

C_nS

La Chimica nella Scuola

n. 1 anno 2022

- › **La giornata dedicata alle donne e alle ragazze nella scienza**
- › **L'edizione 2021 della Scuola «Ulderico Segre»**
- › **Metodologie didattiche per l'università: si possono vedere gli atomi e le molecole?**
- › **Percorsi laboratoriali: una pioggia d'oro**
- › **Dove deve andare l'innovazione e cosa significa realmente economia circolare**

EDITORIALE

- 3 Un febbraio all'insegna delle donne e della Chimica tutto da ricordare**
Margherita Venturi

LE DONNE E LE RAGAZZE NELLA SCIENZA

- 5 Giustizia ambientale e sociale: i due lati della stessa medaglia**
Paola Govoni

L'EDIZIONE 2021 DELLA SCUOLA «ULDERICO SEGRE»

- 10 Le nanoscienze approdano alla Scuola Segre (e alla Scuola Del Re) con un mare di opportunità didattiche, ma anche di sfide da affrontare**
Margherita Venturi

- 16 Lo sviluppo delle nanoscienze e la didattica universitaria di base**
Michele A. Floriano e Mariano Venanzi

LA TRANSIZIONE ECOLOGICA

- 22 Innovazione: per fare cosa?**
Vincenzo Balzani
- 23 Per realizzare la transizione ecologica è necessario puntare decisamente sull'economia circolare**
Fabio Olmi

METODOLOGIE DIDATTICHE PER L'UNIVERSITÀ

- 34 Le microscopie a scansione di sonda**
Manuela Scarselli e Anna Sgarlata

L'APPROCCIO STORICO-EPISTEMOLOGICO PER LA SCUOLA SUPERIORE

- 44 Il senso di leggere i grandi classici della Chimica: perché una rubrica dedicata a percorsi didattici con approccio storico-epistemologico**
Eleonora Aquilini e Antonio Testoni

PERCORSI LABORATORIALI

- 45 Un percorso didattico per svelare la chimica di un esperimento spettacolare**
Agata Buemi

MUSEI SCIENTIFICI E DIDATTICA

- 51 'EUCHEMS Historical Landmarks'**
Luigi Campanella

COMUNICAZIONI BREVI

- 52 Oltre il Muro: verso l'Università di Lipsia**
Domenico Misiti

56 UNO SGUARDO ALLA LETTERATURA INTERNAZIONALE

NEWS

- 59 Storie della Scienza - Una lodevole iniziativa di Rai Scuola**
Silvano Fuso
- 60 Premio Nazionale Federchimica Giovani per orientare alle STEM all'interno dei percorsi di Educazione Civica**
Veronica Cremonesi
- 62 Clima di cambiamenti: noi & la Chimica, per un futuro più sostenibile - Un'iniziativa di SCI giovani per le scuole**
Elena Lenci, Marta Da Pian e Luca Rivoira



Società Chimica Italiana

DIRETTORE ONORARIO

Gaetano Guerra

COMITATO EDITORIALE

Direttore: Margherita Venturi • *Vice-direttori:* Eleonora Aquilini, Giovanni Villani

COMITATO DI REDAZIONE

Eleonora Aquilini, Luigi Campanella, Giorgio Cevasco, Marco Ciardi, Valentina Domenici, Antonio Floriano, Maria Funicello, Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Elena Lenci, Anna Maria Madaio, Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni, Francesca Turco, Margherita Venturi, Giovanni Villani, Roberto Zingales

COMITATO SCIENTIFICO

Presidente: Luigi Campanella • Vincenzo Balzani, Agostino Casapullo, Carlo Fiorentini



ISSN: 0392-8942

REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219 presso il Tribunale di Roma.

PERIODICITÀ: Bimestrale

Margherita Venturi

Un febbraio all'insegna delle donne e della Chimica tutto da ricordare

Cara/o lettrice/lettore, questo numero si apre ricordando una data e precisamente l'11 febbraio: è la giornata mondiale delle donne e delle ragazze nella scienza, istituita sette anni fa dall'Organizzazione delle Nazioni Unite proprio per promuovere il coinvolgimento delle donne e delle ragazze in ambito scientifico e tecnologico.

In realtà, come dimostrano chiaramente i dati riportati nel contributo di apertura della rivista, in Italia le studentesse non hanno più bisogno di essere incentivate a studiare la scienza e la tecnologia; il loro interesse in questi ambiti è, infatti, più che forte e dà anche ottimi risultati.

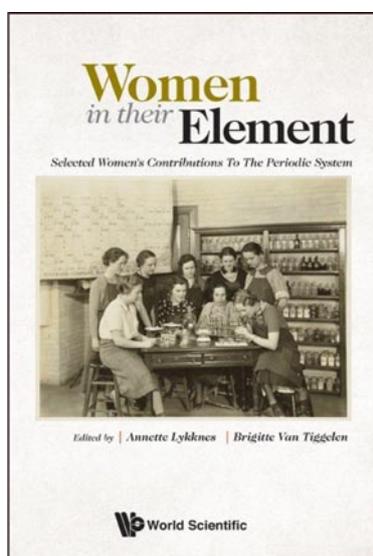
Il problema, quindi, non riguarda le scelte iniziali ma la carriera successiva, dal momento che ancora oggi la situazione è abbastanza drammatica: le donne non riescono a sfondare il cosiddetto soffitto di cristallo e rimangono ai "blocchi di partenza", spesso per mancanza di autostima, ma molto più spesso perché vengono fermate dai loro colleghi uomini.

Gli esempi più eclatanti ci vengono dal passato anche se, come appena detto, il presente è tutt'altro che roseo. In quanto chimica, un tema che mi ha sempre affascinato, oltre che addolorato, è quello del mancato riconoscimento delle donne



che hanno contribuito a far crescere la Tavola Periodica, identificando nuovi elementi: donne, come Marguerite Perey e Ida Noddack, che, nonostante siano state ripetutamente candidate al Nobel, non l'hanno mai avuto perché l'Accademia Svedese non ha ritenuto il loro lavoro meritevole del premio; donne, come Lise Meitner che non è stata neanche nominata dal collega Otto Han quando ha ricevuto il Nobel per i risultati che, senza il contributo di Lise, non avrebbe

mai ottenuto; ma anche tante donne che hanno subito sorte ben peggiori dal momento che il loro nome è stato totalmente dimenticato proprio per l'azione prevaricatrice dei "capi", rigorosamente uomini, che si sono attribuiti tutti i meriti.



Si tratta di un comportamento talmente diffuso da avere addirittura un nome: Effetto Matilda. Questo termine è stato ideato nel 1993 dalla storica della scienza Margaret W. Rossiter e si riferisce, appunto, al mancato riconoscimento delle donne nella ricerca scientifica e l'attribuzione sistematica del merito dei loro risultati ai colleghi uomini. La Rossiter ha voluto in tal modo ricordare Matilda Joselyn Gage, un'attivista americana del XIX secolo, che in un suo saggio del 1833 dal titolo "Woman As an Inventor" racconta come diverse scoperte scien-

tifiche ed invenzioni fossero il risultato del lavoro di donne rimaste nell'anonimato; non è difficile immaginare che a quel tempo il saggio fece molto scalpore.

Per quanto riguarda le donne della Tavola Periodica, però, finalmente giustizia è stata fatta; le ritroviamo tutte nel libro "Women in their Element" di Annette Lykknes e Brigitte Van Tiggelen, pubblicato non a caso nel 2019, anno che l'Unesco ha dedicato alla Tavola Periodica per celebrare il suo centocinquantesimo compleanno.

Purtroppo, molti altri soprusi sono ancora da sanare e molti altri vengono perpetrati anche ai giorni nostri. E dire che le donne in ambito scientifico e tecnologico possono fare e dare molto per le loro naturali e intrinseche qualità: curiosità e creatività; predilezione per ricerche interdisciplinari e per una scienza rispettosa dell'ambiente; abilità nell'usare gli strumenti della tecnologia; disponibilità a tramandare le competenze maturate; capacità a collaborare e a gestire i conflitti spesso dovuti all'atteggiamento competitivo del modello maschile.

Le donne, dunque, non hanno bisogno di quote rosa perché hanno tutte le carte in regola per salire i vertici e imporsi soprattutto in ambito scientifico; non a caso Roald Hoffman, premio Nobel per la Chimica nel 1981 e uomo veramente illuminato, ha detto: amo troppo la scienza per privarla dell'intelligenza delle donne.

Concludo con una nota positiva; il mese di febbraio di quest'anno ha segnato due notevoli successi per la nostra disciplina. Il primo riguarda il 72° Festival di Sanremo; il 2 febbraio abbiamo, infatti, potuto ascoltare una canzone intitolata "Chimica" che finalmente viene associata all'amore e non, come avviene di solito, alle cose più brutte e sporche che uno può immaginare. Il ritornello è accattivante e chi non lo conosce può sentirlo collegandosi a Raiplay (<https://www.raipplay.it/video/2022/02/>

Sanremo-2022-seconda-serata-Ditonellapiaga-e-Donatella-Rettore-cantano-Chimica-386245f4-05a4-4d40-9280-651ec6866631.html).

Il secondo successo, invece, ha a che fare addirittura con Papa Francesco che, durante la trasmissione "Che tempo che fa" di domenica 6 febbraio, ha pubblicamente dichiarato di essere stato sedotto dalla Chimica prima ancora di sentire la vocazione. Forse non tutti sanno che il nostro Papa è perito chimico e questa sua sensibilità chimica emerge molto chiaramente nell'Enciclica Laudato Si', che consiglio a tutti di leggere, perché è un trattato in cui scienza, etica, politica e anche poesia si fondono in maniera mirabile.

Forse per la nostra disciplina, tanto bella quanto bistrattata, le cose stanno cambiando; magari in questo febbraio, nel quale si sente già l'aria primaverile (il riscaldamento globale imperversa!), una rondine fa proprio primavera.

E siccome fra poco comincerà la vera primavera, che segna la rinascita della natura, anche la nostra rivista si è voluta in parte rinnovare; non voglio anticipare nulla, ti auguro solo una buona lettura. ■



Paola Govoni

Dipartimento di Filosofia e Comunicazione dell'Università di Bologna

✉ p.govoni@unibo.it

7th International Day of Women and Girls in Science

Giustizia ambientale e sociale: i due lati della stessa medaglia

RIASSUNTO Il report 2022 del consorzio AlmaLaurea su laureate/i e loro condizione occupazionale attira quest'anno l'attenzione su un fenomeno noto da tempo: al sorpasso macroscopico delle laureate sui laureati (in aumento in Italia dal 1991, quando si è verificato per la prima volta), non corrisponde una adeguata risposta del mercato del lavoro. In occasione del settimo International Day of Women and Girls in Science, e con obiettivi educativi a sostegno di una più paritaria partecipazione alla scienza di ragazze e ragazzi di ogni cultura e estrazione sociale, in queste pagine si commenteranno quei dati, anche in relazione con il tema della giornata di quest'anno: "Equity, diversity, and inclusion: Water unites us".

ABSTRACT The latest data produced by the Alma-Laurea consortium (2022) highlights a fact known to anyone working in education in Italy: the overtaking – constantly increasing since the early 1990s – of female graduates over male graduates is not matched by an adequate response from the labor market. On the 7th International Day of Women and Girls in Science, and with educational goals to support an equal participation in science of both girls and boys of any cultures, these pages will comment on that data in relation to the theme of the 2022 edition: "Equity, diversity, and inclusion: Water unites us".

Introduzione

Con l'obiettivo di sostenere la libera partecipazione di ragazze e donne di ogni paese all'educazione e al lavoro in ambito scientifico e tecnologico, nel 2015 l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (UN) ha istituito un International Day of Women and Girls in Science da celebrare l'11 febbraio di ogni anno. Negli ultimi due decenni agenzie internazionali come le UN hanno fatto molto – se non altro in

termini di campagne informative e raccolta di dati – per coinvolgere le ragazze nello studio della scienza e per sostenere le donne che l'hanno scelta come ambito professionale.

Interessante, in campagne come quelle a cura delle UN, è la convinzione che la scienza – la cultura che sostiene la sopravvivenza delle società umane – e la parità di genere – che chiama in campo temi ampi di giustizia sociale – siano ugualmente vitali per il raggiungimento di quegli obiettivi di sviluppo sostenibile, inclusi quelli dell'Agenda 2030, non più rimandabili.

Sintetizzerei così la filosofia che sostiene quegli obiettivi: come possiamo pensare di rispettare l'ambiente, optando per scelte economiche e politiche adeguate, se non siamo in grado di rispettarci tra umani di sesso/genere, etnia, classe, cultura, lingua diverse? Un quesito a mio parere da affrontare in ambito educativo a ogni livello, scolastico quanto universitario.

I dati ci mostrano che molto resta da fare per combattere i pregiudizi che tengono lontane le ragazze da certi settori tecnico-scientifici. Al momento di scegliere il percorso educativo di secondo e terzo livello, in Italia le ragazze sembrano muoversi secondo le logiche di una mentalità che non gioca a loro favore così come alle esigenze delle società tecnoscientifiche in cui viviamo.

Abbiamo bisogno di una scienza libera da pregiudizi per poterla orientare secondo criteri di responsabilità e sostenibilità che devono ormai puntare decisi, con la riduzione a zero della produzione di CO₂ in tempi brevi, a un suo deciso riassorbimento: operazioni possibili solo con investimenti massicci in creatività scientifica che – a parità di condizioni – è statisticamente distribuita in modo omogeneo tra donne e uomini. Politiche della ricerca lungimiranti

non possono più essere frenate da strategie che in ambito professionale – ovunque, dicono i dati nazionali e internazionali – tendono a escludere donne e minoranze: competitor impostisi più o meno ovunque nel cosiddetto occidente nel corso della seconda metà del Novecento. Su questo fenomeno abbiamo purtroppo una ampia letteratura, anche storiografica oltre che sociologica [1 e 2]. Si prendano i dati Unesco, disponibili in rete, che confermano un fenomeno inquietante: nei paesi dove sono più alti la percentuale di GDP investita in ricerca e sviluppo e il numero di ricercatori per milione di abitanti, ci sono proporzionalmente meno ricercatrici. In altre parole, più il mondo scientifico è forte in termini di investimenti e rapporti con l'economia e la politica, più è in grado di attirare uomini ambiziosi che emarginano le donne, nonostante queste, in moltissimi paesi, abbiano nel complesso ormai superato gli uomini a livello di laurea come di dottorato [3].

Scuole di ogni grado e indirizzo e università possono avere un ruolo incisivo a sostegno di un'educazione alla parità e all'inclusione che sia concepita in senso ampio, di genere e non solo. A partire da dati come quelli che saranno qui rapidamente richiamati e disponibili in rete, discutere di questi temi appassionerebbe ragazze e ragazzi su temi di scienza in relazione a questioni che riguardano da vicino il loro presente e il loro futuro. Dall'educazione a una scienza sostenibile può scaturire una sensibilità più profonda nei confronti dell'ambiente così come di una maggiore giustizia sociale [4].

Nelle nostre aule scolastiche e universitarie, insieme al tema dei rapporti controversi tra ragazze, matematica e scienza, possiamo parlare anche dell'abbandono scolastico maschile e, perché no, delle devastazioni ambientali e dei fallimenti sociali globali di una scienza e di una politica da sempre in mani soprattutto maschili. I dati che qui richiamerò mostrano, a mio parere, che non sono tanto le ragazze, quanto piuttosto i ragazzi e gli uomini che vanno sostenuti al cambiamento.

Ragazze e donne nella scienza: lo strano caso dell'Italia

Nel 2020 secondo l'ultimo report AlmaLaurea le laureate sono state il 58,7% a fronte del 41,3% di laureati. Se si guarda al background familiare di quella popolazione, il 28,3% delle laureate ha un genitore già laureato a fronte del 34,3% dei laureati. Ancora più interessante è che tra coloro che hanno conseguito una laurea magistrale, ben il 42,5% dei laureati l'ha conseguita nello stesso settore di uno dei genitori a fronte del 31% delle laureate [5, p. 6]. Le donne si confermano dunque più degli uomini

artefici del proprio miglioramento sociale attraverso lo studio, oltre che nel complesso più studiose: si laureano con voti più alti e impiegano meno tempo. Eppure, invece che di ragazzi che si laureano in numeri sempre minori, si parla più volentieri di rapporti difficili tra le ragazze e i settori scientifici, tecnologici, ingegneristici e matematici (STEM).

A questo proposito, è forse il caso di ricordare che ricerche diverse – dalle neuroscienze alla sociologia, dalla psicologia sociale alla storia della scienza a molto altro – hanno contribuito a dimostrare che i cervelli umani sono plastici e sociali e, a parità di educazione e opportunità, donne e uomini sono analogamente adatti a qualsiasi attività intellettuale, incluse com'è ovvio la matematica e le scienze [6]. Dati ed evidenze alla mano, possiamo discutere in classe di come i cervelli umani non nascano “maschili” o “femminili” – qualsiasi cosa ciò significhi in società diverse –, ma possano diventarlo in risposta alla cultura più o meno patriarcale in cui le nostre menti agiscono. Come singole/i e comunità apprendiamo in relazione con le aspettative, i modelli di ruolo, i linguaggi e tutto ciò che fa cultura nelle famiglie e nelle società in cui cresciamo. Queste considerazioni ci aiutano a comprendere quelle dinamiche tra menti e contesti che fanno in modo che in paesi dove la parità di diritti e doveri tra donne e uomini è un obiettivo condiviso, per esempio nei paesi scandinavi, le ragazze in matematica vadano come o meglio dei ragazzi, come mostrano a ogni nuova edizione i dati del PISA. Così come in paesi dove quella parità è invece ancora molto lontana – per esempio, nel Qatar o negli Emirati Arabi – le ragazze possano analogamente essere più brave dei maschi in matematica: una disciplina nella quale s'impegnano evidentemente con la determinazione di chi vuole farsi valere. Per capire il maggiore o minore rendimento delle ragazze in matematica – un sapere che nella sfera pubblica è ancora da molte/i ritenuto per menti “maschili” – basta insomma indagare nei contesti di riferimento [7].

Se è noto che in Italia le ragazze hanno rendimenti in matematica inferiori a quelli dei ragazzi, non è noto come dovrebbe che il paese è al 63° posto nel mondo per parità di genere secondo il report Global Gender Gap (GGG) a cura del World Economic Forum (WEF) [8]. Dovrebbe pure essere ricordato più spesso che in Italia le laureate in matematica hanno superato i laureati nello stesso settore negli anni Settanta. Ragionare su questi e altri dati non ci offre soluzioni facili, ma ci costringe a complicare il quadro mettendo in crisi i nostri pregiudizi e ci aiuta a capire che il problema non è nelle ragazze, ma nella società in

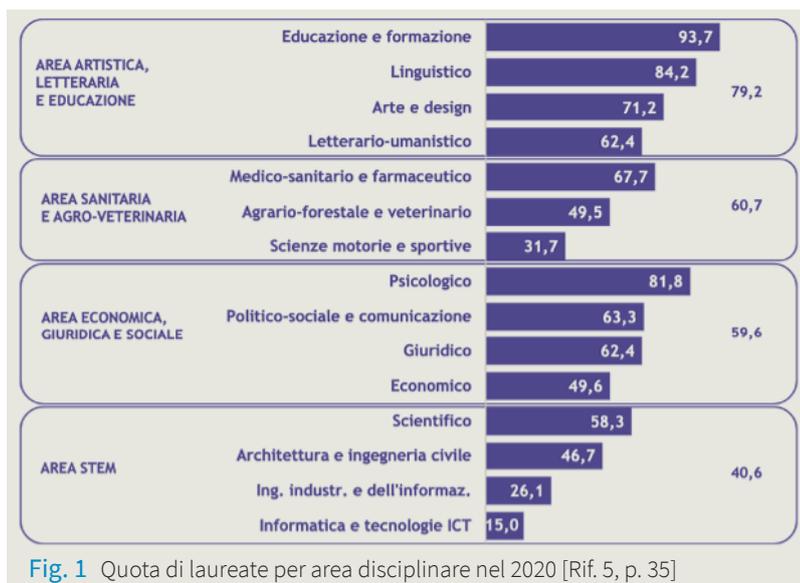


Fig. 1 Quota di laureate per area disciplinare nel 2020 [Rif. 5, p. 35]

cui vivono: evidentemente, un'antropologia e un'economia patriarcali impregnano di sé in Italia più che in altri paesi europei ogni istituzione, pubblica quanto privata. Come docenti abbiamo delle responsabilità nei confronti di una cultura che trasmette di generazione in generazione l'idea che la matematica e certe scienze siano per ragazzi e non per ragazze: una discriminazione che colpisce le ragazze – ma anche le minoranze e le classi sociali più svantaggiate – e ha degli alti costi economici e ambientali.

Gli indicatori su cui si genera la classifica GGG del WEF – la più accreditata al momento a livello internazionale – sono l'accesso all'educazione e alla sanità, la rappresentanza politica e la presenza delle donne nel mercato del lavoro: la pessima posizione dell'Italia è causata dalla bassa partecipazione femminile al mercato del lavoro. Il report 2022 del consorzio AlmaLaurea ha finalmente messo in evidenza il drammatico squilibrio tra le performance delle laureate e le loro chance di trovare lavoro (Figure 1 e 2). I dati che mostrano la bassa percentuale di laureate/i in Italia rispetto agli altri paesi europei e il divario a favore delle laureate, in costante aumento dal 1991, possono essere discussi in classe, in primo luogo, per sostenere un più diffuso interesse per proseguire gli studi all'università, in particolare da parte dei ragazzi, più a rischio di abbandono scolastico rispetto alle ragazze. Quei dati andranno incrociati con quelli che mostrano come – al contrario dei “sentito dire” che circolano – chi ha una formazione superiore ha più chance di trovare lavoro – e meglio

retribuito – o di ritrovarlo se lo perde. Si tratta di dati utili a evidenziare soprattutto che le nuove generazioni sono ancora orientate a coltivare l'idea che esistano scienze per donne – le scienze mediche, biologiche e sociali – e scienze per uomini: quelle che offrono l'impalcatura alle economie delle nostre società, in primo luogo l'ingegneria e l'informatica. Settori, questi ultimi, dove si trova lavoro prima e gli stipendi sono più alti. Una quantità di ricerca storiografica e sociologica ha ampiamente dimostrato che l'(auto)esclusione delle donne da questi ultimi settori è stata sistematica, non progressiva nel tempo e attribuibile a lotte tipiche tra competitori, come nel caso della computer science, dove le donne fino agli anni Sessanta sono state protagoniste [9].

