboratorio di chimica tra cui una serie di oggetti in plastica trasparente od opaca: un becher - caraffa (ovvero dotato di manico) da 5 litri, un becher da 2 litri, un cilindro graduato da 250 cc; una robusta bacchetta di vetro con funzione di agitatore (è preferibile evitare, per ragioni di sicurezza, l'uso di oggetti collegati alla rete, ad es. un agitatore elettrico); un imbuto di plastica di 7-8 cm di diametro; un imbuto di vetro pirex di 20 cm di diametro dotato di tappo di gomma inserito sino all'inizio del cannello; una spruzzetta con acqua distillata; infine, carta da filtro per analisi qualitative DP 400 320 in lotti da 100 unità. Tra i prodotti chimici, oltre alla soluzione alcoolica 94% di partenza e all'acqua deionizzata: carbonio attivo in confezione da 1 kg (ottimo il relativo prodotto p.a. della Merck); glicerina 89% bianca 30 Be⁷ vegetale da 1000 mL (Figura 1).



Figura 1. Il materiale necessario per la preparazione del liquido fissativo e di dimora.

Procedimento

Gli obiettivi principali della preparazione saranno costituiti dalla sottrazione del colorante rosa e dalla riduzione della concentrazione di etanolo al 70-75%, adatta per molti gruppi zoologici (Aracnidi, Vertebrati) (Wallis, 1973). Il fissativo risultante uccide le cellule e indurisce i tessuti. Preliminarmente, si trasferisce una certa quantità (ad es. 3 litri) di alcool denaturato 94% nella caraffa graduata. In quest'ultima si aggiungono, per mezzo di una slessola utilizzata esclusivamente allo scopo (può essere lasciata nel contenitore del carbone), pochi grammi di carbone attivo iniziando l'agitazione con la bacchetta di vetro per distribuire uniformemente la polvere. Si faccia attenzione a richiudere, subito dopo il prelievo, il recipiente con il carbone attivo la cui polvere, pressoché invisibile, si disperde facilmente depositandosi ovunque. La miscela preparata non è una soluzione bensì una sospensione di carbone in alcool. Si controlli che la dispersione sia il più possibile omogenea, osservando il liquido controluce e proseguendo con l'agitazione (o eventualmente aggiungendo ancora un po' di carbone) sino al riscontro del suo completo annerimento. Contemporaneamente si preparano imbuto e filtro. Il tappo di gomma applicato all'imbuto in vetro pirex ne garantisce la stabilità una volta inserito nel collo della bottiglia da 10 litri. Si ripiega più volte un foglio rotondo di carta da filtro fino alla forma desiderata e lo si adatta all'imbuto bagnando uniformemente con poca acqua distillata la superficie del filtro a contatto con il vetro per facilitarne l'adesione. A questo punto si versa la sospensione nera nell'imbuto mantenendo il livello del liquido ben al di sotto del margine superiore della carta da filtro. Date le dimensioni dell'imbuto, è possibile trattare in breve tempo una notevole quantità di liquido, ad es. sulla base della nostra esperienza, circa 3 litri in un'ora. Al liquido limpido così ottenuto si aggiunge una quantità di acqua deionizzata proporzionale alla concentrazione che si intende raggiungere; per una soluzione al 70-75%, 200 cc di acqua per litro di alcool trattato. Infine, si aggiungono 8-10 gocce di glicerina per litro di etanolo per mantenere morbidi i tessuti (Crucitti, 2018). L'utilizzazione del liquido può avvenire immediatamente o essere posposta; nel caso di missioni scientifiche di lunga durata, alcuni litri del liquido potranno essere distribuiti in più bottiglie a collo stretto per l'utilizzazione sul campo come fissativo. La soluzione sarà utilizzata per i seguenti scopi; in generale, come liquido di dimora per reperti appena trasferiti dal liquido fissativo; per rabbocco del livello nel caso di esemplari rimasti esposti all'aria (in tutto o in parte); per evaporazione del liquido di dimora o per la sua perdita dovuta all'estrazione del campione; per sostituzione dell'intero liquido di dimora nel caso di cambiamento di colore della soluzione (ad es. da limpida a giallo-arancio) dovuto a solubilizzazione di pigmenti da parte del solvente (alcool) che può

che può perdurare anche a lungo rendendo il campione esteticamente poco attraente.

Fase definitiva; ostensione dei reperti

Gli esemplari di una stessa specie presenti in una collezione museale possono essere numerosi soprattutto se provenienti da località diverse.

L'esemplare nelle migliori condizioni di conservazione (intero e integro) sarà preparato per l'ostensione in vaso patologico/pesafiltro in vetrina o armadio ed esposto al pubblico (con etichetta alla base del vaso) (Figure 2, 3); gli altri esemplari (doppioni) potranno essere stivati insieme in vasi cilin-



Figura 2. Il reperto di un raro serpente (*Coronella girondica*) in vaso pesafiltro facente parte della Collezione Vertebratologica “Benedetto Lanza” della Società Romana di Scienze Naturali (CVSRSN 267, Lazio).

drici di vetro a bocca larga e calibro uniforme (1,8 litri) chiusi ermeticamente da un coperchio a vite sul quale sarà posta una etichetta adesiva con i dati relativi al contenuto; in tal caso, al corpo di tutti gli esemplari dovrà essere applicata un'etichetta sulla quale saranno trascritti i dati relativi al reperto (Figura 4).
Sulle modalità di trattamento degli esemplari (prima dello stivaggio) e di compilazione e applicazione dell'etichetta riteniamo opportuno sorvolare in quanto si tratta di problematiche che richiedono una trattazione particolareggiata. Vediamo invece di concludere con una riflessione sulla sistemazione degli esemplari

dimensioni, hanno un corpo raccolto che richiede, in genere, un vaso di dimensioni standard; base di larghezza media e altezza 2-4 volte la base.



Figura 3. Il reperto di un comune roditore (*Muscardinus avellanarius*) in vaso patologico facente parte della medesima collezione (CVSRSN 617, Lazio).



Figura 4. Particolare del ripiano di base della vetrina della CVSRSN; sono visibili i vasi con esemplari doppioni; in alto, appena visibili, vasi patologici/pesafiltro con esemplari singoli.

Talvolta invece la posizione raccolta che assumono certi anfibi urodeli (salamandre, tritoni) e sauri (lucertole, gechi) nel recipiente non consente di apprezzarne integralmente lunghezza e altre caratteristiche; si potrà in tal

caso legare l'esemplare (con filo di nylon) ad un listello di vetro (al limite un vetrino porta oggetti) il quale potrà essere poi inserito in una posizione appena inclinata nel recipiente in modo da mantenerlo stabilmente eretto. Infine, concludiamo con l'applicazione del coperchio al vaso che contiene l'esemplare. Sullo Zàngheri si legge a pagina 123: *“Recipienti ideali per la conservazione dei rettili in alcool sono i vasi di vetro cilindrico con piede, non ristretti all'imboccatura, ma smerigliati sull'orlo, dove si appoggia un disco di vetro, che viene fatto aderire a mezzo di un mastice, ottenendosi così una chiusura ermetica”*. Si dissente radicalmente dall'applicazione di tale disco, anche se molti esemplari (antichi) di importanti collezioni sono mantenuti in queste condizioni (Figura 5).



Figura 5. La copertina del numero più recente della prestigiosa rivista Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien (121 Serie B, 2019) con una panoramica di alcuni antichi reperti della collezione erpetologica (Anfibi e Rettili) fissati e conservati in liquido.

Infatti, per l'estrazione dell'esemplare dovuta ai motivi più diversi si renderà necessaria la forzatura del dischetto che ne potrebbe facilmente determinare la rottura. È molto più comodo e pratico utilizzare un normale coperchio a pomolo (nel caso dei vasi patologici) mantenuto in posizione dal suo stesso peso, evitando l'utilizzazione di un collante. Causa evaporazione, il livello del liquido di dimora andrà sempre controllato con il rabbocco del fissativo ogni qualvolta ciò si renda necessario (Chinè, 1992). Tuttavia, a causa di vari fattori tra i quali fondamentale è il tempo, il tappo in vetro può aderire a tal punto da rendere difficile se non impossibile l'apertura del vaso; questo inconveniente è assai più comune nei vasi pesafiltro il cui tappo di vetro aderisce solo verticalmente rispetto ai vasi patologici nei quali il tappo aderisce soprattutto orizzontalmente. In questo caso, sarà opportuno immergere il recipiente con l'esemplare in una bacinella con acqua molto calda, operazione che permetterà il rilascio del tappo con conseguente recupero del campione per tutte le esigenze del caso (esame o riesame dell'esemplare, ricambio del liquido di dimora ecc.).

Risulta ovvio che l'etichetta non è applicata al vaso (ad es. al pomolo per mezzo di filo di nylon) ma inserita in un porta etichette posto alla base del vaso, nella vetrina; per evitare disguidi facilmente intuibili (scambi di etichette), sarà opportuno riportare sul vaso (sul coperchio o in altra parte) il numero d'ordine corrispondente a quello riportato sul cartellino (oltre che nell'elenco informatizzato).

Bibliografia

- [1] Barbagli F., **2002**. La conservazione in liquido del materiale zoologico. Secondo Seminario sulla conservazione dei reperti naturalistici "Le collezioni biologiche in liquido" Pavia, **29.XI. 2002**: 2.
- [2] Barbagli F., **2008**. Preparazione, conservazione e restauro dei reperti naturalistici. *Museologia Scientifica Memorie*, N. 3/2008 *Atti dei Seminari ANMS di Pavia. Preparazione, conservazione e restauro dei reperti naturalistici: metodologie ed esperienze* (a cura di Fausto Barbagli): pp. 7-9.
- [3] Cariani E., **2018**. Attività culturali, museologiche, di ricerca e didattiche del Museo civico di Storia Naturale di Ferrara **2017**. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Ferrara*, 6: pp. 135-150.
- [4] Chiarelli B. e Simonetta A. (con la collaborazione di Luca Mori), **2008**. *Storia dei musei naturalistici fiorentini*. Università degli Studi di Firenze, Firenze University Press.
- [5] Chinè A., **1992**. Allestimento di preparati zoologici in liquidi conservanti. Revisione di semplici metodi di allestimento di preparati zoologici macroscopici. *Didattica delle Scienze e informatica nella scuola*, 162, novembre **1992**: pp. 58-59.

- [6] Cipriani C., **2006**. Appunti di Museologia Naturalistica. Università degli Studi di Firenze, Firenze University Press.
- [7] Crucitti P., **2018**. Principi e metodi della ricerca faunistica - La progettazione nelle ricerche sulla biodiversità animale. Edizioni Accademiche Italiane, p. 316.
- [8] Crucitti P., Brocchieri D., Castelluccio P. e Tringali L. **2014**. La Collezione Vertebratologica “Benedetto Lanza” della Società Romana di Scienze Naturali: catalogo ragionato. Atti Mus. Civ. St. Nat. Trieste, **57**: pp. 113-170.
- [9] Crucitti P., Di Russo E. e Veltri Gomes L. **2017**. La collezione erpetologica della Società Romana di Scienze Naturali (Roma). Atti XI Congresso Nazionale della *Societas Herpetologica Italica*, Trento, **2016**: pp. 353-358.
- [10] Magdalena C., **2019**. Il messia delle piante. Alla ricerca delle specie più rare del mondo. Aboca S.p.A. Società Agricola Sansepolcro (AR).
- [11] Maretta S., Barbagli F., Piarulli G. e Rovati C., **2002**. A secco o in liquido? L'esperienza del Museo di Storia naturale dell'Università di Pavia. Secondo Seminario sulla conservazione dei reperti naturalistici “Le collezioni biologiche in liquido” Pavia, **29.XI. 2002**: p. 15.
- [12] Wallis C. J., **1973**. Practical Zoology. William Hainemann Medical Books LTD.
- [13] Zàngheri P., **1981**. Il naturalista esploratore raccoglitore preparatore imbalsamatore. Sesta Edizione Riveduta con un capitolo sull'allestimento dei piccoli musei scolastici di storia naturale. Editore Ulrico Hoepli, Milano.
- [14] Zuffi M. A. L., **2002**. Uso ed abuso delle collezioni in liquido. Un caso di ricerca e didattica nella museologia moderna. Secondo Seminario sulla conservazione dei reperti naturalistici “Le collezioni biologiche in liquido” Pavia, **29.XI. 2002**: p. 3.

16 **S**ulfur
Società

6 **C**arbon
Chimica

53 **I**ndie
taliana

2019
*The International Year of the
Periodic Table*



INTERNATIONAL
YEAR OF THE
PERIODIC TABLE

150th anniversary of publication
of Mendeleev's Periodic table

CARBONIO

Scoperta, storia e altro

Pasquale Fetto
pasquale.fetto@didichim.org

Carta d'identità

GRUPPO		CARBONIO																0							
IA																		2							
1																		10							
2																		18							
3																		36							
4																		54							
5																		86							
6																		118							
7																		180							
	1	H																	He						
	2	Li	Be															B	C	N	O	F	Ne		
	3	Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
	5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
	6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
	7	Fr	Ra	†Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	§	§	§												

CARBONIO (C):

- Numero atomico: 6
- Massa atomica: 12,0107 u
- Struttura cristallina: (esagonale)
- Punto di fusione: 3499,85 °C
- Simbolo: C
- Configurazione elettronica: [He] 2s² 2p²
- Gruppo: 14

*Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140.12	140.91	144.24	(145)	150.4	151.97	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.97

†Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
232.04	231.04	238.03	237.05	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(260)

Il Carbonio

Il nostro personaggio giace dunque da centinaia di milioni di anni, legato a tre atomi d'ossigeno e a uno di calcio, sotto forma di roccia calcarea: ha già una lunghissima storia cosmica alle spalle ma la ignoreremo. Per lui il tempo non esiste, o esiste solo sotto forma di pigre variazioni di temperatura, giornaliere e stagionali. [...] È di nuovo tra noi, in un bicchiere di latte. È inserito in una lunga catena, molto complessa, tuttavia tale che quasi tutti i suoi anelli sono accettati al corpo umano. Viene ingoiato:[...]

Primo Levi

Il viaggio dell'atomo di carbonio

Il Sistema Periodico, Torino: Einaudi, 1975

PREMESSA

Il **carbonio** occupa il quarto posto tra gli elementi presenti in natura, è uno dei più antichi e nel futuro sarà uno degli elementi più usati. A differenza di altri elementi il carbonio dà origine ad un numero enorme di composti dimostrando la sua versatilità. I composti del carbonio per convenzione sono definiti composti organici fatta eccezione per gli ossidi.

IL CARBONIO

Il carbonio è l'elemento chimico della tavola periodica degli elementi che ha come simbolo **C**, come **numero atomico 6**. È un elemento non metallico, tetravalente, insolubile nei solventi, inodore e insapore, appartiene al gruppo IVA (gruppo 14) della tavola periodica.

Il carbonio esiste in natura allo stato elementare in due forme caratterizzate da diversa struttura cristallina: il **diamante** e **la grafite**.

Il carbonio nella sua **forma amorfa** è un carbonio reattivo libero che non ha alcuna struttura cristallina. I materiali di carbonio amorfo possono essere stabilizzati con idrogeno. Il carbonio amorfo, comprende **prodotti chimici industriali** come il *nero di carbonio* o *nerofumo* utilizzato come additivo per gomme e plastiche e come colorante; il *carbone attivo* trova uso soprattutto come adsorbente per disinquinare; la *fuliggine* (emissione inquinante di combustioni non controllate) è formata essenzialmente da particolato carbonioso. Altre forme di carbonio amorfo (parzialmente cristallino) sono il *coke* e il *carbone animale* [1].

Queste forme si differenziano in molte proprietà fisiche, hanno punti di fusione estremamente alti e a temperatura ambiente sono insolubili in tutti i solventi.