Le ragazze, la Chimica e l'Informatica

AlmaLaurea non ha fornito i dati scorporati per singolo corso di studi ma, dai dati in figura 1, deduciamo che le e gli iscritti a Chimica sono inclusi nel settore “scientifico”, dove le laureate nel 2020 sono state il 58,3% del totale delle/dei laureati: un'ottima performance. Non è male nemmeno il dato complessivo, che vede un 40,6% di laureate in tutta l'area STEM; una percentuale che, sempre secondo dati AlmaLaurea, sale al 43,8% se si guardano i dati relativi al dottorato di ricerca. Per non dire del settore medico-sanitario e agro-veterinario, dove le laureate sono il 60,7% del totale in quel settore nel 2020. Le laureate sono inoltre la maggioranza: in ambito economico, giuridico e sociale (59,6%) e

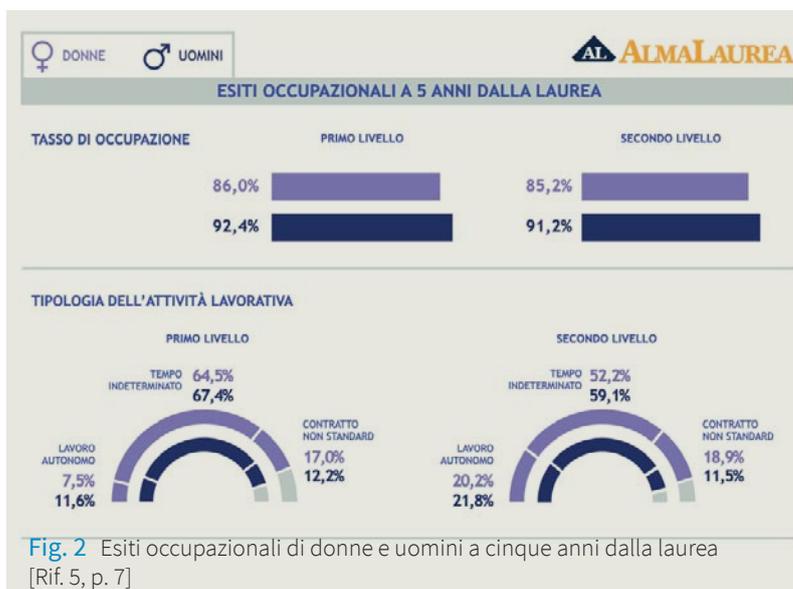
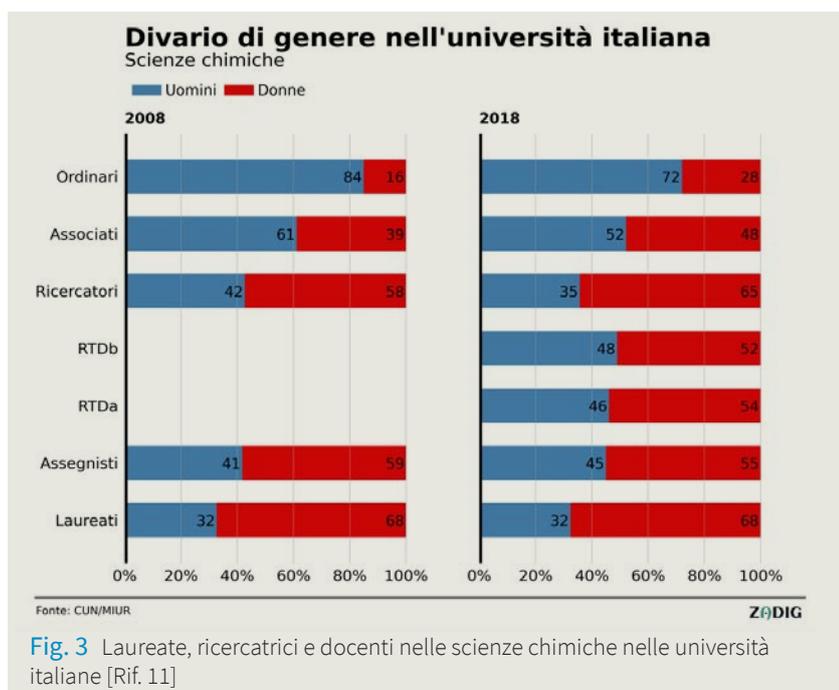


Fig. 2 Esiti occupazionali di donne e uomini a cinque anni dalla laurea [Rif. 5, p. 7]



in quello artistico, letterario e educativo (79,2%; in questo settore, quest'ultimo, dove hanno sorpassato i laureati prima della Seconda guerra mondiale). Se confrontiamo i dati in figura 1 con quelli in figura 2, si capisce dunque a colpo d'occhio la gravità della situazione da un punto di vista, in primo luogo umano, ma più in generale sociale: si investe nella formazione di giovani donne che poi non possono realizzarsi nel mercato del lavoro come potrebbero, con grave danno personale e economico complessivo. Se poi proiettiamo nel tempo il problema, la voragine diventa inquietante: si tratta di uno spreco di talenti davvero insostenibile, nel senso pieno del termine. Fino agli anni Sessanta del Novecento le italiane erano la maggior parte della popolazione analfabeta (una piaga, quella dell'analfabetismo, che il paese ha sanato a fatica e molto tardi). Nella seconda metà del secolo il riscatto delle donne in termini educativi è stato caratterizzato da una spinta dal basso che è in crescita ancora oggi. Parliamo di donne benestanti, ma anche appartenenti alla piccola borghesia e ai ceti popolari. La tendenza positiva è continuata nel 2008, in tempi di crisi economica, quando le iscrizioni universitarie in Italia erano calate, ma non quelle femminili e anche nel settore chimico: nel 2016 (ultimi dati Istat disponibili) si erano laureate nel gruppo chimico-farmaceutico 6.096 donne su un totale di 9.250 laureate/i [10]. Una situazione confermata dai dati Miur e CUN più recenti e qui mostrati in figura 3, dove si mette in luce che le giovani che scelgono la Chimica non trovano in ambito universitario sbocchi adeguati alla loro passione per la ricerca: evidentemente un pro-

blema non solo per le donne, ma per la qualità stessa delle istituzioni [11]. Da fonti al momento solo giornalistiche che hanno trasmesso un comunicato del Miur (13 gennaio 2022), risulta che le iscrizioni universitarie di quest'anno (2021-2022), nuovamente in tempi di crisi economica, sono nel complesso calate del 3%. È un dato molto grave in un paese che già è il penultimo in Europa, dopo la Romania, per il basso numero di laureate/i. Ma le donne – ancora una volta – si sono dimostrate un attore sociale dalla straordinaria dinamicità: pare che ci sia stato un aumento complessivo delle iscrizioni femminili nei settori STEM, con addirittura un + 16,36% nel settore dell'informatica.

Ambiente, scienza e parità

I dati AlmaLaurea 2022 relativi alla soddisfazione per il lavoro di laureate e laureati confermano che le donne sono più frustrate degli uomini per ciò che riguarda le possibilità di guadagno e di carriera. Ma anche un altro dato a mio parere è interessante: le donne più degli uomini ritengono importante l'utilità sociale del proprio lavoro, qualsiasi esso sia [5, p. 89]. Si tratta a mio parere di un valore importante sul quale fare leva anche in ambito educativo. L'argomento consente di chiudere questa rapida chiacchierata su ragazze, ragazzi e STEM almeno con un accenno al tema "Equity, Diversity, and Inclusion: Water Unites Us", cui è stato dedicato quest'anno lo International Day of Women and Girls in Science. Le UN hanno ancora una volta richiamato la nostra attenzione sul fatto che prosperità economica, giustizia sociale e rispetto ambientale sono da sostenere insieme e con approcci integrati: non ci può essere l'una senza le altre. Anche noi, in classe, possiamo discutere di ricerca sostenibile e responsabile e insieme di questioni sociali come la parità e l'inclusione attraverso temi naturalistici e insieme scientifici e tecnologici: il tema "acqua" si presta perfettamente allo scopo. Lavorare sulle interazioni tra natura, tecnologie e società potrebbe sia attirare in generale più giovani interessate/i a una scienza rispettosa dell'ambiente, sia smantellare quei luoghi comuni su mestieri da donne e da uomini che ancora circolano nelle nostre aule, spesso senza che ce ne rendiamo conto. ■

Riferimenti

- [1] *Donne all'università*, a cura di A. Micali, Bologna, il Mulino, 2001.
- [2] *L'università delle donne. Accademiche e studentesse dal Seicento a oggi*, a cura di A. Martini e C. Sorba, Donzelli, Roma, 2021.
- [3] Unesco *Institute for Statistics, How much does your country invest in R&D?*
<http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/> (ultimo accesso a questo e agli altri siti qui citati, 4 febbraio 2022).
- [4] *L'avventura del progetto IRRESISTIBILE. Insegnanti, studenti ed esperti a confronto su temi di ricerca d'avanguardia e aspetti della Ricerca e Innovazione Responsabile*, a cura di M. Venturi, Bononia University Press, Bologna, 2018.
- [5] Consorzio Interuniversitario AlmaLaurea, *Laureate e laureati: scelte, esperienze e realizzazioni professionali. Rapporto 2022*, disponibile all'indirizzo https://www.almalaurea.it/sites/almalaurea.it/files/convegni/gennaio2022/6_almalaurea_rapportocompleto_laureatelaureati.pdf
- [6] G. Rippon, *The gendered brain: The new neuroscience that shatters the myth of the female brain*, London, Vintage, 2019.
- [7] P. Govoni, Hearsay, Not-So-Big Data, and Choice: On Understanding Science and Maths by Looking at Men Who Supported Women, in *Against all Odds: Women's Ways to Mathematical Research Since 1800*, E. Kaufholz-Soldat and N. Oswald Editors, Heidelberg, Springer Nature, 2020, pp. 281-314.
- [8] WEF, *Global gender gap report 2021*, p. 9, documento disponibile all'indirizzo https://www3.weforum.org/docs/WEF_GGGR_2021.pdf
- [9] J. Light, When Computers Were Women, in *Technology and Culture*, 1999, 40, 3, pp. 455-483.
- [10] Ricerca effettuata in I.stat, *Laureati*, http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCIS_LAUREATI#
- [11] C. Sabelli, Disparità di genere nelle università italiane. C'è ancora molto da fare, in *Scienzainrete*, 15/01/2021, all'indirizzo https://www.scienzainrete.it/articolo/disparit%C3%A0-di-genere-nelle-universit%C3%A0-italiane-c%C3%A8-ancora-molto-da-fare/chiara-sabelli/2021?fbclid=IwAR3JtBKMOF0yZJ3WPnTJcwMLVsnn1URtlaq3LvkuWf_8Bbj8cU5APqkwAI

Margherita Venturi

Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università di Bologna

✉ margherita.venturi@unibo.it

Le nanoscienze approdano alla Scuola Segre (e alla Scuola Del Re) con un mare di opportunità didattiche, ma anche di sfide da affrontare

RIASSUNTO Nel 2021 la Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana ha deciso di iniziare congiuntamente la Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre", dedicata fondamentalmente ai docenti universitari, e la Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re", rivolta in maniera prioritaria agli insegnanti di scuola secondaria di secondo grado, per il seguente motivo: poiché il tema scelto, le *nanoscienze*, per la sua sempre maggiore importanza in campo applicativo, comincia ad avere anche rilevanti ricadute nella didattica chimica a tutti i livelli d'istruzione, si è voluto favorire e potenziare al massimo l'interazione fra tutti gli attori coinvolti nel processo di insegnamento/apprendimento della Chimica. Dopo due giornate comuni, però, la Scuola Segre e la Scuola Del Re si sono "separate"; per ciascuna sono state, infatti, organizzate due ulteriori giornate con attività specifiche e selezionate ad hoc considerato il diverso target delle scuole. In questo contributo è riportato un breve resoconto delle due giornate introduttive, mentre quello pubblicato di seguito descrive quanto affrontato nelle giornate dedicate specificatamente alla Scuola Segre.

ABSTRACT In 2021 the Didactics Division of the Italian Chemical Society decided to jointly start the "Ulderico Segre" School of Educational Research and Chemistry Didactics, mainly dedicated to university teachers, and the National School of Chemistry Education "Giuseppe Del Re", mainly involving the teachers of the secondary school, for the following reason: since the chosen theme, *nanosciences*, due to its increasing importance in the field of application, begins to have significant impact in chemical teaching at all levels of education, we wanted to favor and maximize the interaction between all the actors involved in the teaching/learning process of Chemistry.

After two common days, however, the Segre School and the Del Re School "separated"; in fact, for each, two further days were organized with activities selected ad hoc considering the different target of the schools. This contribution contains a brief report of the two introductory days, while the one published below describes what was dealt with in the days dedicated specifically to the Segre School.

Introduzione

La Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana organizza annualmente la Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre" che si propone di stimolare l'interesse verso la ricerca educativa come strumento per affrontare in modo efficace i problemi di insegnamento/apprendimento a livello universitario, sensibilizzare i docenti, attuali e futuri, alle problematiche relative al processo di insegnamento/apprendimento della Chimica nella scuola e nell'università e proporre strategie didattiche che favoriscano il coinvolgimento attivo degli studenti (<https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/scuola-didattica>). Quest'anno la Scuola, giunta alla sua XIII edizione, si è focalizzata su un tema, quello delle *nanoscienze*, che assume importanza sempre maggiore in campo applicativo e che, quindi, comincia ad avere anche rilevanti ricadute nella didattica chimica a tutti i livelli d'istruzione. Infatti, questo tema è sempre più spesso oggetto di corsi specifici avanzati a livello universitario, ma è lecito chiedersi se i concetti chiave delle nanoscienze possano influenzare la didattica degli insegnamenti della Chimica di base.

Le prime due giornate di attività, 17 e 18 novembre 2021, si sono svolte in comune con la Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re" (<https://www.soc.chim.it/it/node/2638>) allo scopo di favorire e potenziare l'interazione fra tutti gli attori

coinvolti nel processo di insegnamento/apprendimento della Chimica. Alle due giornate comuni ne sono seguite altre due, 23 e 30 novembre 2021, su aspetti della tematica generale più avanzati e di più specifico interesse della Scuola Segre; un resoconto di tali giornate è riportato da Floriano e Venanzi in un contributo pubblicato di seguito a questo che, invece, riguarda le due giornate comuni.

Prima di entrare in dettaglio sugli argomenti affrontati nelle attività introduttive, è giusto fare qualche considerazione generale sulla platea che ha partecipato alla Scuola; per ovvi motivi e come per il 2021, si è dovuta adottare la modalità a distanza che, se da una parte non ha permesso di lavorare in piccolo gruppo, dall'altra ha favorito una partecipazione più ampia rispetto alle edizioni in presenza: 96 docenti di cui 37 universitari e 59 insegnanti di scuola secondaria di secondo grado. Si è anche deciso di limitare gli incontri al pomeriggio per avere la massima presenza soprattutto dei docenti di scuola che di mattina sono impegnati con le lezioni. Inoltre, come è emerso da un questionario che abbiamo chiesto di compilare alla fine delle quattro giornate di lavoro, il tema affrontato e le attività presentate durante la Scuola hanno riscosso il gradimento dei partecipanti. In figura 1 sono mostrate alcune domande significative e relative risposte che ci hanno ulteriormente convinto della validità di quanto proposto.

E ora veniamo ad un breve resoconto delle due giornate introduttive che, come detto sopra, si sono svolte in comune con la Scuola Del Re; questa Scuola, in analogia con la Segre, è proseguita con due giornate su aspetti selezionati ad hoc, ma, a differenza di essa e come già avvenuto per l'edizione 2020 della Del Re, prevede anche la progettazione da parte degli insegnanti di un'attività da svolgere in classe e la presentazione del lavoro fatto a tutti i partecipanti. Presumibilmente ciò si concluderà entro la fine di marzo e solo allora potremo tirare le fila; questo significa che un rendiconto su questa Scuola potrà apparire solo nel prossimo numero della nostra rivista.

17 novembre 2021: aspetti generali

Dopo i graditi saluti e gli auguri di buon lavoro da parte del Ministro dell'Istruzione, prof. Patrizio Bianchi, la scrivente ha brevemente introdotto il tema affrontato dalle due Scuole. Ha sottolineato che le nanoscienze non sono un nuovo campo della scienza, ma costituiscono il raccordo

Sei d'accordo con le seguenti affermazioni?

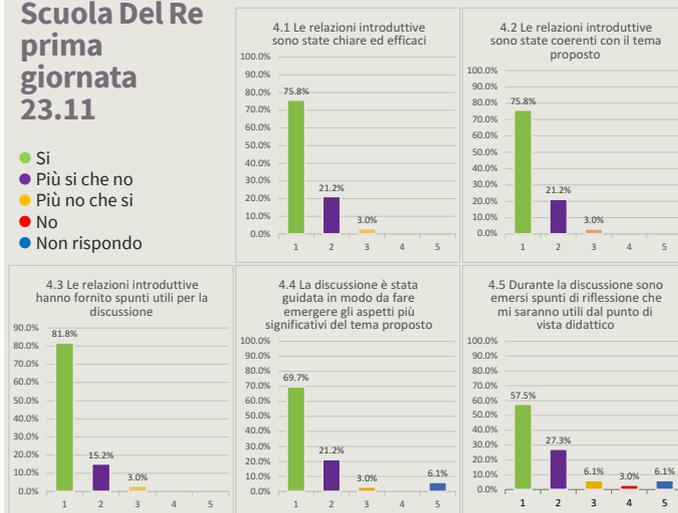
I risultati sono espressi in % rispetto al numero delle risposte

● Si ● Più sì che no ● Più no che sì ● No ● Non risponde



Scuola Del Re prima giornata 23.11

● Si ● Più sì che no ● Più no che sì ● No ● Non risponde



Scuola Del Re seconda giornata 30.11

● Si ● Più sì che no ● Più no che sì ● No ● Non risponde

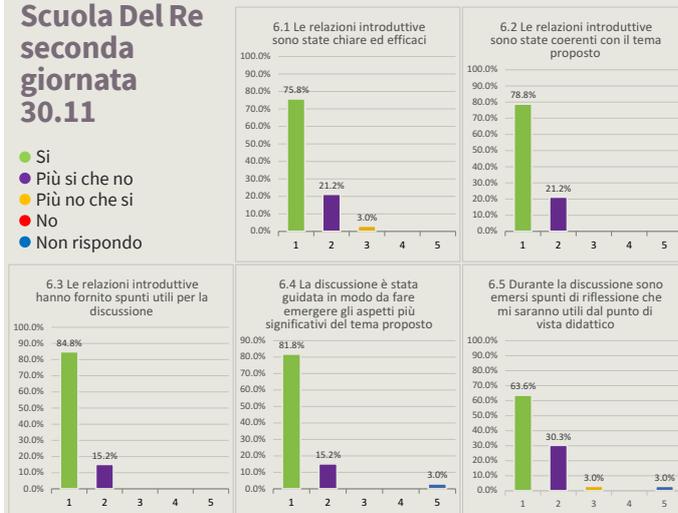


Fig. 1 Alcune domande e relative risposte del questionario sottoposto ai partecipanti la Scuola Segre

fra il mondo macroscopico e il mondo micro- e ultramicro-scopico; riguardano, infatti, quei sistemi le cui dimensioni spaziano da qualche nanometro a circa un centinaio di nanometri; la novità sta nel fatto che solo recentemente, con lo sviluppo di appropriate tecniche sperimentali, è stato possibile spingere le indagini al di sotto del centinaio di nanometri evidenziando che in questo range di dimensioni la materia ha un comportamento peculiare e unico. Partendo da questa premessa ha, quindi, descritto brevemente quanto sarebbe stato affrontato nel corso delle due Scuole: dalle peculiarità più importanti (ad esempio, la dipendenza delle proprietà dalle dimensioni, il rapporto superficie/volume che aumenta esponenzialmente al diminuire delle dimensioni, l'auto-assemblaggio come principio organizzatore del nanomondo biologico), alle tecniche spettroscopiche in grado di ottenere immagini a livello nanometrico, dalle applicazioni in campo industriale, medico e informatico, ai problemi sociali ed etici che sono sempre insiti nella tecnologia; infatti, come ha detto C. P. Snow: *Technology ... is a queer thing. It brings you great gifts with one hand, and it stabs you in the back with the other.*

Finita la breve introduzione è stata la volta di quattro relatori esperti del settore; il primo, **Gianfranco Pacchioni** del Dipartimento di Scienza dei Materiali dell'Università Milano-Bicocca, nella relazione intitolata *Dall'invenzione della carta all'iPhone - Come le nanotecnologie hanno cambiato il mondo*, ha ripercorso la storia della diffusione della cultura e del sapere. Se per secoli i soli supporti su cui conservare e trasmettere conoscenza e informazione sono stati tavolette di argilla, papiri e pergamene, grazie alla carta e all'invenzione della stampa a caratteri mobili il sapere ha iniziato a diffondersi sempre più. Ma nel XX secolo, grazie alle nanotecnologie, ai transistor, ai dischi magnetici e alle fibre ottiche, il mondo della conoscenza ha visto la rivoluzione più profonda che i Sapiens abbiano mai sperimentato. Il relatore ha, quindi, ricordato che nel giro di pochi decenni siamo passati da pesanti calcolatrici meccaniche a potentissimi computer tascabili con cui siamo in contatto diretto e continuo con miliardi di nostri simili (Figura 2).

Si tratta di una rivoluzione che ne sta portando altre; infatti, dopo internet, smartphone e social media, sono in arrivo intelligenza artificiale, machine learning, data science. Quindi, conoscere le potenzialità delle nanotecnologie è fondamentale per capire il futuro che ci aspetta [1] (video della presentazione).

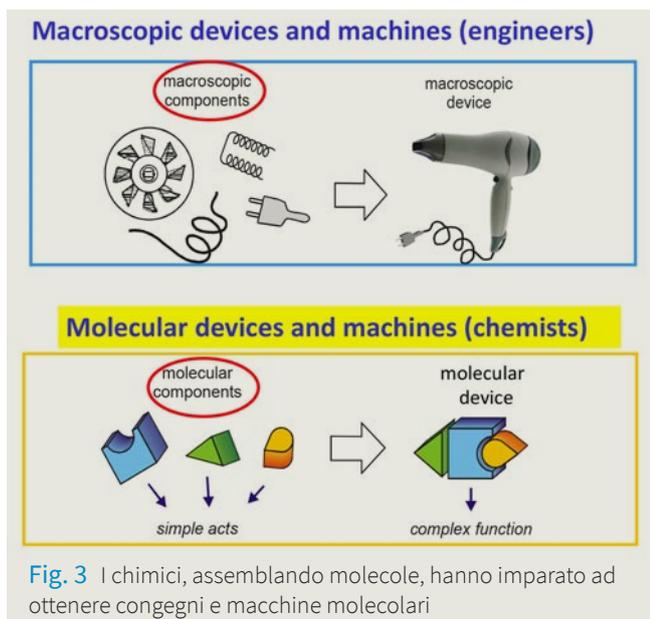


Fig. 2 I "frutti" delle nanotecnologie

Il secondo relatore, **Giovanni Capranico** del Dipartimento di Farmacia e Biotecnologia dell'Università di Bologna, ci ha portato nel mondo della Biologia; ha, infatti, affrontato il tema *Gli enzimi nucleari come macchine molecolari coordinate per permettere l'espressione del genoma*. Partendo dalla considerazione che l'espressione del genoma determina i processi vitali di una cellula e che, a sua volta, le funzioni del genoma sono determinate e regolate da una serie di macchine molecolari costituite soprattutto da proteine e RNA, il relatore si è concentrato sul fatto che le funzioni del genoma richiedono la separazione dei due filamenti della doppia elica di DNA e il loro successivo ri-appaiamento e che questa necessità strutturale comporta importanti tensioni torsionali del duplex che sono risolti dalle DNA topoisomerasi [2] (video presentazione).

È stata poi la volta di **Vincenzo Balzani**, professore emerito dell'Università di Bologna, che nella sua relazione *Dalle molecole alle macchine molecolari* ha parlato dello sviluppo della Chimica supramolecolare. Ha, infatti, mostrato come negli ultimi 30 anni i chimici abbiano imparato a sintetizzare molecole "su ordinazione" e ad associarle in modo appropriato per formare sistemi supramolecolari che, stimolati da impulsi esterni (luminosi, elettrici, chimici), sono in grado di svolgere funzioni specifiche (Figura 3).

Il relatore si è, quindi, focalizzato sulla sintesi e sulla descrizione di quei sistemi supramolecolari capaci di compiere movimenti di tipo meccanico; si tratta di vere e proprie macchine di dimensioni nanometriche che, in un futuro non troppo lontano, potranno offrire affascinanti prospettive nei più disparati settori, dalla medicina, ai materiali innovativi e all'informatica [3] (video presentazione).



L'incontro si è chiuso, dulcis in fundo, con l'intervento di una relatrice, **Paola Ceroni** del Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università di Bologna, che ha parlato di *Nanoparticelle e luce: un futuro solare*. Dopo aver ribadito il concetto che le proprietà dei materiali cambiano drasticamente passando dal mondo macroscopico al mondo nanometrico, ha mostrato il caso eclatante del silicio: campioni macroscopici di questo elemento hanno scarse proprietà ottiche, cioè assorbono poco la luce solare e non sono luminescenti, mentre campioni di dimensioni nanometriche, cioè nanoparticelle di silicio, sono altamente luminescenti (Figura 4) e se, opportunamente ricoperti alla loro superficie con coloranti, funzionano come antenne molecolari,



utili per la conversione dell'energia solare in elettricità [4] (video presentazione).

Nonostante la tarda ora, la discussione è stata abbastanza vivace: la maggior parte delle domande ha riguardato gli sviluppi futuri, in qualche caso anche preoccupanti, delle nanotecnologie (vedi, ad esempio, l'intelligenza artificiale), un possibile utilizzo delle macchine molecolari artificiali e le tecniche di sintesi delle nanoparticelle di silicio, comprese altre loro applicazioni soprattutto in ambito medico.

18 novembre 2021: aspetti epistemologici, storici, inter- e trans-disciplinari

Questo incontro si è focalizzato sui risvolti delle nanoscienze più propriamente didattici, aprendo anche a considerazioni etiche e sociali.

Il primo relatore, **Giovanni Villani**, ricercatore dell'Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici del CNR di Pisa, ha affrontato gli aspetti epistemologici, ma non solo, come recita il titolo del suo intervento *Aspetti epistemologici delle nanoscienze ed altro*. Dopo aver ricordato che le nanoscienze sono intermedie tra il mondo molecolare chimico e il mondo macroscopico, sia sotto il profilo concettuale sia sotto quello materiale, riguardando enti con dimensioni nel range tra 10 e 100 nanometri, il relatore ha sottolineato che tali enti, proprio per le loro dimensioni, hanno caratteristiche chimiche e fisiche differenti non solo dalle corrispondenti molecole costitutive, ma anche da un loro campione macroscopico. La scala dimensionale delle nanoscienze, inoltre, è anche quella tipica delle macromolecole e delle macchine cellulari (come, ad esempio, i mitocondri) e, quindi, le problematiche tra le macchine artificiali delle nanoscienze e quelle naturali delle cellule sono evidenti. La relazione si è pertanto focalizzata sui concetti fondanti, sulle teorie di riferimento e sulle pratiche conoscitive associabili alle nanoscienze e del loro rapporto, da un lato, con il mondo molecolare della Chimica e, dall'altro, con il mondo biologico cellulare [5] (video presentazione).

La discussione che ha sollevato l'intervento di Villani è stata ampia e stimolante; un aspetto che è emerso è quello del concetto e/o definizione di sostanza che presenta risvolti problematici; infatti, c'è la tendenza comune ad usare tale termine come sinonimo sia delle molecole costituenti la sostanza stessa, che di materiale. Il dibattito su questo punto è stato molto acceso con il confronto di vari punti di vista e non si è concluso, tanto è vero che il tema è stato ripreso anche nell'ultima giornata dedicata alla Scuola,



Fig. 5 Faraday e la sintesi delle nanoparticelle di oro

come riportato nel contributo di Floriano e Venanzi che segue.