Il **carbonio** ha una **peculiarità unica, si combina con se stesso** formando catene di atomi e anelli molto complessi. Questa caratteristica fa esistere

teoricamente un numero “*infinito*” di suoi composti, tra i quali i più comuni sono gli **idrocarburi** che contengono carbonio e idrogeno. I primi composti di carbonio furono identificati in organismi viventi all’inizio del XIX secolo, da allora lo studio del carbonio costituisce l’importante ramo della chimica organica¹.

Il carbonio a temperatura ambiente è poco reattivo mentre a temperature elevate reagisce facilmente con molti metalli per formare i **carburi**, con l’ossigeno forma il monossido di carbonio (CO) e il diossido di carbonio (CO₂). Forma inoltre composti con la maggior parte dei non metalli.

IL CARBONE

Il **carbone** (dal latino *carbo*) era già conosciuto dalle popolazioni antiche che lo producevano bruciando materiale organico con poco ossigeno.

Il carbone è un minerale abbastanza leggero, di colore nero, ed è formato da:

- **carbonio** che brucia producendo anidride carbonica e calore.
- **materiale inorganico** che è formato da sostanze argillose e da sali di zolfo che in seguito alla combustione formano ceneri, sostanze inquinanti e volatili.

Le **miniere di carbone** sono presenti in numerose zone della Terra in quanto il carbone si è originato dalla trasformazione di vegetali fossili avvenuta nel corso di milioni di anni.

Noto fin dall’antichità, il carbone fossile ebbe uno straordinario utilizzo come combustibile a partire dal XIX secolo.

Il carbone viene estratto da *miniere sotterranee* o a *cielo aperto*; è un combustibile fossile naturale che può essere prodotto anche artificialmente.

FORME ALLOTROPICHE O POLIMORFICHE

Allotropia, (dal greco ἀλλότροπος, *strano*, parola composta da ἄλλος “*altro*” e τροπος “*modo*”), è il nome applicato da Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) alla proprietà di alcune *sostanze semplici* di esistere in diverse forme “*polimorfismo*”. L’allotropia è la proprietà degli elementi di esistere in diverse forme cristalline e si riferisce alla struttura del legame chimico esistente fra atomi dello stesso tipo. Questa proprietà dipende da un *numero diverso di atomi* che costituiscono le molecole delle varie strutture, oppure da una diversa disposizione di un ugual numero di atomi nel raggruppamento molecolare delle forme cristalline. Le diverse forme sono dette allotropi [2].

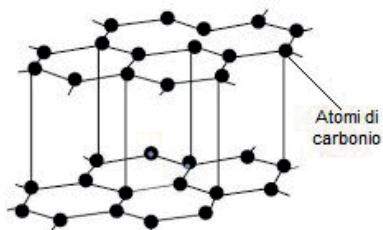
1. Nel 1807 Berzelius introdusse il termine “chimica organica” distinguendo i composti prodotti dal regno animale e vegetale da quelli di natura minerale.

Polimorfismo, dal greco πολύς “molto” e μορφή “forma”, letteralmente “che può assumere molte forme”; in chimica il termine indica la possibilità che una stessa sostanza si presenti in forme cristalline diverse; nel caso del carbonio tra le varie forme polimorfe abbiamo la grafite (struttura cristallina esagonale) e il diamante (struttura cristallina cubica).

GRAFITE



minerale di grafite



Struttura della grafite

La **grafite**, un solido morbido di colore nero, buon conduttore elettrico; nella struttura cristallina gli atomi di carbonio sono disposti in esagoni su piani orizzontali.

La grafite era conosciuta dal XVII secolo con vari nomi: *piombaggine*, *molibdaena* o *piombo nero*; in realtà questi nomi non hanno alcuna relazione con la composizione chimica di questo minerale ma richiamano solo l'aspetto fisico.

Il nome *grafite* ha origine dal greco antico γράφω (*grafo* = scrivere). Fu questo il nome che il chimico svizzero Alfred Werner nel 1799 diede a questo materiale.

Nel XVIII secolo si credeva che la grafite fosse costituita da ferro e carbonio e solo alla fine del secolo Berzelius dimostrò che il minerale con cui si poteva scrivere non era altro che carbonio. Fu lo stesso Berzelius a determinarne il peso atomico, mentre fu classificata sostanza semplice (cioè costituita da atomi dello stesso elemento chimico) da Lavoisier.

La grafite è un minerale che cristallizza nel sistema trigonale, presenta una struttura cristallina lamellare, fibrosa e a scaglie, talora ha contorni esagonali e fitte striature. La grafite è morbida e untuosa al tatto, ha un colore nero e lucentezza metallica. Nella Scala di Mohs la durezza è pari a 1.

Viene chiamata “*mica dei pittori*”, sia per il suo aspetto lamellare, sia per la caratteristica di lasciare tracce su carta.

Il primo contatto con la grafite avviene a scuola, i bambini iniziano i primi rudimenti della scrittura utilizzando le matite (**Appendice 1**).

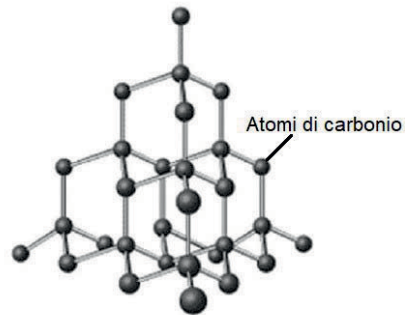
La grafite non è attaccata dagli acidi (compreso l'acido fluoridrico), dalle basi e dal cloro nascente. All'aria si ossida lentamente.

Trattata con acido HNO_3 concentrato e KClO_3 ben secco essa assume idrogeno e ossigeno trasformandosi in acido grafítico (sostanza organica amorfa) di colore giallo oro.

Per quanto sia chimicamente identica al diamante, la grafite è estremamente diversa da questo minerale per quanto riguarda le proprietà fisiche.

La grafite viene utilizzata per produrre refrattari, crogioli altofondenti lubrificanti secchi, coloranti ed elettrodi. Per molti usi, tuttavia, si preferisce la grafite prodotta artificialmente che presenta un più alto grado di purezza. La grafite artificiale viene prodotta mediante il processo di grafitazione.

DIAMANTE



Struttura del diamante

Diamante in kimberlite
Repubblica Sudafricana,
Museo Mineralogico, Wrocław (Polonia).

Il **diamante** era conosciuto in Oriente sin dal 3.000 a.C., in Occidente fece la sua comparsa solo nel IV secolo a.C. in seguito alle spedizioni di Alessandro Magno.

Nel secolo XV si scoprì che la durezza² del diamante non è la stessa in tutte le direzioni; questa viene definita “**durezza direzionale**” (o **vettoriale**)

2. La **durezza** è un valore numerico che indica le caratteristiche di deformabilità plastica di un materiale. È definita come *la resistenza alla deformazione permanente*. **Friedrich Mohs** (1773-1839) fu il primo a descrivere in maniera appropriata la durezza dei diamanti in relazione agli altri minerali; egli infatti sviluppò una scala di durezza composta da 10 livelli, all'interno della quale il diamante è l'unico minerale che raggiunge il livello 10. Nel 1896 **August Rosiwal** sviluppò una evoluzione della scala di Mohs; in questa scala viene attribuito il valore 1000 al corindone (ossido di alluminio che cristallizza nel sistema trigonale); al diamante viene attribuito il valore di 140.000

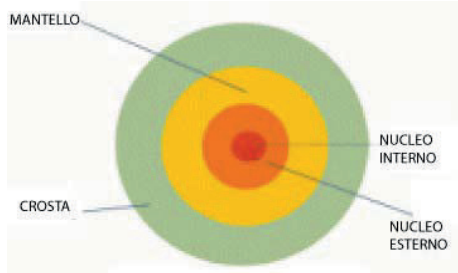
e significa che in alcune direzioni la durezza del materiale è leggermente inferiore rispetto alle altre; in questo modo è possibile tagliare il diamante e trasformare una pietra grezza in uno splendido diamante sfaccettato, che evidenzia ancora di più le magiche caratteristiche che gli vengono attribuite [3].

Sebbene fosse conosciuto dall'antichità, il diamante fu identificato come **forma allotropica del carbonio** nel 1796. Fu grazie alle ricerche del chimico inglese **Smithson Tennant**, che si verificò che la combustione del diamante produceva semplicemente anidride carbonica [4].