Con **Luigi Fabbrizzi**, professore emerito dell'Università di Pavia, si sono affrontati gli aspetti storici; nel suo intervento, intitolato *Una storia delle nanoscienze a tappe*, il relatore si è posto alcune domande di base: cosa sono le nanoscienze? Cosa sono le nanotecnologie? Sono nate prima le nanoscienze o le nanotecnologie? Per rispondere ai primi due interrogativi ha ricordato che tra il mondo macroscopico, che da sempre percepiamo con i nostri sensi (interpretato dalla fisica classica), e il mondo delle molecole (teorizzato dalla meccanica quantistica e ordinato dalle leggi della Chimica) esiste una 'terra di mezzo', caratterizzata dalle dimensioni delle particelle, tra 1 e 100 nm, un mondo a misura nano (nanoworld), con proprietà uniche, ben distinte da quelle degli altri due mondi, che è appunto l'oggetto di interesse delle nanoscienze. Le nanotecnologie, invece, studiano lo sviluppo di nuovi materiali che sfruttano le caratteristiche delle nanoparticelle nell'ambito della catalisi, dell'elettronica, della medicina, dell'energia e dell'ambiente. Quindi, le prime riguardano la scienza e la ricerca scientifica, mentre le seconde sono coinvolte nelle applicazioni. Usando un excursus storico molto dettagliato il relatore ha poi cercato di rispondere al suo terzo interrogativo: sono nate prima le nanoscienze o le nanotecnologie? Uno potrebbe dire che si tratta della classica domanda: è nato prima l'uovo o la gallina? E invece no, perché il relatore ha dimostrato con chiarezza che l'uso delle nanotecnologie va molto indietro nel tempo e, anche, che è stato fin da subito un uso "consapevole", al contrario di quello che comunemente si dice; ha, infatti, riportato ricette antiche per la sintesi di nanoparticelle (Figura 5). Ovviamente per evidenziare

i "prodotti" della nanotecnologia si è dovuto aspettare lo sviluppo di appropriati strumenti di indagine e anche questo punto è stato affrontato in un'ottica storica.

Il grandissimo pregio di questo contributo è che il relatore ha saputo unire con grande maestria gli aspetti storici e didattici: come riprodurre in classe le antiche ricette per preparare nanoparticelle, quali altri tipi di sintesi si possono usare, quali strumenti possono essere utilizzati per riconoscerle e quali risvolti applicativi possono avere, con particolare riguardo per i pro e i contro [6] (video presentazione).

Anche in questo caso la discussione è stata vivace e si è concentrata soprattutto sui possibili spunti didattici: cosa si può affrontare nella scuola secondaria di secondo grado, quando e come; cosa, invece si può affrontare a livello universitario, se è meglio inserire questi argomenti nell'insegnamento di base della Chimica o se è meglio rimandarli in un ambito più specialistico. Chiaramente la discussione non è finita, ma è stata solo rimandata alle battute finali della Scuola Segre.

Ha chiuso il pomeriggio la sottoscritta che, con una relazione dal titolo *L'approccio della Chimica supramolecolare all'interpretazione del mondo macroscopico: la scala della complessità chimica*, ha cercato di dimostrare che alla base dell'ordine che caratterizza il mondo biologico c'è un solo e potentissimo processo: il riconoscimento e l'associazione molecolare. Questo altro non è che l'approccio tipico della Chimica supramolecolare che permette di unire, con un unico e incredibile filo logico, il mondo invisibile degli atomi e delle molecole al mondo macroscopico che culmina con l'uomo. Si tratta di intraprendere un meraviglioso viaggio che consiste nel salire la scala della così detta complessità chimica (Figura 6) che parte dagli atomi e arriva, gradino dopo gradino, fino all'uomo che, per quanto riguarda



Fig. 6 La scala della complessità chimica permette di unire il mondo invisibile al mondo macroscopico

il mondo biologico, è sicuramente l'esemplare più complesso dal punto di vista chimico.

Durante questo viaggio la relatrice ha anche messo a confronto le macchine molecolari create dai chimici e le macchine molecolari naturali dimostrando quanto il confronto sia impari e a favore della Natura che ha avuto millenni per sviluppare e migliorare i suoi sistemi [7] (video presentazione).

Quindi, il contributo ha cercato di riprendere i concetti esposti dai relatori precedenti e di preparare il terreno per l'ultima giornata della Segre; proprio per questo e, soprattutto per la tarda ora, la discussione praticamente si è limitata ad un ringraziamento per i relatori del pomeriggio: i partecipanti ormai erano abbastanza provati.

Conclusione

Anche se le considerazioni che posso trarre nel mio contributo riguardano solo due delle quattro giornate della Segre, l'opinione personale è che siamo partiti bene e, come recita un vecchio adagio, *chi ben comincia è a metà dell'opera*.

Mi sembra di poter dire che la consapevolezza delle grandi opportunità didattiche che l'introduzione delle nanoscienze, sia a livello di scuola di secondo grado che di università, può offrire cominci a farsi strada e stia sgomberando il campo dalle molte perplessità. Ovviamente occorre ancora superare tante sfide, ma la Divisione di Didattica è al fianco dei docenti proprio per questo. ■

Riferimenti

- [1] (a) G. Pacchioni, *Quanto è piccolo il mondo*, Zanichelli, 2008; (b) G. Pacchioni, *Il nanomondo dai virus ai transistor*, Edizioni Dedalo, 2021.
- [2] M. Balistreri, G. Capranico, M. Galletti, S. Zullo, *Biotechnologie e modificazioni genetiche. Scienza, etica, diritto*, il Mulino, 2020.
- [3] (a) V. Balzani, A. Credi, M. Venturi, *Molecular Devices and Machines – Concepts and Perspectives for the Nanoworld*, Wiley-VCH, 2008; (b) A. Credi, V. Balzani, *Le macchine molecolari*, 1088 Press - Alma Mater Studiorum Università di Bologna, 2018.
- [4] R. Mazzaro, F. Romano, P. Ceroni, Long-lived luminescence of silicon nanocrystals: from principles to applications, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 2017, **19**, 26507.
- [5] (a) G. Villani, *Complesso e organizzato - Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, FrancoAngeli Edizioni, 2008; (b) G. Villani, *Chemistry – A systemic complexity science*, Pisa University Press, 2017.
- [6] L. Fabbri, Beyond the molecule: intermolecular forces from gas liquefaction to X–H...π hydrogen bonds, *ChemPlusChem*, 2022, **87**, e202100243.
- [7] (a) V. Balzani, M. Venturi, Dall'atomo all'uomo: la complessità dalla chimica alla biologia, in *Complessità, Evoluzione, Uomo* (Ed. F. Facchini), Jaca Book, 2011, p. 79; (b) M. Venturi, V. Balzani, Dall'atomo all'uomo, *Sapere*, 2013, **79**, 42.

Michele A. Floriano

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche,
Chimiche e Farmaceutiche dell'Università di Palermo
✉ michele.floriano@unipa.it

Mariano Venanzi

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche
dell'Università di Roma "Tor Vergata"
✉ venanzi@uniroma2.it

Lo sviluppo delle nanoscienze e la didattica universitaria di base

RIASSUNTO È qui riportato il resoconto sintetico delle due giornate specifiche della XIII edizione della Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre", organizzata dalla DD-SCI, sul tema delle nanoscienze e sull'impatto che questo tema di grande attualità può avere sulla didattica dei corsi universitari di base. Sono state descritte le moderne tecniche microscopiche che consentono di ottenere immagini a risoluzione nanometrica ed è stato discusso il significato di queste immagini. Inoltre è stata analizzata la dipendenza dalle dimensioni delle proprietà fisiche e chimiche della materia su scala nanometrica mettendo in evidenza che il processo di autoassemblaggio consente al chimico di realizzare strutture supramolecolari dotate di proprietà specifiche.

ABSTRACT Summaries of the two specific sessions of the XIII edition of the School of Education Research and Chemistry Didactics "Ulderico Segre", organized by DD-SCI, on Nanoscience and on how this discipline may affect the teaching of chemistry undergraduate courses are reported. Modern microscopy techniques, which allow to obtain images with atomic resolution, were described and the interpretation of these images was discussed. Furthermore, the size dependence of physical and chemical properties of matter at the nanometric scale was analysed. The possibility of obtaining supramolecular structures with specific properties by self-assembly was also highlighted.

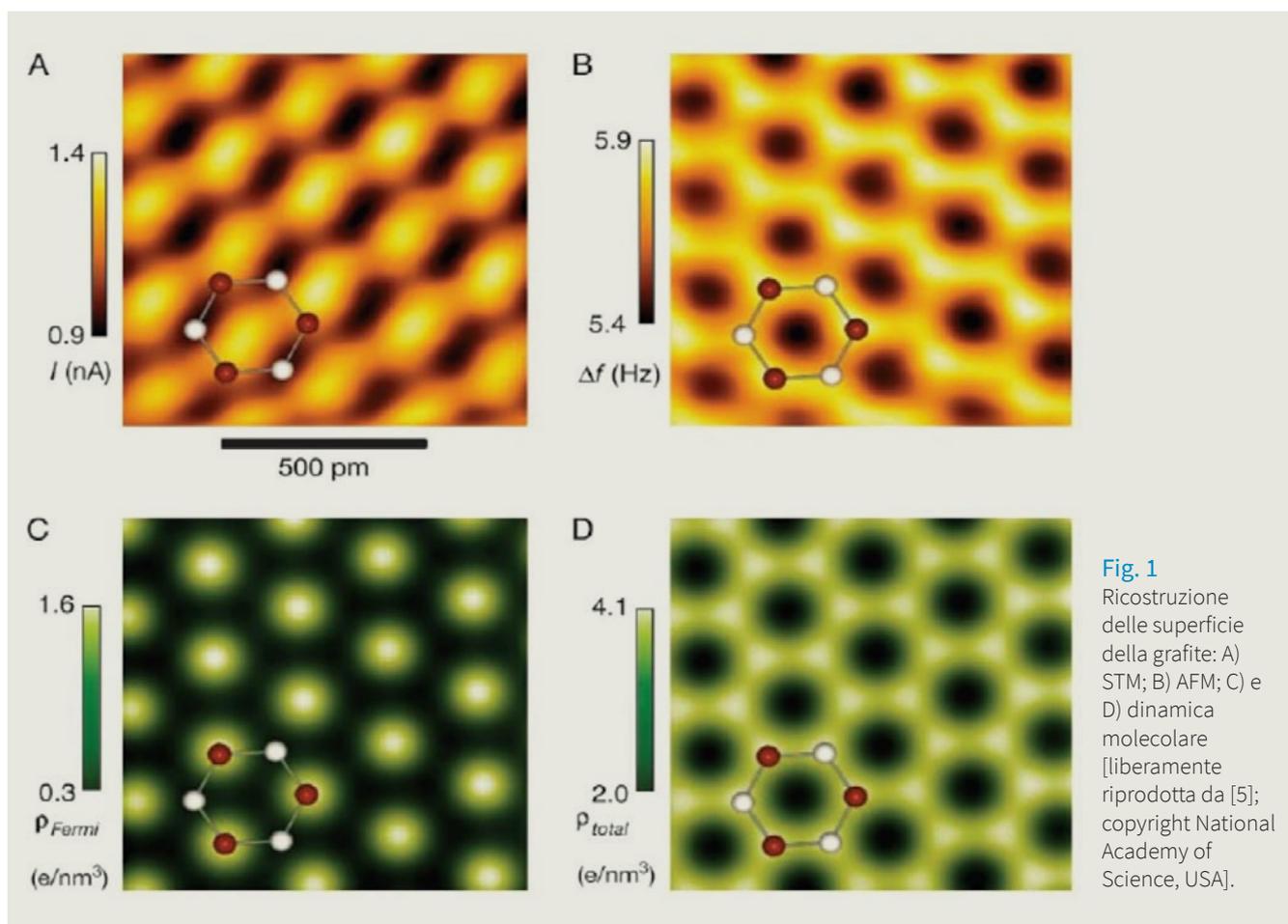
Introduzione

Facendo seguito al resoconto delle prime due giornate comuni alla Scuola "Ulderico Segre" [1] e alla Scuola "Giuseppe Del Re" [2] oggetto del precedente articolo di questo stesso fascicolo, nel presente contributo sono riportate descrizioni sintetiche delle due giornate della Scuola Segre spe-

cificatamente dedicate alla didattica universitaria, svoltesi il 23 novembre 2021 (dal titolo *Si possono vedere gli atomi?*) e il 30 novembre 2021 (dal titolo *Self-assembly - Un approccio che connette il mondo degli atomi al mondo macroscopico*). Le presentazioni utilizzate dai relatori così come le registrazioni integrali delle relazioni sono disponibili nel sito web della scuola [1]. A questo materiale rimandiamo per una più dettagliata descrizione degli argomenti trattati.

Si possono vedere gli atomi?

Le nanoscienze, a quarant'anni dalla pubblicazione dell'articolo di Binning et al. che introduceva il primo microscopio a scansione a effetto tunnel [3], possono essere considerate una disciplina matura che ha definito propri campi di indagine e procedure. La Scuola Segre si è posta la domanda se gli avanzamenti concettuali e sperimentali acquisiti dalle nanoscienze e, nella loro declinazione applicativa, dalle nanotecnologie, possano costituire uno strumento per affrontare alcuni problemi della didattica universitaria di base. Crediamo che sia opinione condivisa il giudizio di inadeguatezza dei modelli attualmente applicati per introdurre nei corsi dei primi anni dell'attuale curriculum delle lauree in Chimica argomenti come la struttura atomica e molecolare, la configurazione elettronica, i concetti di orbitali atomici e molecolari, avendo come bagaglio conoscenze rudimentali, se non nulle, di meccanica quantistica. Secondo questa organizzazione degli studi viene riprodotta nei corsi universitari dei primi anni la discrasia esistente a livello dell'istruzione secondaria, per la quale, mentre la fisica è impegnata a illustrare teorie e modelli della fisica classica, i docenti di Chimica sono 'costretti' a maneggiare oggetti (elettroni, atomi, molecole) intrinsecamente quantistici. Escludendo la scelta di introdurre da subito una so-



stanziabile iniezione di teorie quantistiche, resta da verificare se un approccio sperimentale con risoluzione nanometrica, oggi ben stabilito, possa costituire se non un'alternativa, almeno uno strumento utilizzabile per rendere meno astratti concetti legati alla natura atomica e molecolare della materia. Da qui il titolo, volutamente problematico, di questa terza giornata della Scuola Segre: *Si possono vedere gli atomi?*

Per fornire la discussione di una solida base di partenza, abbiamo chiesto a ricercatori che operano nel campo delle nanotecnologie di illustrare metodiche e contenuti fisici delle tecniche di indagine che costituiscono il loro armamentario sperimentale.

Antonio Mio dell'Istituto per la Microelettronica e Microsistemi del CNR di Catania ha introdotto le tecniche di microscopia elettronica a scansione (STEM) e a trasmissione (TEM), descrivendo i progressi tecnici che oggi permettono di analizzare l'organizzazione di materiali nanostrutturati con risoluzione atomica [4]. Nella seconda parte del suo intervento, il Dr. Mio ha introdotto tecniche spettroscopiche a raggi X (Energy Dispersive X-ray Analysis, EDX) ed elettroniche (Electron Energy Loss Spectroscopy, EELS), che, accoppiate alle tecniche microscopiche, permettono di analizzare la composizione chimica

con una risoluzione a livello atomico, nonché di ottenere una misura diretta della densità degli stati energetici e dei potenziali di lavoro superficiali. È stato ben evidenziato come queste tecniche di indagine, oltre a permettere di caratterizzare le proprietà strutturali, morfologiche ed elettroniche di nanosistemi, siano alla base dello sviluppo di materiali innovativi per tutta una serie di applicazioni che vanno dalla nanoelettronica alla sensoristica (video Mio).

Manuela Scarselli e Anna Sgarlata del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata" hanno introdotto le tecniche di microscopia a scansione a effetto tunnel (STM) e a forza atomica (AFM), illustrandone i principi generali di funzionamento e mettendo in evidenza la natura delle interazioni che ne determinano la risoluzione sperimentale. In figura 1 è riportata la ricostruzione degli strati superficiali della grafite ottenuta da misure STM, AFM e da simulazioni di dinamica molecolare [5].

Di particolare rilievo è l'applicazione delle tecniche di sonda come spettroscopia di forza, metodica che ha permesso di misurare le forze di adesione cellulare e delle interazioni substrato/recettore e proteina/proteina a livello di singola molecola. La capacità di manipolare la materia a livello atomico è stata bril-

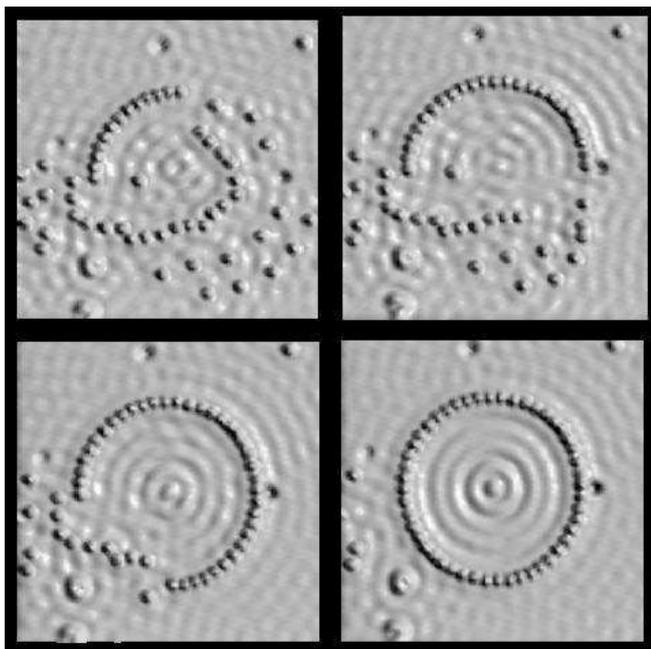


Fig. 2 Costruzione del quantum corral di Crommie et al [6]: la struttura circolare è composta da 48 atomi di ferro immobilizzati su una superficie di rame [Cu(111)]; le ondulazioni visibili nella figura in basso a destra sono dovute agli elettroni racchiusi nel recinto [copyright AAAS]

lantemente provata nella costruzione di architetture di grande impatto visuale e significato non solo tecnologico. In figura 2 sono state riportate immagini che documentano la capacità di costruire strutture ordinate mediante la manipolazione di singoli atomi utilizzando la punta di un microscopio a scansione a effetto tunnel. Le onde di diffrazione elettronica ben visibili nella struttura finale, ne giustificano la denominazione immaginifica di corral quantistici [6] (video Sgarlata – video Scarselli).

Il dibattito che ha fatto seguito alle relazioni introduttive è stato particolarmente vivace a partire proprio dall'argomento titolo della giornata. Tutti hanno riconosciuto la potenza conoscitiva delle tecniche illustrate, che effettivamente rendono possibile un'indagine sperimentale con una risoluzione a livello atomico. Più controversa è la risposta alla domanda iniziale. Queste tecniche sono effettivamente in grado di *vedere gli atomi*?

Un aspetto che è stato sottolineato riguarda il fatto che queste tecniche richiedono una ricostruzione delle immagini che fa uso pesantemente di software che traducono il segnale sperimentale in una visualizzazione bi- o tridimensionale. È stato ribadito che quello che viene direttamente misurato sono correnti elettriche, differenze di potenziale, radiazioni elettromagnetiche diffuse o emesse, e che non si dovrebbe dimenticare troppo facilmente la distanza tra osservabile fisico e rappresentazione

dello stesso. Più esplicitamente sono state poste all'attenzione domande, che sollecitano risposte affatto scontate: in cosa le immagini nelle figure sopra riportate differiscono dalla fotografia di un oggetto macroscopico? Immagini AFM o STM sono una rappresentazione più diretta di una struttura molecolare rispetto ad uno spettro IR della stessa molecola? In un corso di Chimica Generale del primo anno queste immagini possono essere presentate come una prova diretta della struttura atomica della materia?

È stato affermato che “qualsiasi forma di visualizzazione (anche la fotografia di un oggetto macroscopico) costituisce una rappresentazione derivante da molte azioni di mediazione, e implica una interpretazione e una decodifica che per essere plausibili devono avvenire all'interno di un quadro teorico ben definito. Le ‘immagini’ del mondo quantistico pongono una difficoltà ulteriore, in quanto si riferiscono ad un mondo ‘intrinsecamente non visualizzabile’. In questo caso, le azioni di elaborazione e di traduzione del dato sperimentale sono particolarmente evidenti e la trasposizione iconografica assume il carattere di analogia” [7].

È chiara la natura epistemologica di queste considerazioni. Ma non è altrettanto vero che in ogni caso siamo sempre legati ad una rappresentazione del dato sperimentale puro e semplice? Che lo stesso dato trova significato all'interno di una teoria che lo spiega e che il dato stesso, a sua volta, falsifica o promuove? In questo senso, non c'è differenza qualitativa tra un'immagine AFM di una fibra e i riflessi di una figura di diffrazione ai raggi X.

Ma tornando all'interrogativo sollevato dalla scuola, circa l'utilizzabilità dei contenuti conoscitivi delle nanoscienze nei corsi chimici di base, non sono ancora più distanti da una descrizione fisicamente fondata i modelli che vengono utilizzati nei corsi dei primi anni per introdurre concetti e grandezze puramente quantistici (si pensi ai modelli che vengono utilizzati per descrivere il legame chimico)? Le rappresentazioni che usiamo per descrivere la struttura o la densità elettronica di una molecola non vanno anche queste rielaborate, tradotte e spiegate?

Ad un livello più profondo, è casuale che la superficie della grafite riportata in figura 1 sia così simile alle descrizioni che ne facciamo normalmente utilizzando modelli esplicativi di lunga data? Quelle increspature concentriche all'interno del quantum corral di figura 2 non ci convincono della natura ondulatoria degli elettroni? Le immagini AFM e STM sono una risposta a questa domanda?

Self-assembly - Un approccio che connette il mondo degli atomi al mondo macroscopico

In un ideale passaggio progressivo, mediante l'aggregazione spontanea (self-assembly) di piccole unità atomiche/molecolari, si realizza un ponte fra il mondo submicroscopico, quello delle particelle isolate, e il mondo macroscopico dei dispositivi. In questo "mondo di mezzo" si manifestano peculiarità che sono tipiche della materia su scala nanometrica. Da un lato, durante il processo di aggregazione, le proprietà fisiche e chimiche della materia variano con continuità fino a raggiungere il valore caratteristico del materiale bulk, e dall'altro, il processo di crescita, dominato dalle interazioni intermolecolari, è fortemente influenzato dalle caratteristiche strutturali delle unità di partenza. Nel processo di self-assembly è spesso possibile riconoscere una scala gerarchica in cui ciascuno stadio dipende dal precedente e in cui, complessivamente, il risultato finale dipende dallo stato iniziale, così come le caratteristiche di un muro dipendono dalle proprietà dei singoli mattoni che lo compongono che, a loro volta, sono determinate dalle proprietà dei granelli individuali che costituiscono ciascun mattone. Ovviamente, l'aggregazione di unità molecolari in strutture supramolecolari è anche fortemente influenzata da aspetti dinamici. Quello che però riempie di senso la natura gerarchica del processo di self-assembly è il fatto che ad ogni livello strutturale emergono nuove proprietà funzionali che non sono direttamente deducibili dai livelli inferiori, come risultato di un sistema integrato di relazioni che coinvolgono non solo il sistema nella sua complessità, ma anche le interazioni che si stabiliscono tra sistema e ambiente.

Su scala nanometrica, la dipendenza di molte proprietà fisiche e chimiche dalle dimensioni, oltre a offrire importanti spunti interpretativi che hanno anche risvolti didattici, offre l'opportunità di progettare e realizzare materiali dotati di nuove proprietà e comunque diverse da quelle dello stesso materiale massivo.

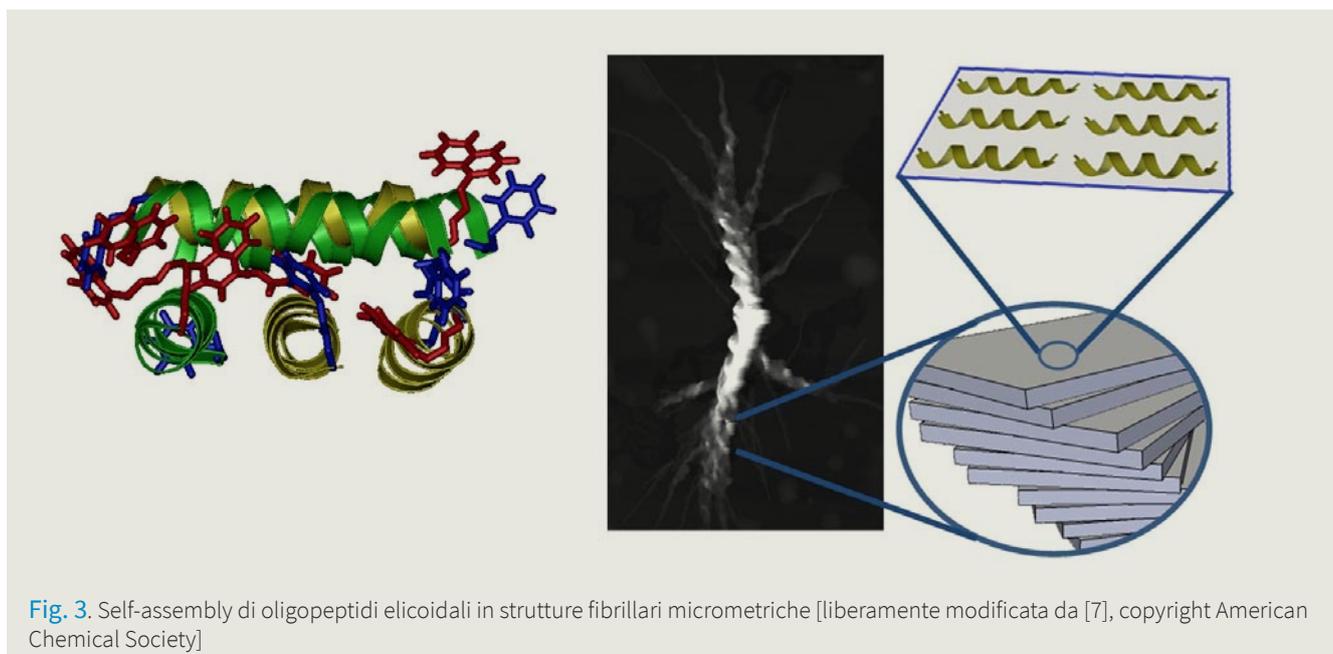
I due aspetti appena citati sono stati oggetto di approfondimento e discussione nella quarta giornata della Scuola Segre 2021, a seguire dalle relazioni introduttive di **Claudio Sangregorio** (ICCOM-CNR, Firenze) e **Mariano Venanzi** (Università di Roma "Tor Vergata").