Il **diamante** è costituito da un reticolo cristallino di atomi di carbonio disposti secondo una struttura tetraedrica; i cristalli sono trasparenti e molto duri. Non conduce elettricità ma conduce calore.

La **tetravalenza** del reticolo cristallino del carbonio fu accertata nel 1858 da Friedrich August Kekulé von Stradonitz.

La formazione dei diamanti è avvenuta nel mantello terrestre, uno degli involucri concentrici che costituiscono la Terra. Si tratta di un involucro solido, a viscosità molto elevata, compreso tra la crosta terrestre e il nucleo terrestre con uno spessore di circa 2890 km.



Storia, miti e leggende dei diamanti

Il diamante (come merce estremamente rara) ebbe da sempre un'ottima commerciabilità pur non raggiungendo i livelli di altre risorse preziose come l'oro.

Le storie e le leggende riguardanti i diamanti sono molte, sorsero e si moltiplicarono con il passare dei secoli e si svilupparono con le culture con le quali vennero in contatto.

Plinio e **Tolomeo** scrivevano dei fiumi diamantiferi dell'India; **Marco Polo**, nel diario di viaggio, raccontava dei diamanti di Mutfili, l'odierna Masulipatam (città dell'India nord-orientale), qui il diamante si trovava solitamente all'aperto (al di fuori della roccia che l'aveva prodotto) nei depositi fluviali misto a materiali ciottolosi, arenarie e conglomerati prodotti del disfacimento di queste rocce.

Al diamante furono attribuite **proprietà benefiche**, se ne fece uso come **talismano** per proteggersi dai veleni, dai cattivi sortilegi e da malattie molto gravi.

Alcune popolazioni attribuirono ai diamanti **qualità romantiche**; questa pietra veniva conservata con fierezza da sposi e amanti che credevano potesse rendere duraturo l'amore.

Secondo le leggende della Grecia antica i diamanti sono delle "**schegge di stella cadute dal cielo sulla terra**"; la tradizione popolare afferma che i diamanti sono le "**lacrime degli dei cadute sulla terra**".

I Greci lo chiamavano "**Adamas**", l'invincibile e la parola "diamante" dei nostri giorni deriva proprio da questo termine.

La religione **Indù** considera il diamante, assieme ad altre pietre, ricco di radiazioni cosmiche benefiche.

In **India** molte leggende narrano le origini remote dei diamanti e il suo **uso terapeutico e magico** si perde lontano. Al tempo degli antichi **Arii** del periodo dei "**Veda**", il diamante era ritenuto il più potente tra i gioielli. In India si usava polverizzare i diamanti e cospargerne i neonati, perché ottenessero **protezione** e **futura fortuna**. Ancora oggi il **diamante è simbolo dell'India**, emblema della realtà assoluta dell'essenza incorruttibile, materializzazione dell'energia del *Linga* (simbolo dell'Assoluto trascendente senza principio né fine) e della virilità [5].

Secondo la tradizione biblica i diamanti, usciti dalla mano dell'Onnipotente, alla caduta degli angeli ribelli, si abbattono sulle orde dei maledetti con un frastuono divino, come **simbolo della punizione** che giungeva dall'alto. Da allora, si dice, il demone ebbe in odio tutti i diamanti perché gli ricordavano della sua caduta.

Idolatria di Giuda: "*Il peccato di Giuda è scritto con uno stilo di ferro, con una punta di diamante è inciso sulla tavola del loro cuore e sugli angoli dei loro altari*" (Ger 17,1). Il diamante può infatti scalfire, ma esso non viene graffiato. Dio stesso avvisa il profeta che gli Israeliti, infedeli nella loro testardaggine, non avrebbero accolto il monito divino, per questo il Signore rese la fronte del profeta "dura": "*Come diamante, più dura della selce ho reso la tua fronte. Non li temere, non impaurirti davanti a loro; sono una genia di ribelli*". (Ez 3,9). Nell'Antico Testamento il diamante è citato inoltre: Es 28,18; Es 39,11; Ez 28,13; Zc 7,12.

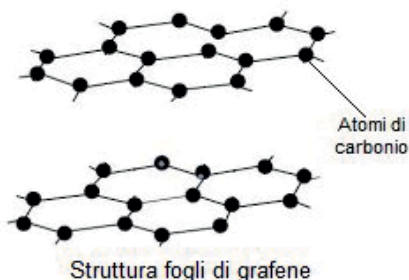
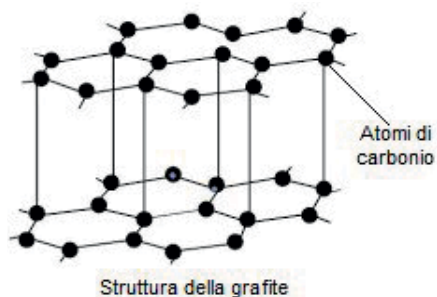
I Cristiani associarono **i sette doni dello Spirito Santo** ad altrettante pietre; la **fortezza** fu associata al diamante.

3. Gli Arii, popolo nomade di pastori, verso il 2000 a.C, lasciarono le terre delle regioni montuose dell'Asia centrale e migrarono in cerca di pascoli per il loro bestiame. La migrazione li portò a stabilirsi nel bacino dell'Indo e del Gange, sull'altipiano del Deccan e nella regione persiana. Di qui passarono poi anche in Europa

GRAFENE

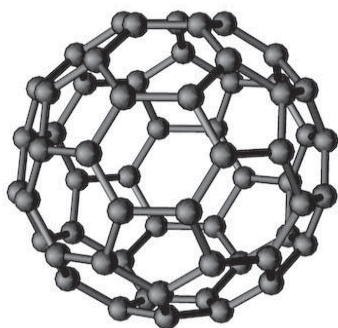
«Uno strato singolo di atomi di carbonio ordinati secondo la struttura della grafite può essere considerato come l'elemento finale della serie naftalene, antracene, coronene, ecc. e la parola grafene va quindi utilizzata per indicare gli strati singoli di carbonio all'interno dei composti della grafite. Il termine "strato di grafene" è comunemente utilizzato all'interno della terminologia del carbonio». (Definizione IUPAC)

Il **grafene** possiede una struttura piana formata da celle esagonali ed è il costituente della grafite.



FULLERENE

Il nome *fullerene* ricorda le cupole geodetiche basate su strutture pentagonali ed esagonali realizzate dall'architetto americano **Richard Buckminster Fuller** (1895-1983)



Struttura del C_{60} terza forma allotropica del carbonio



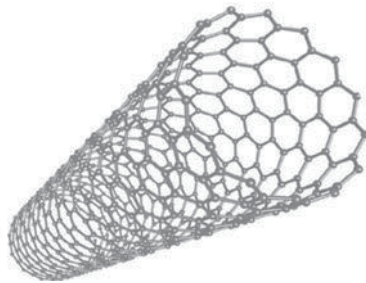
Spoletosfera. Illuminazione notturna dicembre 2015*

* "Geodetica", donata alla città di Spoleto nel 1967 dall'architetto Richard Buckminster Fuller in occasione del X Festival dei Due Mondi.

La struttura del fullerene è simile a quella della grafite, la differenza è che esistono anelli a cinque membri nel fullerene, mentre nella grafite esistono anelli a sei membri.

La **prima molecola di fullerene**, con una forma a sfera, come il C_{60} , venne scoperta e preparata nel 1985 presso la Rice University (Houston, Texas), da Richard Smalley, Robert Curl, James Heath, Sean O'Brien e Harold Kroto. Kroto, Curl e Smalley nel 1996 ricevettero il premio Nobel per il loro contributo nella scoperta del C_{60} .

Il C_{60} (noto come *Buckyballs*) è una struttura cava chiusa formata di 60 atomi di carbonio. Negli anni successivi sono state scoperte altre forme di carbonio, sempre facenti parte della categoria dei fullereni. Le forme più diffuse sono C_{60} , C_{70} e C_{78} [6]. L'esistenza del C_{60} e di altre forme di fullereni fu evidenziata, non più *solo* nei laboratori ma, nella fuliggine delle candele. Sono stati scoperti fullereni più piccoli del C_{60} ciascuno dei quali contiene $2(10 + n)$ atomi di carbonio, con n intero diverso da 1. (C_{20} , C_{28} , C_{32} , C_{44} , C_{50} , C_{58}).