Nel primo intervento, lo studio delle proprietà magnetiche di nanoparticelle di varia natura è stato utilizzato per dimostrare lo sviluppo di nanomateriali dotati di proprietà magnetiche ottimizzate per la

produzione di energia da fonti rinnovabili, per lo sviluppo di veicoli elettrici e per applicazioni nella diagnostica medica. In particolare, analizzando la variazione del ciclo di isteresi al variare della natura chimica delle unità costituenti e delle dimensioni delle nanoparticelle, è stato possibile mettere in evidenza l'emergere di nuove proprietà, presenti solo in questa scala dimensionale, che variano al variare della grandezza delle nanoparticelle. Come accade per la maggior parte delle sostanze, anche per altre proprietà fisiche (punto di fusione, conducibilità elettrica, ...) e chimiche (reattività), le anomalie riscontrabili a scale dimensionali tipiche delle nanoparticelle sono attribuibili all'effetto di una frazione non trascurabile di molecole presenti in superficie rispetto al numero totale. Le molecole presenti in superficie, infatti, a differenza di quelle interne che interagiscono in tutte le direzioni con altre molecole, sono soggette ad interazioni anisotrope e di interfaccia con altre fasi della stessa sostanza o di sostanze diverse. Nel processo di accrescimento delle particelle, all'aumentare delle dimensioni, il rapporto superficie/volume diminuisce e le proprietà fisiche e chimiche tendono al valore tipico del materiale massivo. Gli studi sulle nanoparticelle magnetiche hanno dimostrato che il confine oltre il quale si raggiunge il comportamento macroscopico non è netto ed è fortemente influenzato dalla natura chimica delle unità stesse (video Sangregorio).

Nella seconda relazione, Mariano Venanzi ha sottolineato come i processi di self-assembly possano essere definiti come la spontanea e reversibile associazione di componenti molecolari per formare architetture complesse, la cui struttura è determinata dalle informazioni molecolari contenute nei singoli componenti. La struttura finale di queste architetture supramolecolari è fissata dal delicato bilancio di contributi entropici (l'organizzazione del sistema in un dato ambiente) ed entalpici (la somma delle interazioni intermolecolari).

È stato sottolineato che uno degli aspetti più interessanti di questi processi è rappresentato da come l'emergere di nuove funzioni sia legato al raggiungimento di differenti livelli strutturali. Il carattere gerarchico del processo di self-assembly è, in definitiva, il risultato delle proprietà dinamiche di questi sistemi complessi e della natura cooperativa di questi processi. Tali principi sono stati illustrati mediante diversi esempi nel campo di molecole di interesse biologico in cui fenomeni di aggregazione conducono a strutture supramolecolari di diversa



morfologia. In figura 3 è riportato l'esempio di eliche peptidiche (strutture secondarie) che stratificano in piani ordinati nanometrici. L'avvolgimento elicoidale di questi piani dà luogo alla formazione di fibrille micrometriche, la cui morfologia è messa chiaramente in evidenza da misure AFM [8].

A questo riguardo, di particolare interesse è lo studio del meccanismo di aggregazione di peptidi bioattivi che possono essere progettati per scopi terapeutici con possibili applicazioni nella cura di disturbi neurodegenerativi o di malattie infiammatorie (video Venanzi).

Il dibattito che ha seguito le due relazioni introduttive è stato aperto ponendo in discussione in particolare due temi:

- a. le peculiari proprietà della materia su scala nanometrica, messe in evidenza dal notevole sviluppo delle nanotecnologie a cui si è assistito nel recente passato, possono essere di ausilio per la didattica della Chimica di base?
- b. il fatto che, le proprietà fisiche e chimiche della materia su scala nanometrica dipendano dalle dimensioni degli aggregati, mette in discussione la comune definizione di sostanza?

Il dibattito ha evidenziato alcuni aspetti meritevoli di riflessione e approfondimento.

1. Sebbene una discussione dettagliata degli aspetti teorici e applicativi delle nanoscienze debba essere riservata a corsi avanzati, il docente di corsi di Chimica di base anche in percorsi "non chimici" dovrebbe curare con particolare attenzione quegli aspetti che sono fondamentali nelle nanoscienze. Alcuni di questi aspetti sicuramente

riguardano una chiara distinzione fra le proprietà di atomi/molecole isolati, solitamente trattate con un approccio quantomeccanico, e le proprietà macroscopiche derivanti dall'insieme di un numero molto elevato di molecole (proprietà collettive). Tuttavia, dovrebbe essere chiarito esplicitamente il passaggio/connessione fra i due domini dimensionali anche consolidando la trattazione delle interazioni intermolecolari.

2. Il concetto/definizione di sostanza, anche alla luce delle evidenze offerte dal comportamento di nanoaggregati, presenta sicuramente aspetti problematici. Durante il dibattito è chiaramente emersa da un lato la tendenza a identificare la sostanza con le molecole costituenti e, dall'altro, una visione macroscopica legata all'esistenza di proprietà caratteristiche e costanti come, per esempio, i punti fissi di transizione di fase. Questa duplice visione, di cui le evidenze sperimentali ottenibili da tecniche strumentali con risoluzione nanometrica ne dimostrano chiaramente le possibili incongruenze, è alquanto diffusa.

A questo scopo è utile ricordare la definizione di sostanza chimica data dalla IUPAC [9]:

chemical substance: matter of constant composition best characterized by the entities (molecules, formula units, atoms) it is composed of. Physical properties such as density, refractive index, electric conductivity, melting point etc. characterize the chemical substance.

Nel corso della discussione è stato anche messo in evidenza che, soprattutto nel linguaggio comune, si utilizza frequentemente anche il termine "materiale". Si dovrebbe comunque evitare di

usare questo come sinonimo di “sostanza”. Sebbene, come suggerito nel punto 1, questo tipo di riflessioni non dovrebbe essere esplicitamente sviluppato nell’ambito di un corso di Chimica di base ricorrendo a concetti derivati dalle nanoscienze, sembrerebbe comunque opportuno che il docente ne fosse consapevole.

3. Anche facendo uso degli efficaci strumenti multimediali oggi comunemente disponibili, dovrebbe essere incoraggiato l’uso di tecniche di visualizzazione molecolare soprattutto per mettere in evidenza aspetti strutturali e dinamici di aggregati complessi. Per la parte riguardante la dinamica, nel caso di strutture contenenti un gran numero di atomi, descrizioni basate sulle leggi della fisica classica potrebbero essere adeguate.

Conclusioni

La maggior parte dei partecipanti ha espresso forti perplessità rispetto all’utilizzo dei risultati delle nanotecnologie come ausilio didattico nell’insegnamento della Chimica di base. Troppo complessi gli strumenti di indagine, troppo forte il pericolo di alimentare concezioni fisicamente infondate.

Gli estensori di queste note non sono altrettanto convinti di tale conclusione. Ritengono, infatti, urgente e necessaria una revisione meditata dei modelli e dei metodi utilizzati nell’insegnamento delle discipline chimiche di base a livello universitario. L’utilizzo a fini didattici di concetti propri delle nanoscienze non è certamente ovvio, ma è compito del docente guidare l’applicazione di nuovi approcci, chiarendone i principi ispiratori e di contesto. Del resto, gli studenti non possono essere considerati un terreno vergine, bombardati come sono da informazioni e suggestioni che nella massima parte non provengono da una cattedra universitaria. Un’esposizione controllata a conquiste relativamente

recenti della ricerca avrebbe un formidabile effetto motivazionale su buona parte degli studenti e, gli autori del presente contributo ne sono sicuri, anche dei docenti. ■

Riferimenti

- [1] Scuola di Didattica e Ricerca educativa “Ulderigo Segre”. Società Chimica Italiana. <https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/scuoladi/didattica> (accessed January 2022).
- [2] Scuola Nazionale di Didattica della Chimica “Giuseppe del Re”. Società Chimica Italiana. <https://www.soc.chim.it/it/node/2638> (accessed January 2022).
- [3] G. Binning, H. Rohrer, C. Berger, E. Weibel, Surface studies by scanning tunneling microscopy, *Phys. Rev. Lett.* 1982, **49**, 57-61.
- [4] P. Ercius, O. Alaidi, M. J. Rames, G. Ren, Electron tomography: a three-dimensional analytic tool for hard and soft materials research, *Adv. Mater.*, 2015, **27**, 5638–5663.
- [5] S. Hembacher, F. J. Giessibl, J. Mannhart, C. F. Quate, Revealing the hidden atom in graphite by low temperature atomic force microscopy, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 2003, **100**, 12539-12542.
- [6] M. F. Crommie, C. P. Lutz, D. M. Eigler, Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface, *Science*, 1993, **262**, 218-220.
- [7] E. Ghibaudi, Università di Torino, comunicazione privata.
- [8] M. Caruso, E. Placidi, E. Gatto, C. Mazzuca, L. Stella, G. Bocchinfuso, A. Palleschi, F. Formaggio, C. Toniolo, M. Venanzi, Fibrils or globules? Tuning the morphology of peptide aggregates from helical building blocks, *J. Phys. Chem. B*, 2013, **117**, 5448-5459.
- [9] IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the “Gold Book”)*. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson, <https://doi.org/10.1351/goldbook> (accessed January 2022).

Vincenzo Balzani

Professore Emerito dell'Università di Bologna

✉ vincenzo.balzani@unibo.it

Innovazione: per fare cosa?

Publicato su Bo7 del 6 febbraio 2022

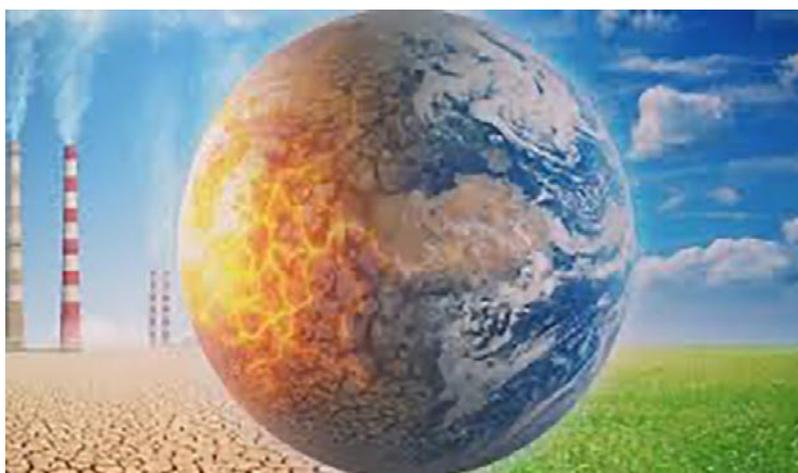
Nei periodi di crisi, come quello che stiamo attraversando, da molte parti si sostiene che è necessario fare spazio alla crescita e, quindi, all'innovazione, che è il motore della crescita. In effetti, è un momento favorevole per l'innovazione, anche perché è sostenuta con incentivi statali.

C'è un vento a favore dell'innovazione ma, come dice un noto aforisma di Seneca, "Non c'è vento a favore per il marinaio che non sa dove andare". Ecco

allora: di fronte a parole come crescita e innovazione, la prima cosa da chiedersi è: per andare dove? Per rispondere in modo corretto, bisogna sapere dove siamo e come siamo arrivati fin qui: siamo in una situazione di insostenibilità ecologica, perché stiamo distruggendo il pianeta, e di insostenibilità sociale, perché abbiamo creato disuguaglianze insostenibili; a tutto ciò vanno aggiunte gravi tensioni internazionali (ad esempio, Russia-Ucraina-NATO) e guerre più o meno dimenticate (Yemen).

Un'innovazione volta soltanto ad aumentare i consumi e ad accrescere le disuguaglianze, come è accaduto negli scorsi decenni, è la ricetta per accelerare la corsa verso la catastrofe di cui parla anche Papa Francesco nell'enciclica *Laudato si'*. Per salvare il pianeta e noi stessi è necessario che l'innovazione non sia funzionale al consumismo e tanto meno alla creazione di ostilità e guerre, ma alla sobrietà, alla collaborazione e alla pace.

Spesso le innovazioni sono viste positivamente perché contribuiscono a risolvere il problema della scarsità di lavoro. A volte, purtroppo, lo fanno a scapito della pace, fornendo strumenti di guerra sempre più sofisticati e micidiali. Più spesso, lo fanno a scapito della sostenibilità ecologica e sociale. Fra gli esempi di innovazione sbagliata, oltre a quelli nel settore degli armamenti, possiamo citare la conversione delle raffinerie di petrolio in bioraffinerie alimentate con olio di palma proveniente in gran



parte dall'Indonesia e dalla Malesia, dove per far posto alle piantagioni di palme vengono compiute estese deforestazioni con gravi danni per il territorio e per il clima. Lo scopo recondito della produzione di biocarburanti è infatti quello di continuare ad usare i combustibili fossili, ai quali i biocarburanti vengono miscelati per ottenere gas e combustibili liquidi (diesel), ingannevolmente pubblicizzati e commercializzati come combustibili "verdi".

I settori dove è più necessario innovare sono quelli dell'istruzione e della cultura. Bisogna far sapere a tutti i cittadini, in particolare ai giovani, quale è la situazione reale del mondo in cui viviamo per quanto riguarda risorse, rifiuti, disuguaglianze e guerre. L'istruzione è in gran parte di competenza dello Stato, ma anche a livello locale si può fare molto. Lo possono fare, con opportuni corsi di aggiornamento culturale e di formazione politica, le regioni, i comuni, le confederazioni dei lavoratori e degli industriali, i partiti e, perché no, le parrocchie. ■

Suggerimenti di lettura:

V. Balzani, *Salvare il pianeta per salvare noi stessi – Energie rinnovabili, economia circolare, sobrietà*, Luce Edizioni, 2020.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13662716.2020.1818555>

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13662716.2020.1726729?journalCode=ciai20>

Fabio Olmi

✉ fabio.olmi@gmail.com

Per realizzare la transizione ecologica è necessario puntare decisamente sull'economia circolare

Facciamo un po' di chiarezza

L'economia circolare è il fulcro dell'ecosostenibilità dello sviluppo. È indispensabile soprattutto per il nostro paese, data la grande dipendenza dall'estero per le principali materie prime. Tuttavia, l'uso delle discariche in Italia è attualmente ancora troppo elevato: quasi il 22% dei rifiuti finisce "in buca" [1]. La perdita netta di materia e energia (nel caso si produca anche biogas) che viene fatta scaricando i rifiuti in discarica è un delitto "ecologico". Dobbiamo ridurre al minimo l'impiego delle discariche come già avviene in altri paesi europei: non ci possiamo permettere questo spreco e solo una più appropriata raccolta differenziata e soprattutto l'impiego dell'economia circolare consentirà di ridurlo al minimo!

Vediamo in primo luogo cosa si intende per economia circolare: non sempre c'è chiarezza sul significato di questo termine. *L'economia circolare non si chiude con il recupero della materia prima seconda, ma si conclude quando questa viene trasformata di nuovo in un prodotto del tipo di quello da cui proviene o comunque, anche se diverso, utilizzabile e commerciabile.* Due esempi molto semplici: il recupero del ferroacciaio e quello del vetro che possono essere impiegati per produrre nuovi manufatti esattamente come quelli da cui provengono.

C'è poi il caso del recupero della materia rifiuto con produzione di materiali impiegati a scopi diversi da quello da cui provengono: è il caso dell'umido dei Residui Solidi Urbani (RSU) che può essere trasformato in compost per uso agricolo e fornire anche biogas, cioè energia.

C'è ancora un altro tipo di economia circolare laddove si produce qualcosa di utile *a partire da materia rinnovabile*: in questo caso non è detto si debba recuperare il manufatto, ma la natura ci for-

nisce nuovamente e ciclicamente la materia prima da cui esso si può riottenere. È l'esempio delle materie plastiche di origine vegetale come il Mater-Bi prodotto a partire dall'amido (di mais o di altri vegetali). Il problema in questo caso si sposta sulla "eliminazione" del manufatto.

Infine, economia circolare non significa *solo produzione di oggetti ma anche un loro uso multiplo*: anche l'uso, cioè, può essere circolare. Un esempio è il car sharing, l'utilizzo a tempo di un'auto che poi viene usata da un'altra persona.

Chiariti i molteplici significati che può avere l'economia circolare, vediamo *come debbono essere trattati i rifiuti per utilizzarli al meglio nell'ottica di questa economia* e successivamente quali sono i problemi che si incontrano quando si tratta di metterla in pratica. Da ultimo, vogliamo verificare come l'Italia si colloca in questo campo, ma andiamo per ordine.

Il trattamento dei rifiuti solidi urbani (RSU)

Parliamo ora dei rifiuti più comuni che riguardano le nostre città. Come devono essere i rifiuti "separati per tipologia" per essere impiegati validamente nell'economia circolare? Devono essere essenzialmente *privi di componenti impuri e sufficienti quantitativamente per alimentare la nuova produzione industriale.*

Qual è la situazione della gestione dei rifiuti in Italia? Le considerazioni che verranno sviluppate nel seguito provengono da un documento elaborato da The European House – Ambrosetti in collaborazione con A2A (la più grande multiutility italiana) [2]. Tale documento è stato presentato in anteprima il 3 settembre 2021 in occasione del Forum Ambrosetti di Cernobbio.

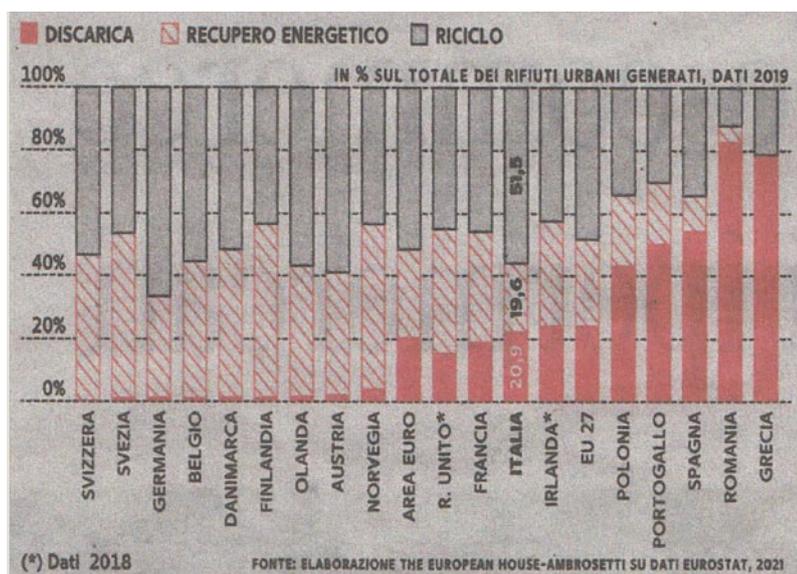


Fig. 1. Come vengono trattati i rifiuti in Europa

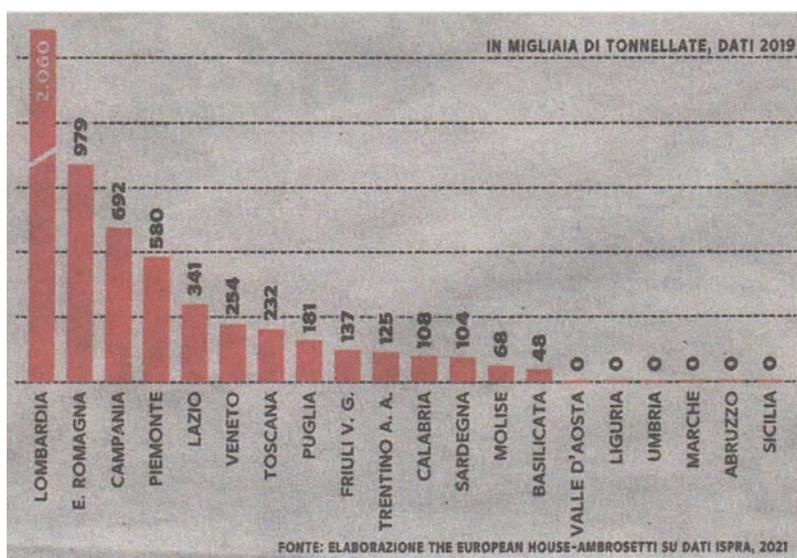


Fig. 2. Rifiuti urbani in Italia trattati in impianti di recupero energetico

La posizione dell'Italia è ancora lontana dagli obiettivi UE, in particolare per quanto riguarda le discariche. Come abbiamo già accennato, noi "gettiamo in buca" una quantità eccessiva di materia senza recupero: il nostro tasso di conferimento in discarica è circa 30 volte più elevato di quello di altri paesi europei come Svezia, Germania, Belgio, Danimarca e Svizzera (Figura 1).

L'Italia usa le discariche per circa il 21% dei rifiuti e solo quattro regioni sono sotto il 10% (Lombardia, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia e Campania) (Figura 2). Da puntuali analisi effettuate è emerso un dato allarmante: entro i prossimi tre anni la capacità residua delle nostre discariche si esaurirà, con differenze significative tra Nord (4,5 anni) e Sud (1,5 anni).

Per la situazione descritta, il nostro Paese vede crescere progressivamente le penali per l'infrazione: le sentenze di condanna sono costate all'Italia dal 2012 ad oggi 750 milioni di euro all'erario.

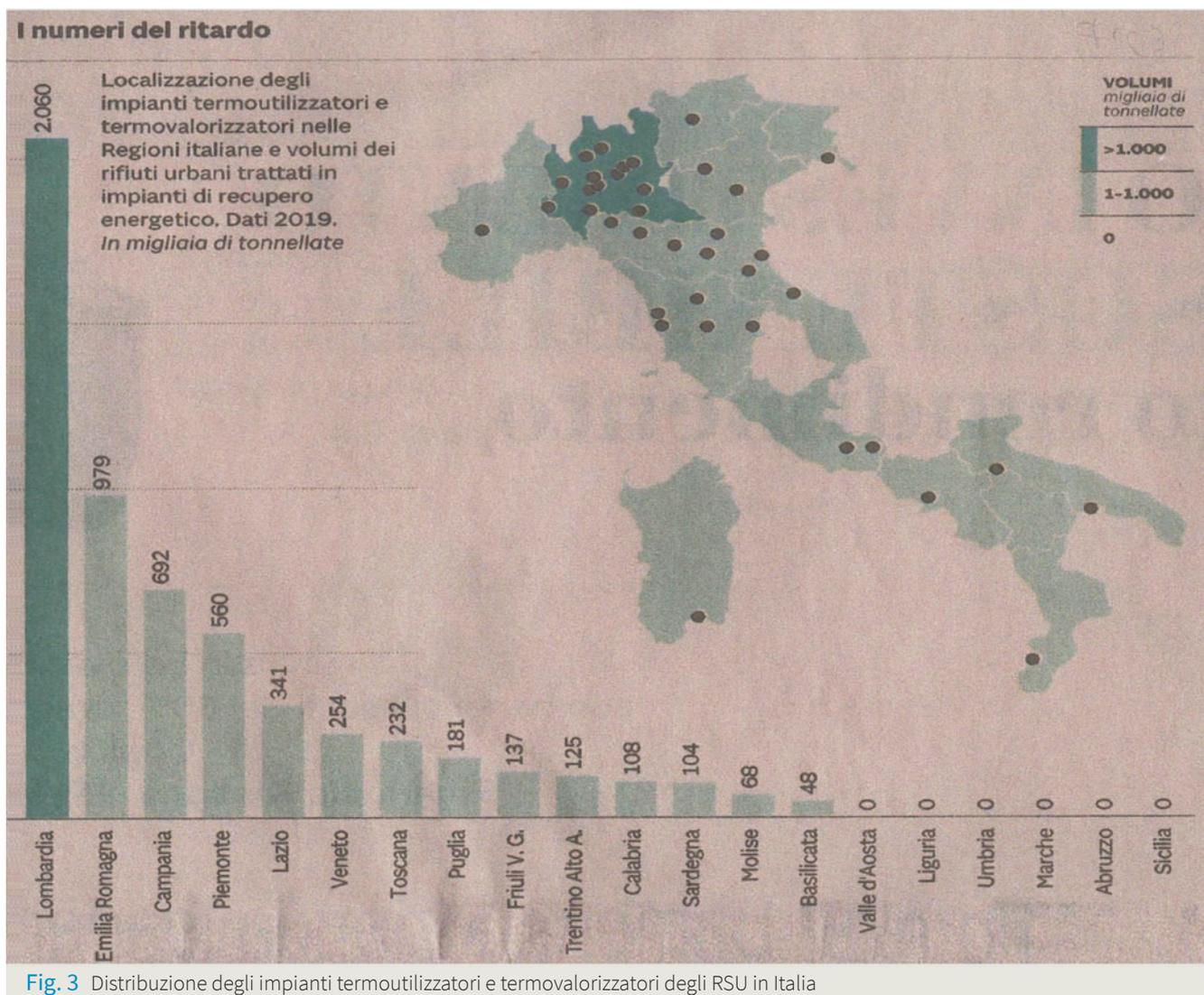
Emblematico è il caso degli impianti dedicati al recupero della frazione organica: ad oggi, solo la metà di questi rifiuti è trattata secondo canoni avanzati che permettono il recupero combinato di materia (compost) e di energia (biogas). Con l'aumento poi nel tempo della frazione organica si prevede un fabbisogno di 38 nuovi impianti, di cui la maggior parte nei territori del Centro - Sud.