Il *nanotubo*, a forma cilindrica

Proprietà dei fullereni

- La **durezza** del fullerene è superiore a quella del diamante.
- La **duttilità** del fullerene è 100 volte più forte dell'acciaio.
- Il fullerene **conduce elettricità**.
- Il fullerene ha una **conduttività** più forte rispetto al rame.
- Il fullerene **pesa solo 6 volte meno** dei materiali in rame.
- Il fullerene essendo costituito da carbonio, "*potrebbe*" essere **ricavato dai rifiuti organici**.

Si ritiene che per il fullerene esistano molte aree di utilizzo:

1. Prodotti farmaceutici: reagenti diagnostici, super farmaci, cosmetici, risonanza magnetica nucleare (NMR) con lo sviluppatore. Affinità al DNA
2. Energia: batteria solare, pila a combustibile, batteria secondaria.

3. Industria: materiale resistente all'usura, materiali ignifughi, lubrificanti, additivi polimerici, membrana ad alte prestazioni, catalizzatore, diamante artificiale, lega dura, fluido viscoso elettrico, filtri di inchiostro, rivestimenti ad alte prestazioni, rivestimenti ignifughi, produzione di materiali bioattivi, materiali di memoria, molecole incorporate e altre caratteristiche, materiali compositi ecc.

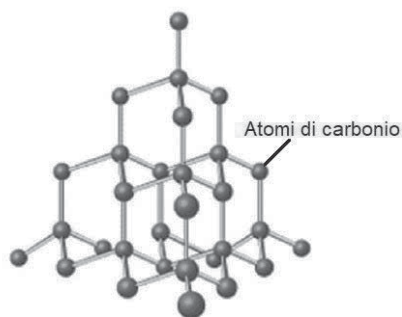
4. Industria dell'informazione: supporto di registrazione a semiconduttore, materiali magnetici, inchiostro da stampa, toner, inchiostro, carta per scopi speciali.

5. Parti elettroniche: semiconduttore superconduttore, diodi, transistor, induttore.

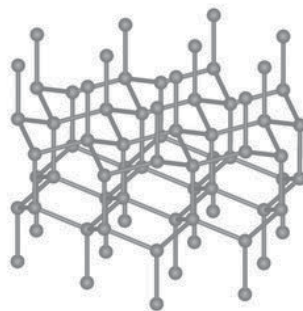
6. Materiali ottici, macchina fotografica elettronica, tubo di visualizzazione a fluorescenza, materiali ottici non lineari.

LONSDALEITE

La *lonsdaleite*, allotropo del carbonio è chiamato anche “*diamante esagonale*” per la sua composizione e per la struttura esagonale del suo reticolo cristallino. Fu scoperta per la prima volta nel 1967 in un cratere meteoritico in Arizona e prese il nome dalla mineralogista irlandese Kathleen Lonsdale.



Struttura del diamante



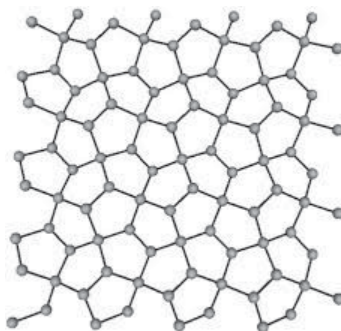
Struttura della lonsdaleite

Si parlò di cristallo dalle proprietà superiori divenendo un caso scientifico. Secondo i ricercatori dell'Arizona State University non è altro che una forma comune di diamante, molto disordinata, formatasi dal violento impatto a Terra dei meteoriti.

PENTA-GRAFENE

Il **penta-grafene** è una struttura bidimensionale, per adesso solo teorizzata, in cui gli atomi di carbonio sono disposti a pentagoni.

Il penta-grafene supera il grafene in alcune sue caratteristiche, è meccanicamente stabile, è conduttore di elettricità ed è in grado di resistere a temperature fino a circa 700 °C. Altra caratteristica riscontrata dai ricercatori riguarda il comportamento allo stiramento: durante lo stiramento, mentre il grafene si allunga accorciandosi nella direzione perpendicolare alla trazione, nel caso del penta-grafene l'espansione è in entrambe le direzioni.

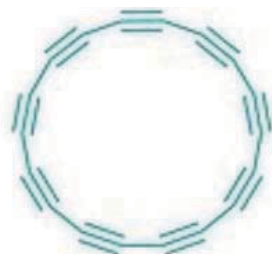


Struttura del penta-grafene¹

Per ora questo allotropo è stato studiato solo al computer e la vera sfida, per i ricercatori, è quella di sintetizzarlo per renderlo disponibile ad applicazioni pratiche.

IL CICLOCARBONIO

Nell'agosto del 2019 è stato sintetizzato un nuovo allotropo del carbonio, il C₁₈, il *ciclocarbonio* allotropo ciclico a 18 atomi di carbonio con legami tripli alternati a legami semplici [7].



Struttura del del ciclo[18]carbonio (ciclocarbonio)

1. In L.A. Openov, A.I. Podlivaev. *Hydrogen desorption from pentagraphane* National Research Nuclear University "MEPhI", 115409 Moscow, Russia.

CARBONI NATURALI

I tipi di carbon fossile sono classificati tenendo conto della quantità di carbonio presente nei minerali e del potere calorifico; tra i carboni di origine naturale abbiamo: *la torba, la lignite, il litantrace, l'antracite.*

Il carbon fossile

Il Carbonifero, quinto dei sei periodi in cui è diviso il Paleozoico, ebbe inizio 356 milioni di anni fa. Durante questo periodo le sostanze organiche delle foreste, di cui era ricoperta la terra, subirono la decomposizione che mediante il lungo processo geologico di fossilizzazione e carbonizzazione portarono alla formazione dei diversi tipi di carbone. Il processo durò circa 61 milioni di anni

torba, lignite, litantrace, antracite.

Torba

La torba (60% di C) ha una colorazione che varia tra il marrone chiaro e il nerastro, è un **carbone formatosi in età recente** ed originatosi in particolare da piante erbacee. È un materiale leggero, poco consistente e caratterizzato da un alto grado di umidità (contiene il 90% di acqua). La percentuale si riduce fino al 30% in seguito alla lavorazione e all'essiccamento.



Torba pressata

Per queste caratteristiche la torba **non si utilizza come combustibile** ed è la materia prima per la produzione di concimi e fertilizzanti.

Lignite

La lignite (70% di C) ha un colore variabile tra il marrone scuro e il nero, è un carbone **proveniente dalle foreste del cenozoico** di età stimata intorno ai **70 milioni di anni**. Il contenuto di **carbonio è pari al 70%** e il contenuto di acqua varia tra il 20% e il 30%. Il **potere calorifico** oscilla tra **4000-6000**

kcal/kg. La lignite conserva i tratti della struttura del legno da cui deriva in quanto il **processo di carbonizzazione** è ancora **incompleto**.



Lignite

È considerato un carbone di scarsa qualità; inoltre nella lignite è presente una elevata concentrazione di **zolfo (6-8%)** che è lo classificano tra i **combustibili molto inquinanti**. La lignite è utilizzata prevalentemente per la produzione di gas, ammoniaca e petrolio sintetico [**Appendice 2**].

Litantrace

Il litantrace (90% di C) è il carbone fossile nel senso vero e proprio del termine. Ha un contenuto di **carbonio tra il 75% e il 90%** e un **potere calorifico** compreso tra **7000-8000 kcal/kg**.

La sua **formazione risale al mesozoico** circa **250 milioni di anni fa** e si trova in strati compressi tra rocce di composizione diversa. È il carbone più diffuso in natura e il più utilizzato sia nell'industriale che per la produzione di energia elettrica.



Litantrace

I giacimenti di litantrace di buona consistenza si trovano negli strati carboniferi della roccia tra i 400 e 1200 metri di profondità. L'elevata concentrazione di carbonio e il basso tasso di acqua, fanno del litantrace **un combustibile di buona qualità**.