Per raggiungere gli obiettivi europei nel recupero degli RSU, l'Italia dovrà ricorrere anche al recupero energetico di ulteriori 3,1 milioni di tonnellate di rifiuti urbani e il Paese avrà quindi bisogno di 6-7 nuovi impianti di termovalorizzazione, con un investimento complessivo tra i 2,2 e 2,5 miliardi di euro. La situazione di tali impianti è illustrata dalla figura 3.

Complessivamente servono investimenti per almeno 4,5 miliardi di euro per risolvere il problema della gestione dei rifiuti in Italia, cioè un quarto dei soldi con cui il nostro Paese finanzia ogni anno i sussidi ambientalmente dannosi legati ai combustibili fossili. Questi investimenti sono necessari per costruire nuovi impianti di recupero energetico e di moderno trattamento della frazione organica. È stato stimato che ciò consentirebbe di generare fino a 11,8 miliardi di euro di indotto economico, con un gettito per lo Stato di 1,8 miliardi e una riduzione della TARI per le famiglie superiore a 550 milioni di euro.

Altri tipi di rifiuti e il loro riciclo

Per concludere la prima parte del processo di economia circolare, e cioè il recupero della materia da riutilizzare, dobbiamo ricordare che oltre agli RSU di cui abbiamo parlato e visto le carenze complessive in cui versa ancora il paese, è necessario tener presente che vengono prodotti altri due tipi di rifiuti, quelli speciali e quelli di materiali non recuperabili dai cassonetti o dai soli cassonetti: inerti, metalli, legno, plastica e i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), pneumatici, tessuti, oli esausti.



I rifiuti speciali rappresentano circa il quadruplo di quelli urbani e si distinguono in pericolosi (7,2%) e non pericolosi (92,8%): ad esempio, i residui di lavorazioni edilizie non sono pericolosi, quelli derivanti da attività sanitarie sono pericolosi. La loro gestione è un tassello fondamentale dell'economia circolare. Si riciclano facilmente i rifiuti non pericolosi come quelli ottenuti dalla demolizione di immobili. Si riciclano anche quelli speciali e anzi l'Italia ricicla oltre il 65% dei rifiuti speciali e costituisce un'eccellenza europea [3].

Altre eccellenze del nostro riciclo sono quelle della carta, del legno e del vetro. Per gli imballaggi di carta e cartone il recupero e il riutilizzo sono al 64%, per il vetro al 76% e per il legno al 67%.

Esaminiamo il riciclo nelle diverse filiere di prodotti

Riciclo dei metalli - I materiali metallici di scarto vengono raccolti e posizionati presso le imprese industriali e artigianali, o nelle piattaforme ecologiche

per poi essere trasportati ai centri di trattamento. Vediamo brevemente a che punto siamo per il recupero di questi tipi di rifiuti. I processi per il recupero dei metalli, più semplici di altri, consentono all'Italia il recupero di oltre l'80% di materia seconda, collocando il paese in questo campo all'avanguardia in Europa. I rottami recuperati vengono trattati in forni elettrici (diffusi in alta Italia) da dove si ottengono materiali di ferro-acciaio con proprietà al 100% uguali a quelle da cui provengono: il riciclo dei metalli consente al nostro paese un grosso risparmio in materia prima ed energia (oltre che di inquinamento). Alcuni dati specifici sono riportati di seguito.

- **Riciclo del ferro-acciaio** - Com'è noto i metalli sono riciclabili al 100% e si possono dunque riutilizzare per produrre infinite volte manufatti di caratteristiche identiche a quelli da cui provengono. L'unica esigenza del settore è quella di un'accurata differenziazione dei tipi di scarti e residui in modo da ottenere per fusione materiali omogenei. In Italia il ferro-acciaio si riutilizza

nella misura del 79%, quindi quello riciclato dà un deciso contributo al fabbisogno della nostra industria e consente un grande risparmio di materia prima, di energia e abbattimento di inquinanti.

- **Riciclo dell'alluminio** - Si recupera per 72,5% dagli imballaggi di alluminio [4] e l'Italia si colloca al primo posto in Europa. Il riciclo dell'alluminio consente un risparmio di energia del 95% rispetto alla metallurgia dal minerale e un netto miglioramento dell'impatto ambientale. Oggi tutto l'alluminio impiegato dall'industria italiana proviene da riciclo¹. Il prezzo dell'alluminio ha avuto una forte impennata e oggi supera i 2.700 dollari a tonnellata.
- **Riciclo del rame** - Il 40,5% del rame proviene in Italia dal riciclo [5]: è la materia prima di cui disponiamo maggiormente pur non avendo miniere. In Europa ne viene prodotto più di 5 milioni di tonnellate (2010, ultimo dato disponibile) di cui il 44% si ottiene dal recupero. Proviene dalla raccolta e trattamento di tubi, cavi e fili elettrici, da apparecchi elettrici e da sfridi di lavorazione.

Riciclo del legno - Il recupero e riciclaggio del legno si realizza per il 67% e il 96% della produzione dell'arredamento italiano è fatto con pannelli ricavati da legno riciclato. *L'Italia è l'indiscusso leader mondiale in questo campo* [6]. Nonostante il costo della materia prima tra lo scoppio della pandemia e oggi sia più che raddoppiato, il settore dell'arredamento è stato interessato pochissimo poiché vengono utilizzati quasi esclusivamente pannelli riciclati.²

Riciclo del vetro - Con più di 1.800.000 tonnellate riciclate, l'Italia si piazza al secondo posto nella classifica dei paesi europei più "ricicloni" di vetro, davanti a noi solo la Germania. In base ai dati pubblicati dalla Federazione Europea dei produttori di contenitori di vetro, i tassi medi di *riciclo del vetro* nell'Unione Europea hanno superato la soglia del 70% già dal 2010 e l'Italia si posiziona al di sopra di questa media (76%); negli ultimi anni, la raccolta del vetro non ha fatto altro che migliorare.

Riciclo carta e cartone - In Italia carta e cartone rappresentano il 30% del totale dei rifiuti. Recuperando una tonnellata di *materiale cellulosico* si possono salvare tre alberi alti 20 metri, riducendo così

sia la deforestazione che lo spreco di energia. Ogni anno in Italia vengono consumate circa 9 milioni di tonnellate di prodotti cellulosici. Di queste, il 64% viene riciclato, il 14% bruciato per produrre energia e il 22% finisce in discarica. Il riciclo è sicuramente il tipo di smaltimento meno oneroso, sia in termini economici che ambientali. Il consorzio Comieco [7] si è costituito nel 1998 come Consorzio Nazionale nell'ambito del sistema Conai e raggruppa oggi oltre 3.300 aziende della filiera del riciclo di carta e cartone.

Riciclo di pneumatici - In Italia ogni anno vengono montati sulle nostre auto circa 400.000 tonnellate di pneumatici nuovi. Nel 2018 sono state raccolte e riutilizzate in vario modo circa 350.000 tonnellate di pneumatici fuori uso (PFU). Per il riciclo di questo materiale operano principalmente due consorzi (Ecopneus e Ecotyre [8]) che nel 2019 hanno riciclato 267.000 tonnellate di PFU. Sul totale dei materiali recuperati, il 57% è stato riciclato come recupero di materia, mentre il 43% è stato avviato al recupero di energia. Il riciclo prende la via di nuovi pneumatici, viene poi utilizzato, ad esempio, nelle pavimentazioni stradali, nelle superfici di erba sintetica, in isolanti e impermeabilizzanti nell'edilizia.

Riciclo di tessuti - Uno studio della Ellen MacArthur Foundation rileva che il 13% dei prodotti tessili viene riciclato in diversi modi dopo l'uso nell'abbigliamento, il 12% viene utilizzato in usi di valore inferiore e solo l'1% viene riciclato in nuovi abiti. Il 74% viene conferito in discarica o incenerito [9]. *Come si vede il riciclo dei tessuti costituisce un problema aperto e può e deve essere sensibilmente migliorato.* I vestiti e i tessuti che sono in buone condizioni possono essere donati o rivenduti. Invece, quelli che non sono riutilizzabili e sono da buttare via devono essere riciclati e trasformati in nuovi prodotti come: imbottiture per sedie o sedili delle auto, stracci per pulire o materiali per riempire i materassi. In ogni caso i tessuti, se gettati in discarica, impiegano tantissimo tempo per decomporsi.

Riciclo di oli esausti - Sono prodotti fortemente inquinanti per l'ambiente se sversati direttamente nel terreno o nelle condutture. È dunque assolutamente necessario procedere a *una loro raccolta specifica*, puntando a recuperarli tramite la *raccolta differenziata*. In Italia ci sono due consorzi per il re-

¹ L'impianto di alluminio di Portovesme, l'unico in Italia per la produzione di alluminio primario, fermo da anni, era stato acquistato dalla svizzera Sider Alloys e avrebbe dovuto rientrare in funzione nel 2021, ma ancora non è stato raggiunto l'accordo sul costo dell'elettricità necessaria ad alimentarlo.

² L'uso del legno massello è ormai molto limitato e circoscritto a poche aziende artigianali.

cupero e il trattamento degli oli esausti vegetali e animali (Conoe) e industriali (Conou). Il Conou dal 1986, data da cui ha iniziato ad operare, ad oggi ha raccolto e trattato circa 4.670.000.000 tonnellate di olio minerale. L'olio vegetale esausto va portato presso gli appositi bidoni di raccolta differenziata (riciclerie o isole ecologiche) che li ospitano, oppure presso supermercati o benzinai che si occupano del suo ritiro e della sua raccolta gratuitamente. Ogni anno si raccolgono tra le 260.000 e le 280.000 tonnellate di oli alimentari esausti (il 64% dalle famiglie, il 36% dalla ristorazione, artigianato e industria). Il riciclo dell'olio alimentare viene utilizzato per produrre oli lubrificanti, inchiostri, biodiesel, per la produzione di saponi, di candele e di bitumi stradali.

Riciclo delle materie plastiche - Il discorso per il riciclo di questo tipo di materiale è complesso. Si deve chiarire subito che non tutte le materie plastiche sono riciclabili e si impiegano molteplici tipi di materie plastiche aventi caratteristiche anche molto diverse tra loro.³ Per gli imballaggi di plastica nel nostro paese il recupero e riutilizzo raggiungono circa il 45%, un valore ancora *assai al di sotto del target fissato dall'Europa pari al 50% per il 2025 e del 55% per il 2030.*⁴

Vediamo più in dettaglio la situazione: la produzione di imballaggi di plastica è aumentata negli ultimi anni (2015 - 2018) di oltre il 6%. La produzione nel 2015 è stata di 2.165 migliaia di tonnellate, nel 2018 di 2.315.⁵ Il 63% degli imballaggi di plastica prodotti è destinato all'uso domestico. Il 43,75% della plastica viene riciclata in nuovi prodotti (2019), mentre il rimanente (oltre il 55%) è stato recuperato a scopo energetico (termovalorizzazione). Nel 2019 sono stati riciclati imballaggi di plastica per 1.054 migliaia di tonnellate, l'1,3% in più rispetto all'anno precedente.

Dove vanno a finire le quantità di imballaggi di plastica riciclati? La scheda che segue (Scheda 1) indica i prodotti che si ottengono da questo settore di economia circolare.

Scheda 1 - Cosa si fa con la plastica riciclata*

- *Componenti degli scooter* – (contro scudo, pedana, porta targa, vano sottosella, parafango, fiancate) da plastiche miste eterogenee derivate da imballaggi di plastica
- *Cassette per ortaggi* – da granulato di polipropilene o polietilene ad alta densità
- *Montature occhiali* – dal riciclo di bottiglie di PET
- *Panchine e arredi vari da giardino* – dal riciclo di plastiche eterogenee
- *Imbottitura di gilet* – dal riciclo di bottiglie di PET
- *Tessuto "pile" (coperte, felpe, cappelli e guanti)* – dal riciclo delle comuni bottiglie di PET dell'acqua minerale
- *Tubi di irrigazione* – dalla plastica riciclata che copre i cavi elettrici (PVC)
- *Tessuti da arredamento* – da filo poliestere ottenuto da riciclo di PET
- *Nuove bottiglie* – da preforme di PET soffiate (da bottiglia a bottiglia)
- *Palette e scope* – da plastiche miste
- *Secchi (contenitori rigidi)* – da 100% di polietilene o polipropilene riciclato
- *Sedili per auto* – Le imbottiture con ovatta da PET riciclato; tessuti di rivestimento, moquette, tappetini da filati di polietilene provenienti da riciclo di bottiglie
- *Trolley e carrelli spesa* – da plastica mista riciclata
- *Trapunte* – con solo 20 bottiglie di PET si ricava tessuto per una morbida trapunta

* da COREPLA (Consorzio nazionale per la raccolta e il riciclo di imballaggi di plastica)

Riciclo dei RAEE - I residui da apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) costituiscono i rifiuti che hanno il più rapido aumento (+ 3-5% annuo)⁶ e presentano varie tipologie di trattamento per il re-

³ Le plastiche più diffuse e riciclabili sono: il PET, polietilene tereftalato, HDPE e LDPE, polietilene ad alta e bassa densità, PVC, cloruro di polivinile, PP, polipropilene, PS, polistirene (o polistirolo); possiamo cioè riciclare bottiglie, flaconi di detersivi e saponi, piatti e bicchieri di plastica, vaschette della frutta e verdura, grucce in plastica, borse in plastica, barattoli dello yogurt, ecc. Non sono riciclabili oggetti come bacinelle, utensili di cucina, giocattoli, tubi per innaffiare, barattoli di plastica, le siringhe, i sottovasi, gli spazzolini, i pennarelli e le penne in plastica, ecc. (fonte: Azienda Autonoma di Stato per i Servizi Pubblici: tipi di plastica riciclabili e non riciclabili). Le plastiche riciclabili sono termoplastiche, quelle non riciclabili sono termoindurenti. Le termoindurenti possono però essere utilizzate per il loro potere calorico con la termovalorizzazione e non buttate in discarica.

⁴ In Italia è stata recepita la Direttiva dell'Unione Europea con DL 116/2020.

⁵ Elaborazione Openpolis su dati Ispra, 31/12/19.

⁶ Gestione-rifiuti – Smaltimento RAEE

cupero dei componenti a seconda del loro tipo. La Scheda 2 raccoglie i diversi tipi di RAEE.

Scheda 2 - Gruppi tipologici di RAEE

- **R1** (freddo e clima), ad esempio frigoriferi, congelatori, apparecchi per il condizionamento
- **R2** (grandi bianchi), ad esempio lavatrici, lavastoviglie, forni a microonde
- **R3** (TV e monitor), ad esempio vecchi schermi a tubi catodici, moderni schermi a led, al plasma e nuove tecnologie
- **R4** (varie), ad esempio apparecchiature illuminanti, aspirapolvere, ferri da stiro, frullatori, computer (unità centrale, mouse, tastiera), stampanti, fax, telefoni cellulari, apparecchi radio
- **R5** (sorgenti luminose), per esempio lampade che contengono gas (a incandescenza), tubi fluorescenti al neon, lampade a risparmio energetico, a vapori di mercurio, sodio, ioduri

I cittadini possono conferire i loro RAEE alle isole ecologiche e dal 18 giugno 2010 è possibile riconsegnare gratuitamente i rifiuti direttamente al rivenditore all'atto dell'acquisto di una apparecchiatura della medesima tipologia.⁷ Tuttavia, la crescente diffusione di apparecchi elettrici ed elettronici determina un sempre maggior rischio di abbandono nell'ambiente con conseguenze serie di inquinamento del suolo, dell'aria e dell'acqua.

Le attività di trattamento dei RAEE prevedono varie fasi:

- messa in sicurezza o bonifica (asportazione dei componenti pericolosi);
- smontaggio dei sottosistemi e separazione preliminare dei materiali;
- lavorazione meccanica per il recupero dei materiali.

Dal trattamento dei RAEE di tipo R1 e R2 si ricavano ferro, acciaio, alluminio, rame, manganese e diversi

tipi di plastiche e si può arrivare al recupero di materiali pari al 90% dell'intero prodotto. Questi vengono riutilizzati per produrre nuovi manufatti.

Più complesso e particolare è il recupero dei RAEE elettronici: per ogni tonnellata di questi RAEE si stima un recupero di oro che va da 100 a 250 grammi, fino a 750 grammi di argento, 75 grammi di palladio e da 40 a 120 grammi di rame [10]. Nel 2019 il corretto riciclo dei RAEE in Italia, piuttosto limitato, ha avuto un incremento del 10,4% rispetto all'anno precedente e il consorzio ERP Italia si conferma uno dei principali operatori del riciclaggio.

Per comprendere come avviene il recupero dei materiali dei circuiti, ad esempio dei cellulari, si deve tener presente che la produzione di chip, il prodotto delle industrie di semiconduttori che sono alla base di tutti i dispositivi elettronici che usiamo quotidianamente,⁸ avviene solo in parte in Italia e le aziende come Nvidia tendono a esternalizzare il processo di produzione dei loro chip verso altri produttori come, ad esempio, TSMC (Taiwan) o Samsung (Sud Corea). Esiste un made in Italy dei chip, ma è rivolto solo alla produzione di elementi parziali che poi vengono esportati [11]. È il colosso Italo-francese STMicroelectronics, con diversi centri produttivi anche in Italia, che è inserito con i suoi prodotti nella catena produttiva dei chip in Italia, in Europa e altri paesi extraeuropei.

Da segnalare la "guerra" dei microchip che si sta verificando da qualche tempo nel mondo e, in questo ambito, la ricerca di indipendenza di alcuni paesi dalla Cina, da Taiwan e dalla Corea del Sud. Recentemente è il Giappone che, alleandosi con Taiwan, cerca di guadagnare una propria indipendenza nella produzione dei chip [12]. L'Europa cerca di raggiungere la sua indipendenza dai paesi dell'Asia con la STMicroelectronics.

In una recente intervista Jean-Marc Chery, presidente e ceo di STMicroelectronics [13], ha dichiarato "oggi nel nostro settore il gap fra domanda e offerta è stimabile nel 25-30%. È necessario aumentare la capacità produttiva dell'Unione Europea". La STMi-

⁷ La responsabilità dei produttori: la "Direttiva RAEE" è basata sul principio che chi inquina paga. Pertanto, il finanziamento e l'organizzazione della raccolta e del trattamento dei RAEE sono posti sotto responsabilità dei produttori (tutti coloro che immettono per primi il prodotto sul mercato anche se non direttamente produttori) dall'entrata in vigore in Italia del Decreto RAEE l'1 settembre 2007 e in G.U. il 5/11/2007. I Sistemi Collettivi di trattamento dei RAEE (Consorzi) sono distinti per tipologia di RAEE che trattano; ad esempio, Re.Media: Consorzio Trattamento e Riciclo dei RAEE domestici e industriali; Ecolamp: Consorzio per recupero e smaltimento di apparecchiature di illuminazione; Ecodom: Consorzio per recupero e riciclaggio degli elettrodomestici; ecc.

⁸ I chip rappresentano il cuore digitale degli smartphone, dei tablet, dei pc e di tutti i dispositivi "intelligenti" che usiamo. Sono circuiti elettronici particolarmente complessi costituiti da molti transistor che rappresentano l'hardware necessario al funzionamento dei moderni sistemi operativi. Interessante osservare che il numero dei transistor che si riescono ad integrare in un chip raddoppia all'incirca ogni due anni (miniaturizzazione sempre più spinta), ma si troverà pure un limite a questo processo.

croelectronics contava oltre 20.000 addetti, circa metà in Francia e l'altra in Italia e conta nel mondo circa 46.000 addetti. Ora si stanno realizzando nuovi impianti: uno ad Agrate Brianza per la produzione di wafer di silicio i cui addetti saranno presto circa 4000 rispetto agli attuali 2500; ciò consentirà di raddoppiare la produzione di wafer di silicio in Europa nel 2025. Già oggi in Europa realizziamo il 60% della produzione necessaria.

Una delle ragioni della rivoluzione dei semiconduttori è la trasformazione del mondo dell'auto con l'elettrificazione delle motorizzazioni e la digitalizzazione sempre più spinta.⁹ Il Gruppo STMicroelectronics è anche all'avanguardia nella produzione di chip al carburo di silicio, un semiconduttore che consente maggiore efficienza di quelli al silicio. Sempre Jean-Marc Chery ha dichiarato: "È in uno stabilimento di Catania che viene lavorato questo materiale e stiamo espandendo progressivamente la capacità produttiva".

Difficile dire se in questi casi si possa parlare di una circolarità nella produzione dopo il recupero dei materiali dai circuiti elettronici che abbiamo accennato sopra.

Casi particolari: il recupero del litio e delle Terre Rare

Il caso del litio

Il recupero del litio dalle batterie delle macchine elettriche ha una enorme importanza, soprattutto considerando la quantità di batterie che verranno sia prodotte che dismesse nei prossimi anni. Le risorse ottenute dal riciclo non solo potranno essere notevoli per compensare la scarsità crescente di quelle in natura, la vulnerabilità nell'approvvigionamento ed evitare fattori di inquinamento legati al processo di estrazione del litio. Altri elementi che si possono recuperare insieme al litio¹⁰ con il riciclo di queste batterie sono il nichel e il cobalto o l'alluminio e il rame.

L'Europa non è ancora rilevante in termini di riciclo batterie al litio e ancora meno l'Italia: nel periodo 2013-2014 a fronte di 65.000 tonnellate di batterie al litio, ne sono state recuperate in Europa solo 1.900. Attualmente questo gap si è ridotto, ma non supera ancora il 50%. *Sono la Cina e la Corea del sud che hanno riciclato il maggior volume di batterie esauste: nel 2018 sono state riciclate 97.000 tonnellate*

di batterie, di cui 67.000 in Cina, 18.000 in Corea e solo il resto (circa il 13%) in Europa. Si stima che nel 2025 le batterie da riciclare rappresenteranno 800.000 tonnellate di minerali da dover recuperare e si comprende quanto sia impegnativo affrontare il problema.

L'Unione Europea, tuttavia, è al lavoro per sviluppare una filiera interamente dedicata allo smaltimento dei rifiuti delle batterie al litio: questa sfida si tradurrebbe anche in una opportunità per le imprese costruttrici che si occuperebbero direttamente sia dello smaltimento che del riuso dei materiali per nuove batterie da loro prodotte [14]. Dobbiamo tener presente che, oltre ai problemi posti dal recupero del litio delle batterie, ci sono quelli connessi al recupero del nichel e del cobalto delle stesse batterie che hanno caratteristiche fisico-chimiche che richiedono procedure complesse per il loro recupero. I metodi di recupero in corso di studio sono essenzialmente di due tipi: metallurgico e idrometallurgico.

Recentemente un gruppo di ricerca dell'Istituto Chimico del CNR dei composti organometallici del Polo Scientifico di Firenze, in collaborazione con il Cobat [15], ha messo a punto e brevettato un metodo di recupero di metalli, in particolare del litio delle batterie, di tipo idrometallurgico. Precisamente si recupera oltre il 90% del litio con una purezza del 95% per essere impiegato in nuove batterie. Il metodo messo a punto in laboratorio sarà portato a livello semindustriale con un primo impianto di riciclo in corso di realizzazione. La notizia è particolarmente importante per il nostro paese che ancora deve avviarsi su un consistente riciclo del litio.

La tecnologia recente LFP (Flash Battery) non impiega il cobalto presente generalmente nelle batterie al litio e questo permette di ottenere batterie di vita estremamente lunga (oltre 4000 cicli di ricarica) e risulta più facile da riciclare e meno impattante per l'ambiente. La tecnologia LFP è la più sicura e stabile che si possa reperire oggi sul mercato [16].

Il caso delle Terre Rare

Le Terre Rare (Figura 4) com'è noto sono un gruppo di 14 elementi metallici chimicamente molto simili tra loro (hanno tutti la valenza 3) e sono ampiamente utilizzati come acciai speciali in molti oggetti usati nella vita di tutti i giorni (cellulari, dischi rigidi, auto

⁹ In alcuni modelli di auto convivono ormai 1500 diversi microchip, tra microcontrollori, sensori e dispositivi di potenza.

¹⁰ La struttura di una batteria al litio è così fatta: ha un catodo generalmente di Al, un anodo generalmente di rame, un setto separatore degli elettrodi generalmente ceramico, un elettrolita costituito da una soluzione di LiPF₆ che riempie tutta la cella e degli additivi che hanno il compito di facilitare il trasporto degli ioni Li⁺ da un elettrodo all'altro durante i processi di carica e scarica.