Per l'estrazione del litantrace si scavano dei pozzi verticali fino allo strato di carbone. Le gallerie della miniera si sviluppano in profondità seguendo l'andamento dello strato carbonifero. Il litantrace è utilizzato come combu-

stibile sia domestico che industriale, nelle centrali elettriche a carbone, per la produzione del carbon coke (o *coke metallurgico*) e negli altiforni.

Antracite

L'antracite (oltre il 90% di C), **proveniente da resti vegetali risalenti al paleozoico**, circa **400 milioni di anni fa** è il carbone più antico; in esso il carbone, durante il processo di carbonizzazione, perde idrogeno, azoto, ossigeno e zolfo raggiungendo un elevato stadio di purezza che porta la **presenza del carbonio al 90%** e il **potere calorifico** pari a circa **8500 kcal/kg**.



Antracite

L'antracite grazie alla sua eccellente qualità è usato principalmente per il riscaldamento domestico; ha colore nero e lucentezza metallica, è un carbone duro e fragile ed è il più pesante degli altri. L'umidità contenuta nell'antracite appena estratta è in generale inferiore al 15%.

È un combustibile con una particolare caratteristica: **produce una bassa percentuale di materia volatile e sviluppa molto calore**, purtroppo il suo utilizzo contrasta con il costo abbastanza elevato e la difficile reperibilità.

A partire dal 1980 gli scarti e i detriti di antracite vengono utilizzati per la produzione di energia elettrica.

CARBONI ARTIFICIALI

Sono i materiali, ricchi di carbonio, che mediante il processo di **distillazione distruttiva**² sono convertiti in prodotti chimici utilizzabili. Questa tecnica si utilizza per convertire il legno in carbone e il carbon fossile in coke.

La conversione del legname in carbone era una pratica usata già durante l'età del bronzo; questa pratica si era resa necessaria al fine di ottenere temperature più alte per le trasformazioni metallurgiche.

2. La **distillazione distruttiva** è la tecnica utilizzata per convertire materiali grezzi in sostanze chimiche utili. La **distillazione standard** produce una separazione puramente fisica dei costituenti.

Il carbone attivo o carbone vegetale

Il carbone vegetale è il prodotto della **combustione** che avviene in ambiente privo di ossigeno e ad una temperatura intorno ai 500-600 °C.



La carbonaia



Carbone di legna

Per molti secoli, fino ai primi del '900, i boschi italiani furono il luogo di lavoro della dura attività dei carbonai. Il carbone veniva trasportato verso le città per gli usi più disparati.

Questa pratica anche se su piccola scala si è mantenuta in essere nelle nostre montagne fino a poco tempo fa. Il processo di trasformazione si realizzava costruendo una “carbonaia”.

La carbonaia: tecnica di preparazione

Il legno viene prima ammassato e poi coperto con strati di erba, muschio e argilla in modo che il mucchio sia praticamente completamente chiuso per evitare che il legno si accenda. La trasformazione del legno in carbone viene effettuata per **pirolisi**. La quantità di ossigeno richiesta per la combustione, che aumenta la temperatura all'interno del mucchio, è favorita da piccole aperture nello strato coprente. Nelle grandi carbonaie, i canali di ventilazione sono scelti accuratamente e ben definiti in modo che sia sempre disponibile la giusta quantità di ossigeno.

Il processo dura diversi giorni o settimane, l'umidità viene estratta dal legno e i gas prodotti dalla reazione vengono bruciati; il carbone risultante da questo processo è molto leggero poiché resta solo lo scheletro di carbonio delle cellule legnose. La successiva combustione a cui è sottoposto durante l'utilizzo domestico (non produce fiamme) perché il carbone è già stato privato di tutti i gas combustibili.

Quella della carbonaia era una tecnica molto usata in passato in gran parte del territorio alpino, subalpino e appenninico, per trasformare la legna, preferibilmente di faggio, ma anche di abete, larice, frassino, castagno, cerro, pino e pino mugo, in carbone vegetale.

I tipi di legname utilizzati dipendono dall'uso che se ne farà: il **pioppo**, il **salice** e la **betulla** sono utilizzati dalle case farmaceutiche. Dopo la combustione il carbone ottenuto viene **attivato**, rendendolo poroso, in modo da conferirgli la proprietà di “**adsorbire**”. Già nell'antichità questo “speciale” tipo di carbone era conosciuto per le **proprietà disintossicanti**, inoltre veniva utilizzato per rendere potabile l'acqua.

Proprietà e utilizzo del carbone vegetale

La proprietà di adsorbire conferisce al carbone vegetale la facoltà disinfettante in quanto oltre ai liquidi e ai gas, “adsorbe” anche le tossine, i virus, e i batteri. Nei casi di diarrea aiuta a compattare le feci.

Il **carbone vegetale** viene utilizzato **come additivo e colorante** nella produzione di prodotti alimentari da forno in questo caso l'ammissibilità è regolamentata, nelle quantità, dal regolamento della CE.

Carbon coke

Il **coke** si ottiene per distillazione del carbon fossile, è usato per rimuovere l'ossigeno dai minerali formati da ossidi metallici per ottenere il metallo puro. La roccia sedimentaria è costituita da materiale organico (*carbonio*, *ossigeno*, piccole quantità di *zolfo* e *azoto*) e da materiale inorganico (argilla, calcite). Tra i **combustibili artificiali** è di gran lunga **il più importante**; è il residuo solido della distillazione del carbon fossile.

La qualità e le caratteristiche fisico-chimiche del coke dipendono essenzialmente:

1. da quelle del carbon fossile di partenza;
2. dalla temperatura a cui si effettua la distillazione.

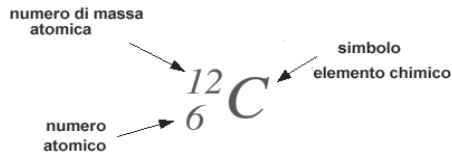
Il **coke da gas**: si ottiene da distillazioni che avvengono a *bassa temperatura* tra (500-700°C) o a *media temperatura* tra (750-900°C).

Per produrre il **coke metallurgico** è necessario partire dal litantrace che si scalda ad una temperatura tra (900-1200°C) per alcune ore al fine di consentire alle sostanze volatili di liberarsi e lasciare come residuo un carbone spugnoso. Il coke duro, poroso e privo di impurità ha un ottimo potere calorifico; tali proprietà lo rendono un buon combustibile, largamente impiegato nelle fonderie e negli altiforni per la fusione della ghisa.

Altro prodotto della distillazione del carbon fossile è il **catrame**, la cui composizione finale varia in relazione alla temperatura applicata. Il residuo solido della distillazione, **carbone di storta** si forma sulle parti alte delle storte in cui avviene la distillazione di carbone fossile. E' un materiale duro, difficile da bruciare e con conducibilità elettrica molto alta. Viene usato nella fabbricazione di elettrodi, pile a secco, lampade ad arco e forni elettrici.

ISOTOPI

Gli **isotopi** sono atomi che hanno lo stesso numero atomico dell'elemento chimico ma differiscono per il numero di massa. Sono noti 15 isotopi del carbonio dal ^8C al ^{22}C riportati in tabella.



Stabilità degli isotopi del Carbonio					
Isotopo	Presenza in Natura	Tempo di Dimezzamento	Modalità di Decadimento	Prodotto del Decadimento	Utilizzo Pratico
^8C	No	2.0×10^{-21} s	2p	^6Be	No
^9C	No	126.5 ms	β^+ (60%)	^9B	No
			β^+ p (23%)	^8Be	
			β^+ , α (17%)	^6Li	
^{10}C	No	19.290(12) s	β^+	^{10}B	No
^{11}C	No	20 minuti	β^+	^{11}B	Si
^{12}C	Si 98,98%	Stabile Stabile			Si
^{13}C	Si 1,10%				
^{14}C	Si	circa 5700 anni	β^-	^{14}N	Si
^{15}C	No	2.450 secondi	β^-	^{15}N	No
^{16}C	No	747 ms	β^-	^{15}N	No
			β^-	^{16}N	
^{17}C	No	193 ms	β^-	^{17}N	No
				^{16}N	
^{18}C	No	92 ms	β^-	^{18}N	No
			β^-	^{17}N	
^{19}C	No	46.2 ms	β^-	^{18}N	No
			β^-	^{19}N	
			β^-	^{17}N	
^{20}C	No	16 ms	β^-	^{19}N	No
			β^-	^{20}N	
^{21}C	No	<30 ns	n	^{20}C	No
^{22}C	No	6.2 ms	β^-	^{14}N	No
	PN	TD (Emivita)	MD	PD	UP

I tre isotopi del carbonio stabili e naturalmente presenti sulla Terra sono: il ^{12}C e il ^{13}C e in tracce il ^{14}C . Il **carbonio-14** è presente in natura con un'abbondanza relativa di 1 parte su mille miliardi di tutto il carbonio presente sulla Terra, a causa di un tempo di dimezzamento di soli 5730 anni.

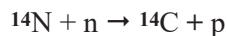
La principale fonte di questo isotopo è nella troposfera e nella stratosfera.

Nel 1961 la **IUPAC stabilì** che l'isotopo **carbonio-12** (^{12}C) fosse la base per la misura del peso atomico.

Produzione del carbonio-14

La produzione maggiore di **carbonio-14** avviene ad una quota tra i 9 e i 15 km e ad alte latitudini geomagnetiche.

Il ^{14}C così prodotto continuamente nell'atmosfera per l'azione della componente neutronica dei raggi cosmici con l'ossigeno per dare anidride carbonica $^{14}\text{CO}_2$, secondo la reazione:



La $^{14}\text{CO}_2$ si mescola con la CO_2 normale e viene riutilizzata dalle piante durante la fotosintesi clorofilliana.

In questo modo il **carbonio-14** si trasferisce nei composti organici e attraverso la rete alimentare è presente ovunque secondo un preciso rapporto (*abbondanza isotopica*). La $^{14}\text{CO}_2$ penetra anche negli oceani, sciogliendosi nell'acqua.

Il carbonio-14 è anche prodotto nel ghiaccio da neutroni che causano reazioni di spallazione nucleare nell'ossigeno.

Il carbonio-14 può inoltre essere prodotto dai fulmini ma in quantità trascurabili in confronto ai raggi cosmici.

I **test nucleari superficiali** eseguiti in molti paesi tra il 1945 e il 1980 hanno drammaticamente **aumentato la quantità di carbonio-14** nell'atmosfera e quindi anche nella biosfera.

Con la sospensione dei test è iniziata la diminuzione della concentrazione dell'isotopo.

Occasionalmente possono verificarsi dei picchi. Per esempio, vi è la prova di un aumento insolitamente alto del tasso di produzione nel periodo compreso tra il 774 e il 775 d.C., causato probabilmente da un evento estremo, rappresentato dal brillamento solare più forte degli ultimi dieci millenni.[8]

I sei elettroni del carbonio si dispongono secondo la configurazione $1s^2, 2s^2, 2p^2$; a seguito della promozione di un elettrone dal livello 2s2 al livello 2p2 il carbonio presenta **quattro elettroni spaiati**.

Gli isotopi si dividono in **stabili** e **instabili** o radioattivi, in verità gli isotopi non si possono ritenere totalmente stabili perché quasi tutti sono potenzialmente radioattivi.

La loro stabilità è data dal fatto che hanno **emivita lunghissima** in rapporto all'età della Terra questo significa che **per decadere impiegano talmente tanto tempo che si possono definire stabili**. La stabilità degli elementi chimici è spesso influenzata da fattori di varia natura: può infatti cambiare in seguito a fenomeni idro-geologici come nel caso dell'idrogeno e dell'ossigeno, ma anche a manipolazioni messe in atto dall'uomo. In quest'ultimo caso rientrano ad esempio gli isotopi dell'uranio.

Bibliografia

- [1] Ferruccio Trifirò. Le diverse facce del carbonio amorfo: nero di carbonio, carbone attivo e particolato carbonioso. *La Chimica & l'Industria Web*, **2016**, 3(9), novembre.
<https://unaparolaalgiorno.it/significato/A/allotropo>.
- [2] <https://residorigioielleria.it/2016/12/17/storia-diamante/>.
- [3] S. Tennant, *On the nature of diamond*, in *Phil.Trans.*, vol. **87**, 1797, pp. 123-127.
https://www.jstor.org/stable/106919?seq=1#metadata_info_tab_contents.
- [4] www.blogdeipreziosi.it/diamanti-curiosita-esoterismo-miti-leggende/.
- [5] Filippo Fedi. *Fullereni, Nanotubi & Grafene*. Istituto per i materiali compositi e biomedici (IMCB) Consiglio Nazionale delle Ricerche; Pubblicato 8 dicembre, **2013** in *Technology*.
<https://www.slideshare.net/fx127/carbonio-fullereni-nanotubi-grafene>.
- [6] Rinaldo Cervellati. *Un nuovo allotropo del carbonio: il ciclocarbonio*.
<https://ilblogdellasci.wordpress.com/2019/08/26/un-nuovo-allotropo-del-carbonio-il-ciclocarbonio/>.
- [7] F. Miyake, K. Nagaya, K. Masuda, T. Nakamura. A signature of cosmic-ray increase in AD pp. 774–775 from tree rings in Japan, in *Nature*, vol. **486**, n. 7402, pp. 240–242.
https://it.wikipedia.org/wiki/Picco_del_carbonio-14_del-774-775#cite_ref-nature_1-0.

APPENDICE 1

La storia della matita

Spesso diamo per scontati gli oggetti che ci circondano e che ormai sono entrati a far parte del nostro vivere quotidiano.

La storia della matita inizia nel XVI secolo quando nella contea inglese di Cumberland fu scoperto il primo sito carbonifero e precisamente nel 1664 un **giacimento di grafite** ovvero il minerale che, avvolto in cilindri di legno, viene utilizzato per scrivere. Tale struttura venne ideata nel XVI secolo e le fonti storiche più credibili ne attribuiscono il progetto a due italiani, Simonio e Lyndiana Bernacotti. Fu però solo nel XVIII secolo che la fabbrica Faber a Norimberga (Germania, 1762) ideò un processo di fabbricazione industriale e, in seguito, Nicholas Jacques Conte (1795) ideò un processo per regolare la durezza della mina realizzando vere e proprie formulazioni differenti.

APPENDICE 2

Il lavoro nelle miniere di carbone ha contraddistinto intere generazioni e ha alimentato un grande flusso migratorio. Vanno ricordate le migliaia di Italiani trasferitisi, negli anni Trenta e poi negli anni Cinquanta del secolo scorso in Belgio, Germania e Francia, alla ricerca di un lavoro, e spesso vittime di incidenti per le esplosioni nelle gallerie, che giungevano a 500 metri di profondità. Oggi il carbone è stato sostituito, in parte, da fonti energetiche alternative come il petrolio che ha portato alla chiusura di gran parte delle miniere europee; restano ancora attive quelle russe, cinesi e dell'Est europeo e, nonostante i sistemi di sicurezza, in questi paesi gli incidenti mortali sono molto frequenti.

APPENDICE 3

Lo sviluppo delle macchine a vapore

Le prime macchine a vapore furono realizzate per le attività agricole. Questa invenzione favorì anche la realizzazione e diffusione di nuove macchine come le seminatrici, le trebbiatrici e le mietitrici.

Fu Thomas Newcomen che nel 1705 realizzò sostanzialmente la prima applicazione del vapore ad un processo industriale. Lo stesso Newcomen si rese conto di quanto fosse complesso e dispendioso mantenere il sistema di pompe azionate da cavalli che erano necessarie al drenaggio delle miniere, in particolare quelle di stagno. I prototipi del motore a vapore furono realizzati dopo il 1705, e lo sviluppo dell'idea di Thomas Newcomen richiese diversi anni. Nel 1712 una prima macchina a vapore cominciò a funzionare in maniera continuativa per il drenaggio dell'acqua da un pozzo profondo circa 45 metri. L'invenzione ebbe subito un buon successo e prima della morte di Newcomen (1729), erano già stati costruiti un centinaio di esemplari, sia in

Inghilterra che sul Continente.