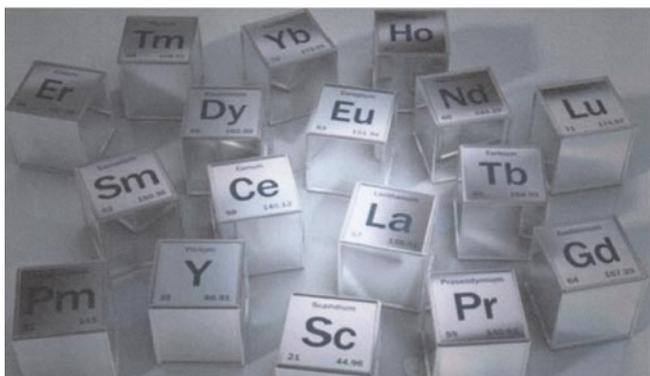


Fig. 4 Le Terre Rare

ibride, ecc.). La produzione di Terre Rare si concentra in pochi paesi e in Europa non c'è alcun impianto produttivo. La grande precarietà del loro approvvigionamento e i costi rapidamente crescenti che mettono a rischio il settore industriale rendono sempre più importante la ricerca di metodi per il loro riciclo: il riciclaggio di materiali rari come il neodimio da prodotti a fine vita è una necessità strategica [17].

Tra gli acciai speciali contenenti Terre Rare particolarmente importanti sono quelli al neodimio-ferroboro (NdFeB) fortemente magnetici che vengono utilizzati in vari campi, specie nei motori ad alte prestazioni delle macchine elettriche.¹¹ Il progetto REMANENCE finanziato dalla UE ha messo a punto una nuova tecnologia per il recupero, in particolare del neodimio, riciclando i magneti NdFeB. Questo offrirà all'Europa una preziosa fonte secondaria di Terre Rare sostenendo la crescita del settore dei magneti speciali.

È importante anche il caso del recupero di lantanio e cerio dai catalizzatori esausti Fluid Catalytic Cracking (FCC)¹² provenienti dall'industria petrolifera (Figura 5). Un team di ricercatori dell'Università dell'Aquila ha sviluppato un procedimento innovativo per il recupero delle Terre Rare presenti nei catalizzatori esausti. Il processo brevettato che prevede lisciviazione e precipitazione dei metalli è in grado di recuperare l'85-90% delle Terre Rare (il precipitato contiene circa il 75% di lantanio e cerio e il 10% di impurezze di vario tipo) [18].

Aspetti economici dell'economia circolare

Oltre ai processi scientifico-tecnologici che abbiamo analizzato sia pure brevemente e che sono necessari



Fig. 5 Una tipica unità di cracking catalitico in una raffineria di petrolio

per dar vita all'economia circolare di diverse filiere di prodotti, c'è anche da tener conto del costo dei processi di riciclo e del prezzo che condiziona la disponibilità delle materie prime. La domanda da porsi è la seguente: è sempre economicamente vantaggioso il costo del processo di riciclaggio? Per la risposta ci vengono in aiuto le considerazioni fatte dall'economista Antonio Massarutto (docente di Economia Applicata all'Università di Udine) in un suo libro [19].

L'autore sostiene, in relazione alla prima fase propria dell'economia circolare, il riciclo dei rifiuti: "Ci sono numerose buone ragioni per ritenere che il riciclo è desiderabile; nessuna, tuttavia, tra quelle esaminate sembra suggerire che ciò vada preso alla lettera, come se il riciclo fosse un obiettivo da perseguire a tutti i costi e a qualsiasi livello ... Il riciclo va incontro a costi crescenti, per intercettare le frazioni via via più difficili, e benefici decrescenti, il che significa che prima o poi ci si dovrà fermare". L'autore ha condotto uno studio che considera l'intero percorso dei materiali, dal momento in cui diventano rifiuti fino a quando sono nuovamente pronti per essere

¹¹ Le calamite al neodimio vengono rivestite da uno strato antiossidante generalmente di nichel senza il quale si "salderebbero" diventando semplice polvere magnetica.

¹² I catalizzatori FCC sono impiegati in uno dei più importanti processi di conversione nelle raffinerie di petrolio. Catalizzano la conversione delle frazioni di idrocarburi ad alto peso molecolare in idrocarburi più leggeri aumentando la resa delle benzine, la frazione più preziosa che si ottiene dalla distillazione frazionata del petrolio.

commercializzati e riutilizzati. Gli scenari presi in esame hanno l'obiettivo di ridurre al minimo i flussi destinati alla discarica e giungono a queste considerazioni (pp. 85-94 del testo citato):

- gli scenari basati sulla raccolta porta a porta competono con quelli dei cassonetti solo se raggiungono livelli di raccolta differenziata superiori al 75%; risultano assai più costosi se le rese sono inferiori; al di sotto del 70% i costi risulterebbero nettamente sfavorevoli a quelli a cassonetto;
- per gli scenari "bilanciati" lo studio mostra che l'opzione migliore per la gestione del rifiuto residuo (indifferenziato) è quella dell'incenerimento diretto;
- gli scenari analizzati comportano un incremento degli obiettivi di riciclo riferito al totale dei rifiuti fino al 60-70%;
- uno studio condotto dalla Commissione Europea si conclude senz'altro a favore di uno scenario basato sul recupero di materiali spinto al massimo (70% di recupero diretto) e incenerimento del restante (pari al 30%).

Non c'è dubbio, dunque, che si debba spingere il riciclo al di là di quanto si fa attualmente nel nostro paese... "anche un'analisi condotta sulla base dei dati di mercato attuali rivela che muoverci in direzione dell'economia circolare è già oggi la cosa giusta da fare".

Se poi si considera che il costo delle materie prime, con cui quelle seconde recuperate dalla gestione dei rifiuti sono in competizione, sta da tempo aumentando anche di molto e, inoltre, tendono ad essere sempre più scarse (ricordiamoci che sono comunque esauribili) e la loro disponibilità è spesso influenzata da fattori politici, *si comprende quanto sia necessario puntare sull'economia circolare, soprattutto per un paese come il nostro.*

Per avere un'idea più precisa di quanto detto, osserviamo che fra la fine del 2020 e la metà del 2021 si è registrato un forte aumento del prezzo delle materie prime e sono ormai frequenti segnalazioni in questo ambito sulla stampa: stanno crescendo alle stelle i prezzi di alcuni metalli e materiali di base per l'industria [20, 21]. Di seguito riportiamo una scheda particolarmente significativa (Scheda 3) che illustra il picco nel costo raggiunto recentemente da alcune importanti materie prime.

Se a questo si aggiunge il forte aumento del costo dell'energia che si sta realizzando proprio in questi mesi, lo scenario che si ha di fronte per l'economia anche del nostro paese appare preoccupante: alcune aziende ricorrono già alla contrazione della produzione (vedi le cartiere) per risparmiare energia.

Scheda 3 - Rincari di alcune materie prime e prodotti energetici*

Materia prima	Periodo	Rincaro
Ferro, acciaio tondo per cemento armato	11/2020 – 7/2021	+ 243,3
Polietilene	11/2020 – 6/2021	+ 100,9
Polietilene LDPE	11/2020 – 6/2021	+ 128,0
Polipropilene	11/2020 – 6/2021	+ 100,5
PVC	11/2020 – 6/2021	+ 73,8
Polistirene	11/2020 – 6/2021	+ 96,7
Rame	11/2020 – 6/2021	+ 38,6
Petrolio	11/2020 – 6/2021	+ 67,5
Bitume	11/2020 – 6/2021	+ 25,2
Cemento	12/2020 – 1/2021	+ 10,0
Legname di conifera	11/2020 – 6/2021	+ 76,3
Gas naturale	11/2020 – 6/2021	+ 113,7

*Il Sole 24 Ore del 31/08/21

Conclusione

A che punto siamo dunque con l'economia circolare nel nostro paese? Secondo il *Rapporto Greenitaly 2021 della fondazione Symbola – Unioncamere l'Italia è leader in Europa per l'economia circolare.*

In base a questo Rapporto il riciclo sulla totalità dei rifiuti raccolti in Italia ha un valore molto superiore a quello della media europea (49%) e degli altri paesi, come Germania, Francia e Regno Unito. Ciò consente un risparmio ogni anno di 23 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio e 63 milioni di tonnellate equivalenti di CO₂ nelle emissioni [22].

Tutto bene allora? Non è proprio così. Dai dati che abbiamo esaminato in precedenza per i diversi settori si ricava quanto segue: nonostante le eccellenze che ci sono in Italia in molti settori dell'economia circolare, c'è ancora da lavorare soprattutto nel settore pubblico (Regioni ed Enti locali) per potenziare e migliorare la raccolta differenziata e il riciclo dei rifiuti, rendendo omogeneamente distribuite in tutto il paese anche le apparecchiature necessarie; e dobbiamo anche ridurre drasticamente l'utilizzo di discariche con una necessaria grossa quantità di investimenti, come abbiamo detto in precedenza.

Si attende una spinta decisiva in questo senso dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) che punta decisamente sulla diffusione dell'economia circolare. Il Piano prevede interventi specifici per l'economia circolare nell'ambito dei 69 miliardi di euro destinati alla transizione ecologica: 1,5 miliardi

verranno impiegati per la realizzazione di impianti (o il loro ammodernamento) per il trattamento e il riciclo dei rifiuti. Rimane solo da sperare che i progetti vedano la loro applicazione.

Da sottolineare infine che far avanzare l'economia circolare vuol dire anche fabbisogno di energia e se questa non viene prodotta in modo sostenibile, ma attraverso i fossili, il problema della sostenibilità dell'economia non si risolve. Tutto risulta interconnesso e l'aver isolato per svilupparlo in particolare il comparto dell'economia circolare (il necessario ricupero di materia) non deve far dimenticare che *la transizione ecologica è una problematica complessa fatta di un intreccio di fattori che devono essere affrontati insieme* [23]. *Il problema prioritario è, però, quello dell'energia, se questa non è progressivamente prodotta con le rinnovabili (WSW) nessun processo produttivo risulterà ecocompatibile. In altre parole, la transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili è il fulcro dell'economia circolare.*

Oltre a potenziare sempre più un'economia circolare sarà necessario anche far in modo che i prodotti non abbiano più un'obsolescenza programmata: è sempre più necessario far durare tutto di più e riutilizzare anche un vecchio prodotto. È ben noto che la logica produttivistica attuale costruisce un bene programmandone la durata per poter garantire la sua stessa attività in futuro: spesso non si fanno trovare pezzi di ricambio per riparare, ad esempio, un elettrodomestico, scoraggiandone il riuso. ■

Riferimenti e sitografia

- [1] V. De Ceglia, Le discariche, disonore italiano. "Necessari impianti moderni", *la Repubblica A&F*, 6 settembre 2021.
- [2] The European House, "Da Nimby a Pimby. Economia circolare come volano della transizione energetica e sostenibile del Paese e dei suoi territori", 3 settembre 2021, Cernobbio.
- [3] M. Froio, Riciclo rifiuti, gli italiani sul podio e la filiera adesso vale 70 Miliardi, *la Repubblica, A&F*, 27 settembre 2021.
- [4] www.cial.it- (sito del consorzio italiano per il recupero dell'alluminio, 2021).
- [5] www.copperalliance.it (Consorzio italiano per il riciclo del rame).
- [6] M. Froio, Italia leader mondiale nel riuso del legno, *la Repubblica*, 6 settembre 2021.
- [7] www.comieco.org (Consorzio nazionale per il riciclo di carta e cartone)
- [8] www.ecopneus.it, www.ecotyre.it (Consorzi per il recupero di pneumatici fuori uso.)
- [9] <https://wisersociety.it>
- [10] www.ldeegreen.it (Come funziona il riciclo dei RAEE).
- [11] M. Maccari, Il made in Italy dei chip: eccellenze di nicchia in un mercato mondiale, *la Repubblica*, 28 giugno 2021.
- [12] G. Modolo, Alleanza Giappone-Taiwan nella guerra dei microchip, *la Repubblica*, 20 ottobre 2021.
- [13] L. Piana, Per i chip è una tempesta perfetta, nell'UE raddoppiamo la produzione, *la Repubblica, A&F*, 1 novembre 2021.
- [14] HBW – Litium battery revolution, La sfida del riciclo delle batterie al litio, 26 maggio 2021.
- [15] V. Strambi, Scoperta green al CNR "Possiamo ridare vita alle batterie al litio", *la Repubblica*, 28 settembre 2021.
- [16] Flash Battery, Riciclo delle batterie al litio: facciamo chiarezza, 22 dicembre 2020.
- [17] European Commission, Progetto REMANENZA, Nuove tecnologie promuovono il riciclaggio delle Terre Rare, 8 settembre 2021.
- [18] [Knowledgeshare.html](https://www.knowledgeshare.html), Processo per il recupero di Terre Rare.
- [19] A. Massarutto, *Un mondo senza rifiuti?* Il Mulino Ed., 2019.
- [20] M. del Corno, Acciaio, rame e ferro: effetto domino dei rincari. Ora è l'edilizia a chiedere aiuto al governo" Cantieri a rischio stop", *Il Fatto Quotidiano*, 2 giugno 2021.
- [21] M. del Corno, Alluminio sui massimi da 10 anni, previsti ulteriori rialzi nei prossimi mesi. Incognita materie prime sulla ripresa, *Il Fatto Quotidiano*, 1 settembre 2021.
- [22] S. Di Palma, Economia circolare, l'Italia è leader..., *la Repubblica A&F*, 1 novembre 2021.
- [23] F. M. Butera, *Affrontare la complessità per governare la transizione ecologica*, Edizioni Ambiente, 2021.
- [24] G. Viale, *La parola ai rifiuti-Scrittori e letture sull'aldilà delle merci*, Ed. Interno, 2019.

Appendice

Una pennellata storica sul rapporto uomo/rifiuti



Il rapporto uomo-rifiuti ha avuto connotati caratteristici in ciascuna epoca della nostra storia ed è particolarmente interessante quanto hanno scritto alcuni grandi autori della letteratura mondiale. Lo si può ricavare dal libro "La parola ai rifiuti – Scrittori e letture sull'aldilà delle merci" [24].

Ad esempio, Goethe (1749 - 1832), nel suo "Viaggio in Italia", compiuto tra il 1786 e il 1787, tocca varie città, in particolare Napoli e resta colpito in modo forte dal-

l'allegria, la cordialità, il fatalismo e il ricorso all'arte di arangiarsi del popolo napoletano.

In particolare, l'autore rimane colpito dalla dimestichezza che questo popolo mostra con il mondo dei rifiuti e con la capacità di trarre da essi tutto quello che si può utilizzare. "Tutta la campagna che circonda Napoli è un solo giardino di ortaggi, ed è un godimento vedere le quantità incredibili di legumi che affluiscono nei giorni di mercato, e come gli uomini si diano da fare a riportare subito nei campi l'eccedenza respinta dai cuochi Lo spettacoloso consumo di verdura fa sì che gran parte dei rifiuti cittadini consista di torsoli e foglie di cavolfiori, broccoli, carciofi, verze, insalata e aglio ... Ragazzi, per lo più assai poveramente vestiti, trovano lavoro trasportando le immondizie fuori città a dorso di mulo i due grossi canestri flessibili che gli asini portano appesi al dorso vengono inzeppati fino all'orlo... Nessun orto può fare a meno dell'asino. Per tutto il giorno un servo, un garzone, a volte il padrone stesso, vanno e vengono senza tregua dalla città, che a ogni ora costituisce una miniera preziosa".

Le forme spontanee di riciclaggio a Napoli non si limitano alla componente organica, "...vi è pure una massa di piccoli rivenduglioli girovaghi che, senza tante cerimonie, offrono in vendita le loro cosucce Non si tratta di merci vere e proprie, ma di autentico ciarpame, non c'è pezzettino inutilizzato di ferro, cuoio, tela, feltro, ecc. che non sia messo in vendita da questi robivecchi e non sia comprato dall'uno o dall'altro".

Insomma, la società napoletana del Settecento aveva organizzato un sistema di riciclaggio pressoché totale dei propri scarti. Un sistema che si è andato perdendo con l'avvento della rivoluzione industriale.

Il problema dei rifiuti nei panorami delle città sconvolte dalla rivoluzione industriale è poi una costante della letteratura dell'Ottocento. Nella secolare convivenza tra uomini e rifiuti, la rivoluzione industriale inserisce un elemento di novità: *i rifiuti si concentrano là dove vivono gli operai, il nuovo proletariato industriale attirato in città dallo sviluppo dirompente del sistema di produzione manifatturiero.*

Contemporaneamente, nei quartieri borghesi di nuova formazione o risanati entravano in funzione nuovi sistemi fognari e *i primi servizi di raccolta e smaltimento dei rifiuti urbani.* Nelle città medioevali le case dei nobili e dei mercanti e artigiani sorgevano vicino a quelle dei lavoratori e dei poveri. Ricchi e poveri vivevano insieme entro la città muraria che proteggeva entrambi.

Gli storici ci dicono che dal Rinascimento in poi si registra in tutta Europa un generale peggioramento della situazione sanitaria delle città. È con la Rivoluzione Industriale che la convivenza con i rifiuti e la sporcizia diventa quasi un marchio della condizione operaia. È stato Friedrich Engels a fornire un quadro sintomatico del cambiamento delle città con il suo saggio "La situazione della classe operaia in Inghilterra" (1845). Com'è noto, Engels è stato compagno di militanza politica di Carlo Marx. Engels (1820 - 1895) era figlio



di un industriale tedesco ed era stato mandato dal padre tra il 1842 e il 1844 a Manchester per studiare i sistemi che stavano alla base dei successi della manifattura inglese.

Il saggio di Engels è un'avvincente esplorazione di un mondo allora sconosciuto. Scrive l'autore "La città stessa [Manchester] è costruita in modo singolare e si potrebbe abitarvi per anni ed entrarvi e uscirne senza mai venire a contatto con un quartiere operaio o anche soltanto con operai, almeno fino a quando ci si limita a occuparsi dei propri affari o ad andare a passeggio".

Per scoprire il volto nascosto della città ufficiale bisogna volerlo fare. Ed Engels continua "Ciò deriva dal fatto che ... i quartieri operai sono nettamente separati dai quartieri destinati alla classe media. Ad eccezione del quartiere commerciale, tutta la vera Manchester ... non è che un unico quartiere operaio che, simile a una fascia larga in media un miglio e mezzo, cinge il quartiere commerciale. Fuori, oltre questa fascia, abita la media e alta borghesia ... È la struttura urbanistica della città a svelare il segreto delle due Manchester, ma il più bello in tutto questo è che questi ricchi rappresentanti dell'aristocrazia del denaro possono attraversare i quartieri operai, seguendo la strada più diretta per arrivare ai loro uffici al centro della città, senza neppure accorgersi della miseria che si stende tutto intorno. Infatti, lungo i due lati delle strade principali ... si stendono negozi in fila quasi ininterrotta. È vero che questi negozi hanno pur sempre un qualche legame con i quartieri che si stendono alle loro spalle, ... tuttavia sono pur sempre sufficienti a nascondere ai ricchi signori e alle ricche dame, la miseria e il sudiciume ... Giungendo a LongMilgate dalla Chiesa Vecchia siamo realmente in un quartiere dichiaratamente operaio, poiché anche i negozi e le osterie non si prendono la briga di apparire un po' puliti ... Ma questo non è ancora nulla a paragone delle viuzze e dei cortili che si stendono dietro ed ecco che ci troviamo in mezzo ai rifiuti In basso scorre, o meglio ristagna l'Irk, un corso d'acqua stretto, nerastro, puzzolente, pieno di immondizie e di rifiuti. Con il tempo asciutto sulla riva destra resta una lunga fila di pozzanghere fangose, verdastre, dal cui fondo salgono continuamente alla superficie bolle di gas mefitici, che diffondono un puzzo intollerabile ... In questo tipo di abitato l'igiene urbana è affidata esclusivamente allo scorrimento delle acque. Ma anche queste non possono scorrere perché la rivoluzione industriale le ha imbrigliate... In capo al ponte stanno grandi conerie, più sopra ancora tintorie, mulini per polverizzare ossa e gasometri i cui canali di scolo e rifiuti si riversano tutti nell'Irk, che raccoglie inoltre anche il contenuto delle attigue fognature e latrine. ... Qui lo sfondo è costituito dal cimitero dei poveri e dalle stazioni ferroviarie per Liverpool e Leeds."

Manuela Scarselli e Anna Sgarlata

Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata"

✉ manuela.scarselli@roma2.infn.it; anna.sgarlata@roma2.infn.it

Le microscopie a scansione di sonda

RIASSUNTO Le nanoscienze e lo studio della materia sulla scala nano, tramite moderne tecniche di microscopia, dal punto di vista didattico formativo rappresentano uno strumento estremamente utile e potente per introdurre concetti della meccanica quantistica. Abbiamo illustrato i principi base delle microscopie a scansione di sonda più utilizzate nei laboratori di ricerca e dalle industrie: la microscopia ad effetto tunnel e quella a forza atomica, entrambe in grado di misurare le proprietà fisiche ed elettroniche della materia su scala atomica ed in tempo reale.

ABSTRACT Nanoscience and the study of matter on the nanoscale, using modern microscopy techniques, represent an extremely useful and powerful tool for introducing concepts of quantum mechanics from the educational point of view. We have illustrated the basic principles of scanning probe microscopies most used in research laboratories and industries: scanning tunneling and atomic force microscopy, both capable of measuring the physical and electronic properties of matter on the atomic scale and in real time.

1. Quali sono le dimensioni degli atomi? È possibile “vederli”?

Fino a qualche decina di anni fa sui libri di testo, in particolare per i licei, si trovava espressamente scritto “*non si possono vedere gli atomi*”. Tale affermazione nasce dalla teoria sviluppata da Abbè (1872) che, lavorando insieme a Zeiss, aveva trovato una formula per esprimere il limite di risoluzione D :

$$D = \frac{\lambda}{2n \sin \theta}$$

dove λ è la lunghezza d'onda della sonda usata, n è l'indice di rifrazione del mezzo e $\sin \theta$ è il seno dell'angolo sotto cui viene visto l'oggetto. Dato che sia n che $\sin \theta$ sono circa uguali a 1, di fatto questa formula ci dice che la risoluzione dipende dalla lun-

ghezza d'onda λ . Nel caso del microscopio ottico, che usa come sorgente la luce visibile, la risoluzione è dell'ordine delle centinaia di nanometri, mentre nel caso del microscopio elettronico si può raggiungere una risoluzione dell'ordine di qualche nanometro in quanto la sorgente è costituita da elettroni con λ pari a

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Nel 1982 si verifica una vera e propria ‘rivoluzione microscopica’, quando il Prof. Heinrich Rohrer ed il suo giovane studente Gerd Binnig pubblicano la prima immagine che mostra gli atomi di Silicio perfettamente ordinati sulla superficie [1]. Il limite imposto dalla teoria di Abbè è superato: nasce il microscopio STM. L'acronimo si riferisce alle seguenti caratteristiche della tecnica sperimentale.

S: Scanning, perché dotata di una punta che ‘spazza’ (scan) letteralmente la superficie del campione

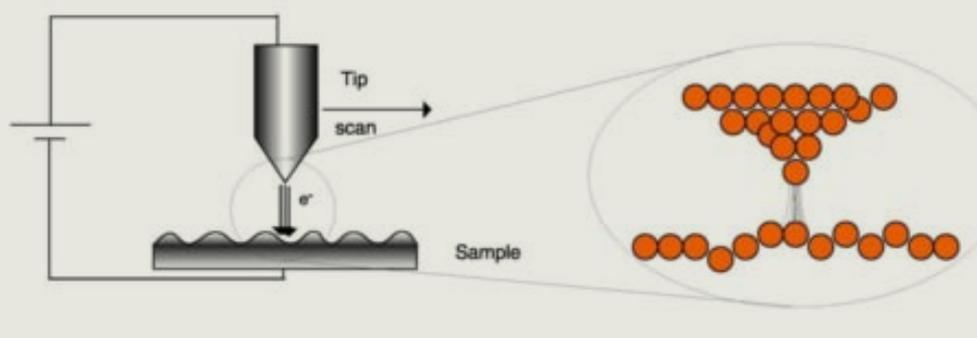
T: Tunneling, perché il principio di funzionamento è l'effetto tunnel quantistico

M: Microscopy, perché permette di ottenere immagini della superficie con una risoluzione inferiore all'Å

La comunità scientifica internazionale intuì rapidamente l'impatto che tale tecnica avrebbe avuto nel mondo della ricerca e dopo soli quattro anni dalla sua introduzione, Rohrer e Binnig insieme a Ernst Ruska inventore del microscopio elettronico vennero insigniti del premio Nobel per la Fisica nel 1986. Nello stesso anno Gerd Binnig e Christoph Gerber intuirono che, con opportune modifiche della strumentazione STM, avrebbero potuto misurare la forza che si esercita tra una punta e la superficie del campione piuttosto che la corrente di tunnel [2]. Il risultato del loro lavoro fu la realizzazione nel 1986 del primo microscopio a forza atomica, o Atomic Force Microscope (AFM) [3-5].

Entrambe le tecniche sperimentali misurano l'interazione che si stabilisce ad una certa distanza tra

Fig. 1 Schema che mostra il principio di funzionamento del microscopio STM costituito da una punta posta così vicina alla superficie del campione conduttore che quando è applicata una differenza di potenziale di bias scorre una corrente per effetto tunnel che dipende esponenzialmente dalla distanza punta-campione



una punta a terminazione atomica e la superficie di un campione, registrando durante la scansione un segnale che viene decodificato e trasformato in un'immagine da cui si possono ricavare informazioni quantitative ad alta risoluzione spaziale di svariate proprietà del materiale, dalla rugosità alla morfologia, dalle proprietà meccaniche, a quelle elettriche e chimiche. Con tali microscopi si arriva persino a vedere e manipolare gli atomi proprio come previsto da Feynman nella sua celebre lezione dal titolo: "There is plenty of room at the bottom" [6]. Questo principio di funzionamento ha dato origine ad una famiglia di microscopi a scansione di sonda (SPM, Scanning Probe Microscopy) concepiti in modo da misurare una specifica proprietà di interesse. Alcuni esempi sono: microscopio elettrostatico (EFM), magnetico (MFM), elettrochimico (SECM) e molti altri. Attualmente si contano circa 40 tecniche SPM messe a punto da gruppi di ricerca in tutto il mondo. Pochi anni dopo l'introduzione dell'STM e dell'AFM è stato possibile reperire strumenti commerciali di facile utilizzo. Questo ha permesso a molti centri di ricerca pubblici e industriali di dotarsi di tali apparati rinforzando ulteriormente l'interesse delle diverse comunità scientifiche e favorendo collaborazioni interdisciplinari che coinvolgono gruppi di ricerca in fisica, chimica, biologia e scienza dei materiali.

2. Il microscopio STM: come funziona e quali sono le modalità di misura

L'idea di usare l'effetto tunnel quantistico (George Gamov 1928) per ottenere immagini della superficie con risoluzione atomica è geniale. Il principio di funzionamento del microscopio STM è infatti molto semplice (Figura 1): si prende una punta metallica e un campione, anch'esso conduttore, e si pone tra loro una differenza di potenziale (normalmente di pochi V) detta potenziale di bias V_{bias} . Inizialmente (punta-campione lontani) non succede nulla, ma non appena la distanza punta-campione diventa dell'ordine di pochi nm, comincia a scorrere (per

effetto tunnel) una corrente I_{tunnel} ovvero esiste una certa probabilità che gli elettroni riescano a superare la barriera di potenziale, rappresentata dalla regione di vuoto che separa i 2 elettrodi, dando luogo ad una corrente (vedi figura 1) che dipende non solo dalla tensione applicata, ma soprattutto dalla distanza punta-campione [7].

Il segreto della grande risoluzione del microscopio risiede proprio nella dipendenza esponenziale della corrente dalla distanza: basta misurare variazioni di corrente dell'ordine dei nanoAmpère (cosa che si riesce a fare bene) per arrivare a determinare variazioni di distanza dell'ordine delle frazioni di Å.

In figura 2 (Prof. Dr. Bert Voigtländer, Forschungszentrum Jülich GmbH) è riportato un fotogramma del video acquisito con un microscopio elettronico a scansione che mostra un microscopio STM mentre misura una superficie di Ru (001) sulla quale sono depositati cluster di Pb.

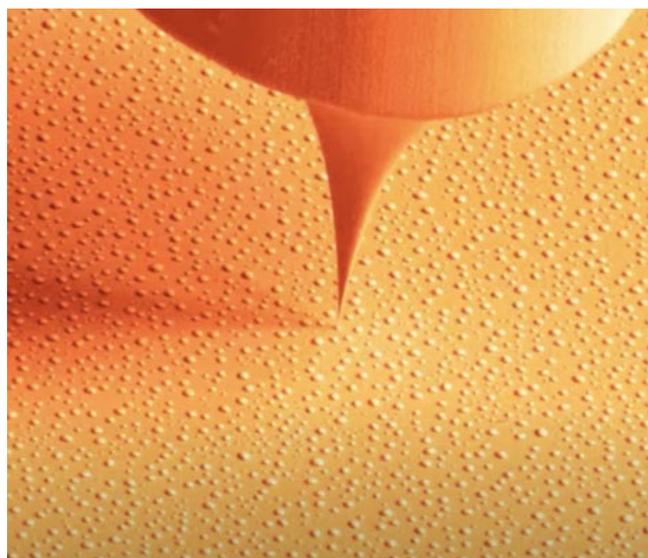


Fig. 2 Fotogramma estratto da un filmato acquisito con un microscopio elettronico a scansione che mostra un microscopio STM mentre misura una superficie di Ru (001) sulla quale sono depositati cluster di Pb [www.youtube.com/watch?v=LDKnhfdBj3Yfa, Prof. Dr. Bert Voigtländer (Forschungszentrum Jülich GmbH)].

Nel caso del sistema reale punta-campione la formula che, approssimativamente, esprime la corrente di tunnel [7] è:

$$I \propto V e^{-A\sqrt{\varphi}s} \quad (1)$$

dove I è la corrente di tunnel, V il potenziale di bias, A , pari a $(4\pi\sqrt{2}ma)/h = 1,025 \text{ eV}^{-1/2}/\text{\AA}$, è una costante, φ , uguale $(\varphi_1 + \varphi_2)/2$, è la funzione lavoro media di punta e campione e s è la distanza punta-campione.

Da questa formula si evince chiaramente quali sono le possibili modalità di misura in un microscopio STM.

1. **Modalità a corrente costante:** fissata la corrente di tunnel, I_{tunnel} , e la tensione di bias, V_{bias} , per ogni punto $(x;y)$ visitato dalla punta si varia la distanza punta campione affinché la corrente mantenga il valore prefissato; di conseguenza per ogni punto $(x;y)$ della superficie si misura il valore di $s(x;y)$ ricavando informazioni sulla topografia.
2. **Modalità ad altezza costante:** si fissa la distanza punta-campione s , la tensione di bias, V_{bias} , e, per ogni punto $(x;y)$ visitato dalla punta, si misura la corrente di tunnel $I(x;y)$; anche in questo caso si ottiene un'informazione topografica.
3. **Misura STS (Scanning Tunneling Spectroscopy):** in una misura di spettroscopia (STS), fisso il punto $(x;y)$ della superficie, si varia la tensione di bias tra un valore minimo, V_{min} , e uno massimo, V_{max} , e per ogni valore di V , si misura la corrispondente corrente $I(V)$; in questo modo il microscopio STM permette di studiare le proprietà elettroniche locali di superficie anche di un singolo atomo [8]. Un esempio [9] è riportato in figura 3.
4. **Misura di funzione lavoro:** è possibile inoltre ricavare informazioni sulla chimica locale; basta mettere la punta in oscillazione e misurare per ogni punto $(x;y)$ la grandezza:

$$-\frac{1}{I} \frac{dI}{ds} \propto \sqrt{\varphi}$$

In questo modo si ricavano delle mappe della funzione lavoro (chimica locale) per ogni punto $(x;y)$ della superficie molto importanti specialmente nel caso di composti biologici.

2.1. Il microscopio STM e la corrente di tunnel

Per calcolare la corrente di tunnel espressa dall'equazione (1), dobbiamo conoscere la probabilità che un elettrone possa attraversare la barriera di potenziale. Immaginiamo di simulare la barriera con un potenziale unidimensionale $V(x)$ che vale 0

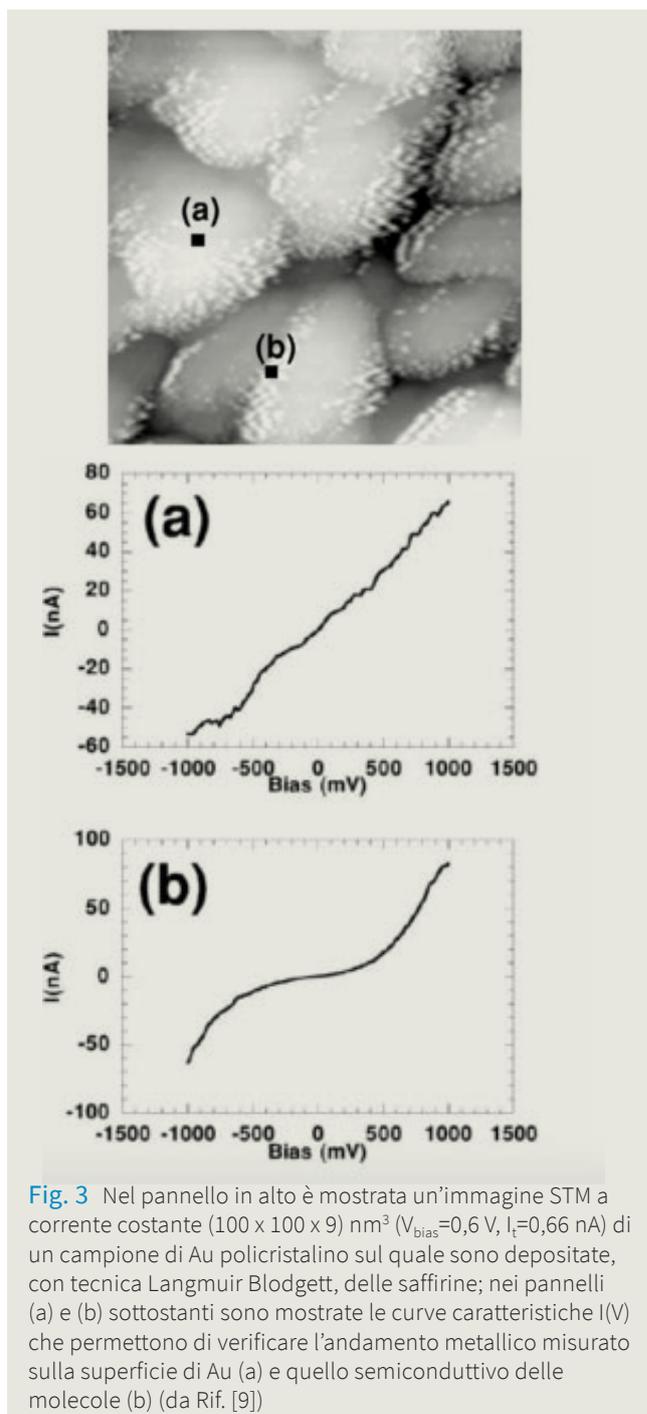


Fig. 3 Nel pannello in alto è mostrata un'immagine STM a corrente costante ($100 \times 100 \times 9$) nm³ ($V_{\text{bias}}=0,6 \text{ V}$, $I_t=0,66 \text{ nA}$) di un campione di Au policristallino sul quale sono depositate, con tecnica Langmuir Blodgett, delle saffirine; nei pannelli (a) e (b) sottostanti sono mostrate le curve caratteristiche $I(V)$ che permettono di verificare l'andamento metallico misurato sulla superficie di Au (a) e quello semiconduttivo delle molecole (b) (da Rif. [9])

dappertutto tranne che in un intervallo di x compreso tra 0 e W in cui vale V_0 costante (Figura 4).

Si possono identificare in questo modo tre diverse zone:

- | | | |
|-----------|-----------------|-------------------|
| zona I: | per $x < 0$ | dove $V(x) = 0$ |
| zona II: | per $0 < x < W$ | dove $V(x) = V_0$ |
| zona III: | per $x > W$ | dove $V(x) = 0$ |

Occorre risolvere l'equazione di Schrödinger nelle 3 zone [10].

In definitiva nelle zone I e III, classicamente permesse, l'elettrone si propaga con velocità costante ed è

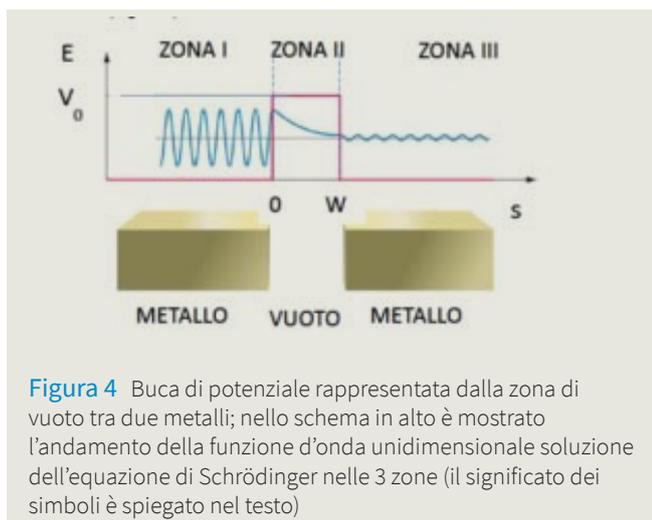


Figura 4 Buca di potenziale rappresentata dalla zona di vuoto tra due metalli; nello schema in alto è mostrato l'andamento della funzione d'onda unidimensionale soluzione dell'equazione di Schrödinger nelle 3 zone (il significato dei simboli è spiegato nel testo)

rappresentato da un'onda periodica con una ampiezza costante:

$$\psi(x) = \psi(0)e^{\pm iKx} \quad \text{dove } K = \frac{\sqrt{2m(E-V_0)}}{h}$$

Nella zona II (classicamente proibita), invece, l'elettrone è rappresentato da un'onda che decade esponenzialmente:

$$\psi(x) = \psi(0)e^{\pm kx} \quad \text{dove } k = \frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{h}$$

È chiaro, pertanto, che l'elettrone riuscirà ad attraversare la barriera di potenziale solo se questa non è "troppo larga" e la probabilità di tunnel sarà pari a:

$$P = |\psi(0)|^2 e^{-2kW} \neq 0$$

Questo calcolo è fatto per un solo elettrone che attraversa una buca.

Cosa succede nel caso di una punta e di un campione reali? (Figura 5). Quando tra i due metalli è applicata una differenza di potenziale (V_{bias}) i livelli di Fermi dei due conduttori (ovvero il livello di maggior energia occupato dagli elettroni di conduzione) sono disallineati di una energia proprio pari a eV_{bias} . Pertanto, tutti gli elettroni, identificati da una funzione d'onda $\psi_n(x)$ e che hanno un'energia E_n compresa tra E_F e $(E_F - eV_{bias})$, potranno attraversare la barriera di potenziale con la probabilità che ab-

biamo appena calcolato e la corrente di tunnel sarà data proprio dalla somma di tutti questi contributi:

$$I_{tunnel} \propto \sum_{E_n=E_F-eV}^{E_F} |\psi_n(0)|^2 e^{-2kW}$$

Ricordando che $\psi(W) = \psi(0)e^{-kW}$ e conoscendo la definizione di densità locale degli stati ρ_s [7], si trova che la sommatoria, e quindi la corrente di tunnel, è direttamente legata alla *Densità Locale degli Stati* nel punto W e all'energia E_F .

In definitiva la corrente di tunnel altro non è che la densità locale degli stati in un determinato punto e per una particolare energia:

$$I_{tunnel} \propto \rho_s(W, E_F)V \quad (2)$$

Il risultato rappresentato dall'equazione (2) nonostante sia stato ricavato nel caso di bassi valori della tensione di bias e trascurabile interazione punta - campione si può generalizzare [11] e permette di capire meglio cosa si misura con il microscopio STM e perché l'affermazione, molto comune, "Con il microscopio STM si vedono sempre gli atomi di superficie", può risultare in alcuni casi una affermazione pericolosa.

Un esempio in positivo è rappresentato dai metalli (Figura 6) [12-13], in cui punti a più alta densità corrispondono alle posizioni dei nuclei per cui una misura STM a corrente costante fornisce proprio un'immagine della disposizione degli atomi in superficie.

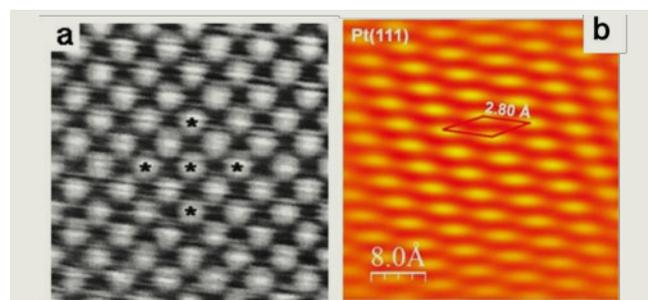


Fig. 6. Due esempi di immagini STM su superfici metalliche: (a) immagine STM (2,5 x 2,5 nm; I = 1 nA, V_{bias} = 1,1 V) di un campione di NiO dove sono visibili solo gli atomi di Ni (da Rif [12]); (b) Immagine STM di una superficie pulita di Pt(111) (4 nm x 4 nm, I = 49 pA, V_{bias} = +48 mV) (da Rif [13])

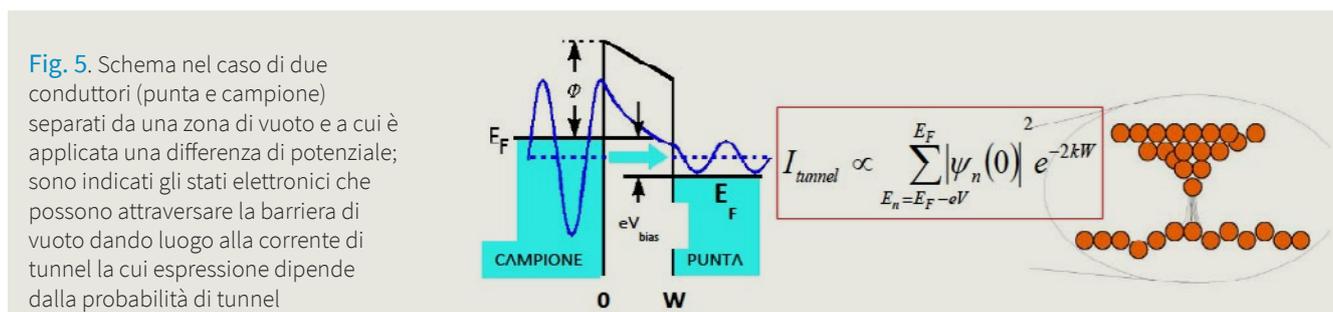


Fig. 5. Schema nel caso di due conduttori (punta e campione) separati da una zona di vuoto e a cui è applicata una differenza di potenziale; sono indicati gli stati elettronici che possono attraversare la barriera di vuoto dando luogo alla corrente di tunnel la cui espressione dipende dalla probabilità di tunnel

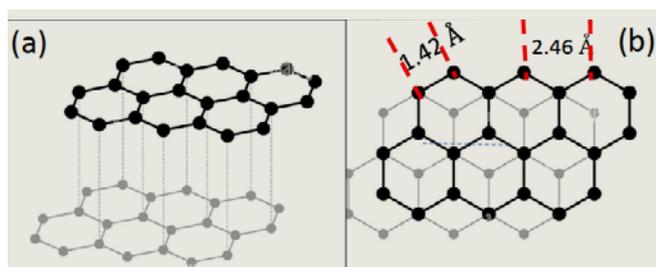


Fig. 7 Struttura cristallografica di un campione di grafite: (a) nel pannello di sinistra la vista è laterale e sono visibili due piani; da notare il fatto che sono leggermente sfalsati l'uno rispetto all'altro, pertanto, un atomo sì e uno no presentano un atomo corrispondente nel piano successivo; (b) vista dall'alto (in particolare sono indicate le distanze a primi e secondi vicini)

Ma cosa succede nel caso dei semi-metalli o dei semiconduttori? Un controesempio è rappresentato dalla grafite (Figura 7).

È noto che il reticolo cristallografico della grafite è costituito da strati di atomi di carbonio posti ai vertici di esagoni il cui lato misura circa 1,42 Å. Ogni strato, rispetto a quello adiacente, è ruotato per cui in un piano di grafite un atomo sì e uno no ha un corrispondente nello strato successivo. Questo fatto rende la densità elettronica sui siti atomici della grafite non equivalente e l'immagine STM (Figura 8), che dipende dal valore della tensione di bias con cui viene misurata [14], mostra un reticolo esagonale (come ci si aspetta nel caso della grafite), ma se si guarda con attenzione ci si accorge che tale esagono, a differenza di quello semplice della grafite, è centrato e la lunghezza del lato è pari a 2,46Å, mentre la distanza tra i primi vicini nella grafite ci si aspetta sia pari a 1,42 Å. Come mai? Ciò dipende dal fatto che in particolari condizioni di misura in realtà si vede solo un atomo su 2! Infatti se proviamo, nel reticolo della grafite, a cancellare un atomo ogni 2 (Figura 9) vedremo che si forma effettivamente sempre un esagono, ma che ha al centro un atomo e la cui lunghezza del lato corri-

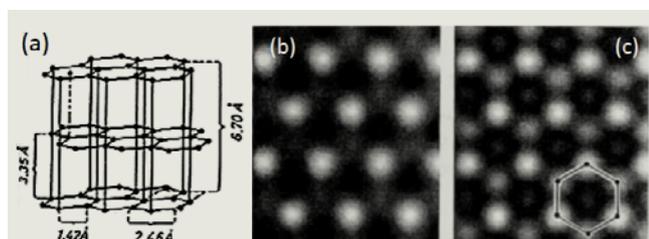


Fig. 8 (a) Struttura cristallografica di un campione di grafite: (b) e (c) sono due immagini a corrente costante misurate con diversi valori di tensione di bias (da Rif. [14]); in un caso si vedono solo 3 dei 6 atomi della struttura esagonale di superficie, mentre nel secondo caso si vedono tutti e 6 gli atomi ma la loro intensità è modulata

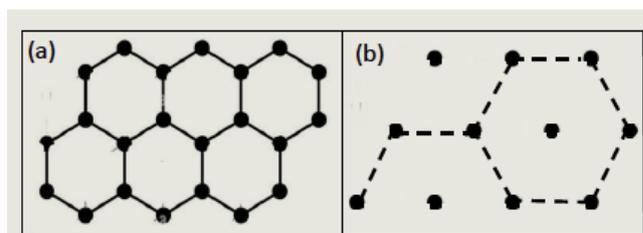


Fig. 9 (a) Vista dall'alto di un piano di grafite; (b) stesso reticolo riportato in (a) dove sono stati cancellati un atomo sì e uno no: è evidente che la struttura che rimane visibile è sempre un esagono, ma con un atomo al centro e la cui distanza tra gli atomi corrisponde alla distanza a secondi vicini del reticolo (a).

sponde proprio alla distanza tra secondi vicini che, con semplici considerazioni geometriche, si può facilmente dimostrare essere pari a 2,46 Å. Cambiando i valori di bias e corrente di tunnel è possibile, in alcune condizioni, vedere tutti gli atomi della grafite, ma con una modulazione dell'intensità.

Cosa succede invece nel caso del grafene? Essendo il grafene costituito da un solo strato di grafite non risente degli effetti di simmetria dovuti all'interazione con gli strati sottostanti e tutti gli atomi della struttura sono equivalenti; pertanto, nelle immagini STM (Figura 10) compare un reticolo esagonale semplice di lato uguale a 1,44Å [15].

Un altro esempio interessante è rappresentato dalla superficie del GaAs(110) [16]. L'immagine STM a seconda del segno del potenziale di bias (vedi figura 11) mostra sempre la stessa struttura, ma leggermente traslata: come mai? Questo dipende dal fatto che cambiando il segno del potenziale di bias cambia il verso della corrente di tunnel e si vedono solo gli stati pieni o vuoti, ovvero si vedono solo gli atomi di Ga o quelli di As a causa della loro struttura elettronica.

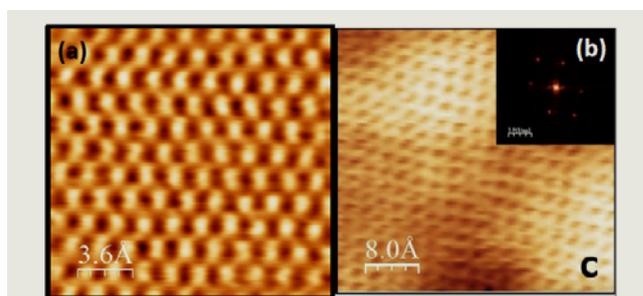


Fig. 10 (a) Immagine STM di un campione di grafite (18 × 18) Å, I = 1 nA, V = 0,02 V: è evidente la struttura esagonale centrata; (b) esagono nello spazio di Fourier ottenuto calcolando la FFT bidimensionale dell'immagine riportata in (c) che si riferisce ad una misura STM a corrente costante (40 × 40) Å, I = 1 nA, V = 0,02V misurata su un campione di grafene cresciuto su una superficie di Ge(001) (da Rif. [15]); le misure STM sono state acquisite presso il NanoLab STM di Tor Vergata

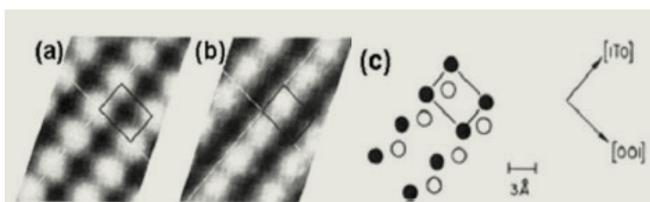


Fig. 11 Immagini STM a corrente costante misurate su una superficie di GaAs(110) rispettivamente con tensioni di bias pari a $V_b=1,9$ V (a) and $V_b = -1,9$ V (b); (c) vista dall'alto degli atomi di superficie che sono rappresentati da cerchi rispettivamente aperti o chiusi (da Rif [16])

Si potrebbero fare molti altri esempi [17] del fatto che l'immagine STM sia data non tanto dalla distribuzione degli atomi, ma dalla modulazione della densità di carica superficiale. Uno dei più eclatanti fu fornito nel 1993 dal gruppo di ricerca di Crommie che realizzò un'immagine che valse loro la prima pagina della rivista *Science* [18], mostrata in figura 12. Essi misurarono un campione costituito da 48 atomi di Fe in cerchio su una superficie di Cu(111). Le ondulazioni che si vedono nell'immagine STM sono dovute alla densità di un particolare set di stati elettronici della superficie costretti all'interno della struttura circolare del recinto ("corral").