Nonostante fossero abbastanza rudimentali, le macchine di Newcomen furono perfezionate dall'ingegnere e inventore John Smeaton e rimasero sulla scena per molti decenni, tanto che le ultime rimasero ancora in servizio nel 1790. Inevitabilmente però, la loro scarsa efficienza ne decretò il progressivo abbandono a favore delle più evolute macchine a vapore sviluppate da James Watt.

Fra il 1781 e il 1788 **Watt**, realizzò nelle officine e fonderie Matthew Boulton di Soho, nei pressi di Birmingham, le prime macchine a vapore nelle quali il moto alternato del pistone era indotto dal doppio effetto della pressione del vapore e della depressione atmosferica.

Macchine a vapore nei trasporti

Tra il 1788 e il 1802 si sperimentarono le prime navi a vapore, nel 1800 in Inghilterra si sperimentò l'uso della macchina a vapore per le carrozze.

Nel 1802 si inventarono i binari e si diede inizio alle costruzioni delle infrastrutture (ponti, gallerie e tunnel) che favorirono lo sviluppo dei trasporti di persone e merci rendendo i treni più veloci, sicuri ed economici.

Nel 1803 l'americano **Fulton** costruì il **primo battello a ruote**. Nel 1807 la prima nave a vapore partì da New York.

Nel 1814 l'inglese **Stephenson** costruì la **prima vera locomotiva**. Nel 1821 aprì la prima linea ferroviaria, dieci anni più tardi vi furono ferrovie anche in Francia, Germania, Austria e Russia. Nel 1840 le ferrovie erano presenti in tutti i paesi europei.

LO SVILUPPO DEL CARBONE

Nel XIX secolo il carbone divenne il grande protagonista dello sviluppo nella emergente industria interessando prevalentemente il settore tessile-metallurgico e dei trasporti.

Fu intorno al 1750 che in Inghilterra ebbe inizio la prima rivoluzione industriale. Il carbone trovò impiego principalmente nella produzione del vapore come forza motrice nei motori a vapore. *Il fumo nero che usciva dalle ciminiere diventò il simbolo della nuova epoca industriale*. Il carbone era usato anche per il riscaldamento delle case. Nelle città più grandi, durante l'inverno, il cielo si copriva di una caligine nera che oscurava anche il sole. Il carbone diventò anche una materia prima per ricavare moltissimi prodotti: gas di città, catrame, benzolo, naftalina, ecc.. In particolare veniva utilizzato nella produzione di inchiostri.

Thomas Newcomen inventò una macchina a vapore che poteva essere usata proprio come pompa. Questa macchina era semplice da costruire, ma consumava molto combustibile. Fu **James Watt** a inventare nel 1769 una macchina a vapore più economica nei consumi. La macchina di Watt poteva così essere usata anche se il combustibile era scarso o costoso.

IL DECLINO

Il declino del carbone Sulcis – 1993 di **Giorgio Nebbia**

da La gazzetta del Mezzogiorno del 12 marzo 1993

[...] Ma le ligniti possono anche essere trasformate in combustibili meno inquinanti. La tecnica più diffusa è quella di gassificazione; ne esistono numerose varianti basate tutte sulla combustione parziale, in presenza di vapore acqueo, del carbone. Si formano così delle miscele di ossido di carbonio, idrogeno, metano, in varie proporzioni, che possono essere bruciate praticamente senza inquinamento. I composti dello zolfo che si liberano allo stato gassoso possono essere facilmente trattenuti con adatti filtri, recuperati e trasformati poi in composti commerciali, come acido solforico. Le ceneri restano nel reattore e non finiscono nei fumi e possono essere ricuperate.

<http://www.fondazionemicheletti.it/nebbia/sm-1695-il-declino-del-carbone-sulcis-1993/>

Le miniere a cielo aperto hanno un enorme impatto ambientale. Quelle tradizionali hanno al loro interno cunicoli polverosi ed alte temperature e raggiungono più di 200 metri di profondità. Le problematiche legate, nello specifico, a queste miniere comportano, nonostante le più moderne tecnologie minerarie, forti rischi per la salute dei minatori e una considerevole mortalità, sia per la possibilità di contrarre malattie come la silicosi, sia per gli incidenti dovuti all'incendio dei gas prodotti dal carbone.

Il carbone è stato sostituito in larga parte dal petrolio e dal gas naturale. Le leggi di protezione ambientale, sempre più severe, ne hanno praticamente escluso tutti gli impieghi, in particolare il riscaldamento domestico.

Tuttavia, ancora oggi, nel mondo si consumano grosse quantità di carbone principalmente:

- nelle centrali termoelettriche, dove viene bruciato per produrre il vapore che alimenta le turbine;
- nei centri siderurgici, dove viene prima trasformato in coke e poi caricato nell'altoforno per la fusione dei minerali di ferro.

Questi grandi impianti hanno appositi sistemi di depurazione dei fumi, che riducono al minimo gli effetti dell'inquinamento.

I combustibili si possono classificare in solidi, liquidi e gassosi oppure in naturali ed artificiali.

Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (Sdgs)

Eni e l'Organizzazione delle Nazioni Unite per lo sviluppo industriale (*Unido*) hanno firmato oggi una dichiarazione congiunta per l'avvio di un modello pionieristico di collaborazione pubblico-privato, finalizzato a contribuire al conseguimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (*Sdgs*). La dichiarazione, riferisce una nota, è stata sottoscritta dall'amministratore delegato di Eni, Claudio Descalzi, e dal direttore generale di Unido, Li Yong, alla presenza di Giorgio Marrapodi, direttore generale della direzione generale per la Cooperazione allo sviluppo del ministero degli Affari esteri e della Cooperazione internazionale.

“Le alleanze tra il settore pubblico e privato sono essenziali per promuovere lo sviluppo e migliorare l'accesso all'energia nel mondo”, ha dichiarato Descalzi. “Questa dichiarazione congiunta sottolinea il nostro impegno a mettere in comune know-how, competenze e risorse economiche per diventare un motore trainante della crescita delle comunità e dei paesi in cui operiamo”.

“Dare vita ad alleanze tra una pluralità di stakeholder è fondamentale per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile”, ha detto Yong. “Unido persegue attivamente accordi di collaborazione con business stakeholder, ed Eni e il ministero italiano degli Affari esteri e della Cooperazione internazionale condividono la nostra ambizione di promuovere un approccio di cooperazione tra pubblico e privato con altri partner”.

La dichiarazione, prosegue la nota, delinea un nuovo modello pionieristico di cooperazione tra settore privato e Organizzazioni Internazionali nel quale i partner collaborano in modo sinergico accrescendo il valore delle reciproche esperienze per migliorare l'efficacia dei progetti.

La collaborazione tra Eni e Unido punta a contribuire al conseguimento degli Sdgs mediante una cooperazione strategica focalizzata su aree di interesse comune, quali occupazione giovanile, catena di valore della filiera agroalimentare, energia rinnovabile ed efficienza energetica, in particolare in Africa. Si prevede inoltre che la cooperazione produrrà molte altre interazioni concrete di business, che porteranno un crescente numero di collaborazioni tra pubblico e privato per un'industrializzazione sostenibile dell'Africa.

La cerimonia per la firma della dichiarazione si è tenuta presso il centro di ricerca di punta di Eni - l'Istituto Donegani di Novara - dove il gruppo sviluppa tecnologie innovative per energia sostenibile.

Per correzioni, suggerimenti o commenti scrivete a dir@agi.it;

Se invece volete rivelare informazioni su questa o altre storie, potete scriverci su **Italialeaks**, piattaforma progettata per contattare la nostra redazione.

AREE SCIENTIFICO–DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – Scienze fisiche

AREA 03 – **Scienze chimiche**

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

AREA 10 – Scienze dell'antichità, filologico–letterarie e storico–artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

AREA 15 – Scienze teologico–religiose

Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su

www.aracneeditrice.it

Finito di stampare nel mese di ottobre del 2019
dalla tipografia «The Factory S.r.l.»
00156 Roma – via Tiburtina, 912
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)