Gli autori furono in grado di predire esattamente gli stati nel recinto semplicemente risolvendo l'equazione quantistica di una particella in una scatola. Con il microscopio STM grazie al famoso esperimento del recinto quantistico per la prima volta è stato visualizzato uno stato quantistico fino ad allora studiato solo teoricamente.

Ma Don Eigler e collaboratori dove hanno trovato i loro campioni? Se li sono costruiti ad hoc (Figura 13)

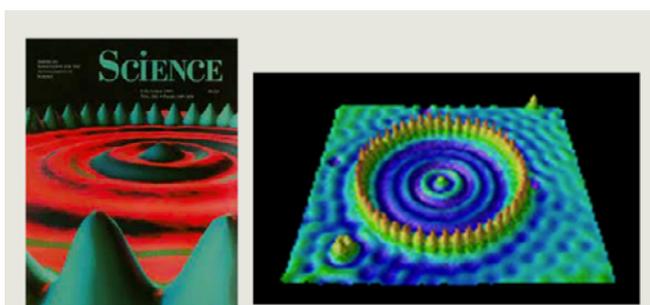


Fig. 12 Il recinto quantistico costituito da 48 atomi di Fe in cerchio su una superficie di Cu(111) che valse agli autori la prima pagina della prestigiosa rivista *Science*; le ondulazioni che si vedono nell'immagine STM sono dovute alla densità di un particolare set di stati elettronici della superficie costretti all'interno della struttura circolare del recinto ("corral"); gli autori furono in grado di predire esattamente gli stati nel recinto semplicemente risolvendo l'equazione quantistica di una particella in una scatola; per la prima volta uno stato quantistico è stato visualizzato usando un microscopio STM (da Rif [18])

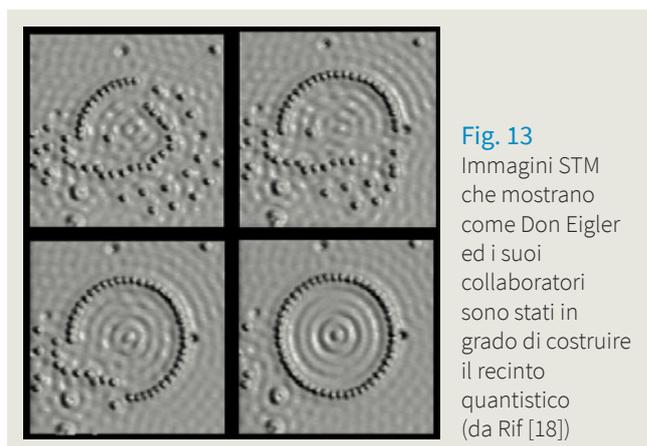


Fig. 13 Immagini STM che mostrano come Don Eigler ed i suoi collaboratori sono stati in grado di costruire il recinto quantistico (da Rif [18])

dimostrando, per la prima volta in assoluto, la capacità di manipolare la materia sulla scala degli atomi. Già qualche anno prima [19] Eigler e Schweizer avevano dimostrato di essere in grado di spostare 35 atomi di Xenon su una superficie di Ni(001) scrivendo la scritta IBM (Figura 13).

L'immagine fece il giro del mondo e diede in qualche modo agli scienziati la chiave per entrare nel mondo della materia sulla scala atomica: quello che aveva previsto Richard Feynman nel suo famoso discorso *There is plenty of room at the bottom* dove nel lontano 1959 aveva annunciato che il futuro della conoscenza avrebbe permesso all'uomo di spostare la materia laggiù in fondo alla scala dove c'è molto spazio e nessuna legge fisica avrebbe vietato la manipolazione dei singoli atomi: il sogno di Feynman diventa realtà [6].



Fig. 14 Sequenza realizzata usando la punta del microscopio STM per spostare atomi di Xe su una superficie di Ni(110) (da Rif. [19]): fu la prima dimostrazione di nanomanipolazione a livello di singoli atomi; le lettere della scritta IBM hanno una dimensione di circa 50 Å

3. AFM (Atomic Force Microscopy)

Poco tempo dopo la realizzazione del microscopio STM, il gruppo di ricerca diretto da Rohrer si rese conto che anche durante una misura STM si esercita localmente una forza a corto raggio tra la punta e il campione, come mostrato in figura 15. Nacque quindi l'idea di realizzare un nuovo apparato che invece di misurare la corrente di tunnel fosse in grado di misurare una forza che si instaura tra un atomo terminale della punta e quello della superficie

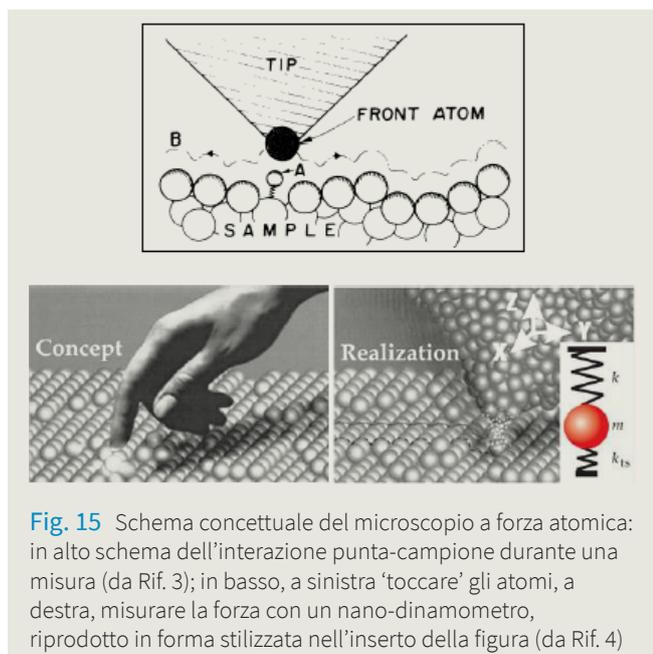


Fig. 15 Schema concettuale del microscopio a forza atomica: in alto schema dell'interazione punta-campione durante una misura (da Rif. 3); in basso, a sinistra 'toccare' gli atomi, a destra, misurare la forza con un nano-dinamometro, riprodotto in forma stilizzata nell'inserto della figura (da Rif. 4)

del campione. Il sistema potrebbe essere schematizzato come mostrato in figura 15, e permetterebbe di poter 'toccare' gli atomi.

Nell'apparato sperimentale, una piccola punta è fissata all'estremità di una microleva elastica assimilabile ad un nano-dinamometro in grado di deformarsi in modo elastico in base all'interazione rilevata tra la punta e il campione, come mostrato nello schema di figura 16 [4].

Sulla scala di atomi e molecole le interazioni che si possono instaurare tra punta e campione sono assimilabili a quelle tra due atomi singoli e sono prevalentemente di tipo elettromagnetico. La curva riprodotta in figura 16 è una buona approssimazione di quanto si verifica nel sistema e distingue essenzialmente due tipi di forza in funzione della distanza punta-campione: repulsiva o attrattiva. Nel caso repulsivo la distanza punta-campione è molto piccola e si instaura un'interazione a corto raggio e la punta e il campione vengono considerate 'in contatto'. Nel caso attrattivo, pur essendo prossima alla superficie

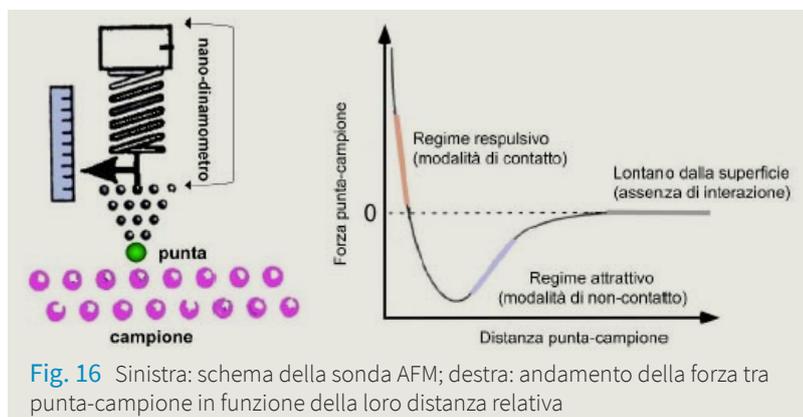


Fig. 16 Sinistra: schema della sonda AFM; destra: andamento della forza tra punta-campione in funzione della loro distanza relativa

del campione, la punta non è in contatto e le forze coinvolte sono di tipo van der Waals, forze elettrostatiche, magnetiche e capillari. Da quanto detto si comprende come dalla misura delle interazioni tra la sonda e la superficie del campione è possibile accedere a diverse proprietà del campione stesso legate al tipo di forza coinvolta [7].

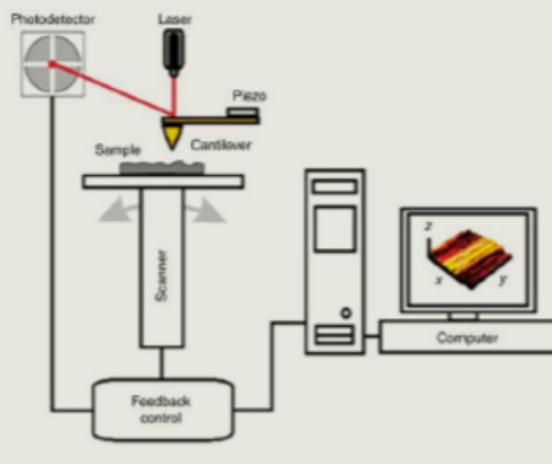
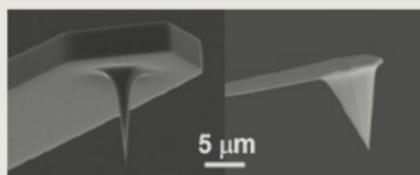
3.1. Principio di funzionamento

La microscopia a forza atomica è una tecnica di profilatura meccanica che genera mappe tridimensionali di superfici ottenute dalla scansione di una sonda attaccata a un elemento elastico di un'area del campione. Le forze che agiscono tra la punta e il campione sono utilizzate per controllare la distanza verticale. Gli elementi essenziali di un AFM sono: 1) la sonda e 2) la misura della forza. La sonda è ottenuta mediante tecniche di fotolitografia ed è composta da un elemento elastico (cantilever) assimilabile ad una leva meccanica (a base di Silicio) dalle caratteristiche geometriche (lunghezza, spessore) ed elastiche note (costante elastica e frequenza di risonanza), alla cui estremità è presente la sonda vera e propria costituita da una punta sottile. Il cantilever e la punta possono avere forme di diverso tipo (angolo di apertura, forma), e le caratteristiche meccaniche che ne conseguono possono variare [5] (Figura 17).

L'AFM condivide le sfide costruttive già affrontate in STM e utilizza molte delle sue caratteristiche di progettazione (attuatori, isolamento dalle vibrazioni, elettronica, ecc.). Anche nella microscopia AFM si misura seguendo modalità diverse. Relativamente al punto 2), misura della forza, la deflessione del cantilever può essere fatta in modi differenti, ad esempio in figura 17 la deflessione si ottiene dalla misura della deviazione di un raggio laser puntato sul retro del cantilever da cui, nota la costante elastica, si ricava il valore della forza. Allo stesso tempo, il campione è posto su di un attuatore piezoelettrico (scanner, si veda figura) che ha la capacità di spostarlo nel piano e lungo la direzione verticale, a seconda della tensione applicata, in modo da effettuare la misura della forza durante la scansione di un'area del campione prescelta.

Il segnale viene elaborato da un sistema in modo da trasformare l'informazione registrata in un'immagine tridimensionale dell'area del campione studiata (Figura 17). Le forze che tipicamente agiscono tra punta e campione variano tra 10^{-11} e 10^{-6} N. Considerando che tra due atomi uniti da legame covalente alla distanza di $\sim 0,1$ nm agisce una forza di circa 10^{-9} N, si comprende che le misure eseguite

Fig. 17 Foto ottenute con microscopio elettronico (SEM) di due cantilever con punte di dimensioni differenti; destra: schema di funzionamento dell'apparato AFM



con l'impiego dell'AFM non sono distruttive se non per campioni particolarmente 'soffici'. Le principali modalità di funzionamento sono: 1) *a contatto*, in cui prevalgono le forze repulsive (valore medio di 10^{-9} N) l'acquisizione avviene mantenendo costante la forza d'interazione oppure l'altezza della punta; 2) *non contatto*, in cui agiscono le forze attrattive che sono più deboli rispetto a quelle misurate nella modalità di contatto (valore medio di 10^{-10} N). Per questo motivo alla punta viene applicata una piccola oscillazione e le deboli forze in gioco vengono misurate analizzando i cambiamenti in ampiezza, fase e frequenza delle oscillazioni della punta; 3) *tapping o contatto intermittente*, in cui la sonda oscilla a frequenza minore della frequenza di risonanza del cantilever. Questa modalità consente di produrre immagini di elevata risoluzione spaziale di superfici di campioni che possono essere facilmente danneggiati dalla punta, come ad esempio campioni biologici di varie dimensioni (cellule, filamenti di DNA e simili). Inoltre, la modalità tapping supera i problemi relativi alle forze di attrito, di adesione ed elettrostatiche che si stabiliscono nel caso dell'acquisizione in modalità di contatto. I metodi di *non-contatto* e *tapping* sono detti 'dinamici'. L'AFM misura e rappresenta i segnali raccolti nelle tre dimensioni spaziali e nello spazio reale, con risoluzione

laterale di 0,01 – 1 nm e verticale di 0,01 nm mediante un'immagine in scala colorimetrica [7].

Date le sue caratteristiche l'AFM può operare in aria, in ultra-alto vuoto (UHV) e in liquido (specie per campioni biologici) e consente di analizzare sia materiali conduttori che isolanti. Quest'ultima caratteristica amplia moltissimo la scelta dei campioni che si possono analizzare che possono anche essere degli isolanti e delle condizioni di misura che si possono adottare. In particolare, queste prerogative si applicano con grande successo allo studio dei campioni biologici, che possono essere mantenuti in condizioni vicine a quelle naturali e necessitano solo di essere ben depositati su una superficie di partenza. La figura 18 mostra come nel tempo la tecnica è stata sviluppata negli anni per lo studio dei campioni biologici e finalizzata a misure di proprietà specifiche che vanno oltre la semplice caratterizzazione morfologica [20-22].

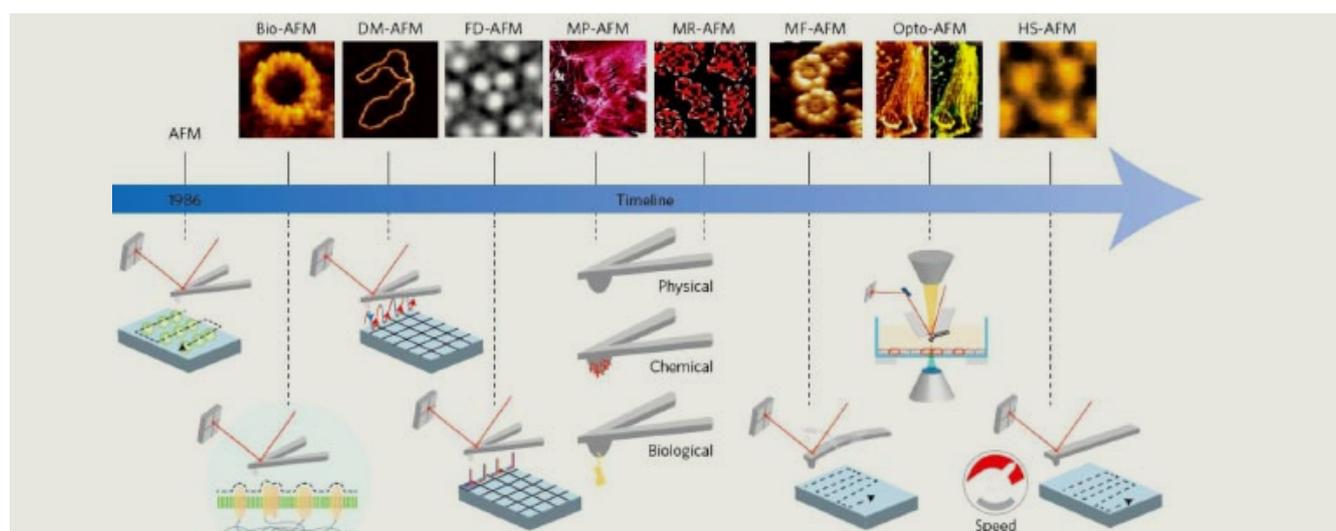
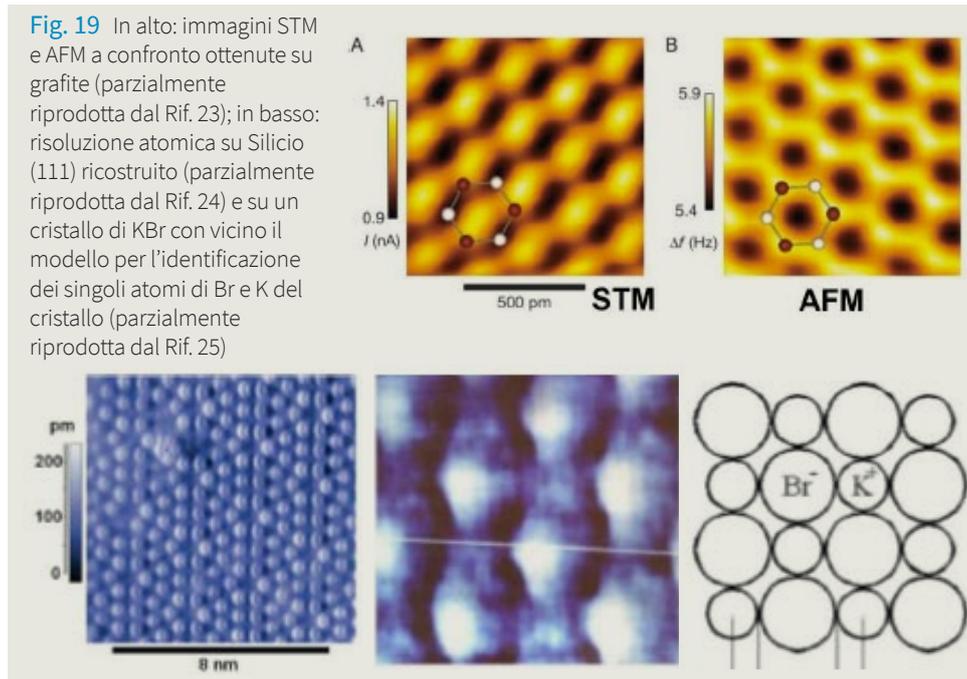


Fig. 18 Sequenza temporale dell'evoluzione della tecnica per gli studi di campioni biologici; gli acronimi sulle immagini nella parte alta si riferiscono a: Bio- (in soluzione), DM- (modalità dinamica), FD- (misure di curve di forza), MP- (acquisizione contemporanea di parametri diversi), MR- (riconoscimento molecolare), MF- (a frequenza variabile), Opto- (assieme ad acquisizione ottica), HS (acquisizione dinamica ad alta velocità di scansione); nella parte inferiore è schematizzata la modalità di acquisizione (riprodotta da Rif. 22)

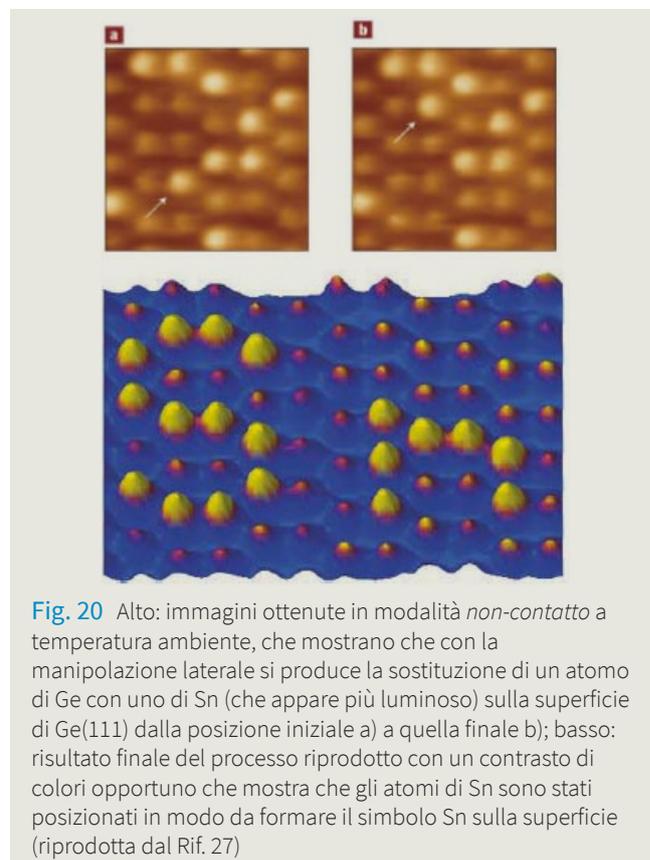


STM – AFM ottenute sulla superficie della grafite. Diversamente dall'STM nella figura AFM sono visibili tutti e sei gli atomi di carbonio del reticolo, perché l'interazione coinvolta nel processo di formazione dell'immagine è la forza atomica e non la corrente di tunnel, come spiegato nel paragrafo 2.1 e in figura 8. Inoltre, seguendo l'esempio già ampiamente dimostrato dagli esperimenti di Crommie con l'STM [18], anche l'AFM è in grado di muovere con una punta singoli atomi depositati in precedenza su una superficie [27]. La figura 20 mostra nella parte superiore,

3.2 AFM e risoluzione atomica

Sebbene la maggior parte delle applicazioni della microscopia AFM non siano rivolte ad ottenere la risoluzione atomica, alcune considerazioni teoriche indicano che la tecnica è adatta a 'vedere-toccare' gli atomi. Nel caso dell'STM l'elevata risoluzione spaziale è legata alla breve lunghezza di decadimento della corrente di tunneling e la ridotta distanza punta-campione. Per l'AFM operante in modalità dinamica ci sono tre diverse aspetti che fanno supporre che la risoluzione ottenibile sia confrontabile se non superiore a quella dell'STM: 1) la distanza minima tra punta e campione in misure fatte con metodi dinamici, può essere molto più piccola rispetto al microscopio STM senza distruggere la punta, perché le forze che agiscono sull'atomo terminale della punta sono molto più piccole nella fase di oscillazione in cui la punta è lontana dal campione; 2) quando in STM si utilizzano grandi tensioni di polarizzazione, più stati possono contribuire alla corrente di tunneling; infine 3) le forze tra punta-campione hanno anche componenti repulsive con una lunghezza di decadimento molto piccola. In questi anni il miglioramento della risoluzione spaziale e temporale (velocità di scansione) è stato ottenuto con i nuovi apparati operanti anche in liquido, atmosfera controllata oltre all'ultra-alto vuoto. Molti esperimenti riguardano il raggiungimento del regime di risoluzione atomica. [23-26]. La figura 19 mostra alcune immagini a risoluzione atomica di superfici di metalli e semiconduttori la cui risoluzione spaziale è confrontabile con quella ottenuta dalla microscopia STM. In particolare, nella parte superiore di figura 19, sono messe a confronto due immagini

superiore, due immagini raccolte in sequenza che evidenziano lo spostamento di un singolo atomo (di Sn) su una superficie di Ge. Agendo su un atomo alla volta si giunge a formare un disegno 'atomico' che in questo esperimento, mostra il simbolo dello Sn realizzato da atomi di Sn (parte inferiore dell'immagine). Questo esperimento dimostra che è possibile creare



delle nanostrutture a partire dai singoli atomi, secondo un processo che viene definito bottom-up (dal basso in alto), cioè dal piccolo al grande. Esperimenti di questo tipo ci confermano la vastità delle applicazioni della tecnica AFM e la potenza della nanotecnologia. Da questo breve e conciso excursus è chiaro che essendo la forza l'elemento di riferimento della tecnica AFM, essa consente di poter ricavare una vasta serie di informazioni dal campione, a patto di sviluppare la strumentazione in modo appropriato. Soffermandoci sull'aspetto della tecnica più inerente al tema della scuola e cioè se è possibile vedere gli atomi, nel caso dell'AFM la risposta a questa domanda è che gli atomi si possono 'vedere, toccare ed anche manipolare'. Va ricordato che ogni esperimento deve essere completato da un'analisi teorica e computazionale accurata in modo da avvalorare la descrizione di un qualsiasi sistema studiato.

Conclusioni

Le due tecniche sperimentali di base illustrate in questo breve resoconto sono tra le migliori mai concepite per osservare la materia e manipolarla a livello atomico. Hanno inoltre chiaramente verificato e sottolineato tutta la forza della meccanica quantistica. Allo stesso tempo, la conoscenza della meccanica quantistica è un requisito essenziale per comprenderne appieno la potenzialità e interpretare in maniera corretta le informazioni contenute nelle immagini acquisite. È nostra convinzione che nonostante la complessità degli argomenti trattati dal punto di vista didattico-formativo sia utile avvicinare gli studenti di liceo o dei primi anni di università alla meccanica quantistica, grazie alla possibilità di utilizzare strumenti commerciali ad uso didattico disponibili sul mercato a questo scopo che farebbero toccare con mano i concetti teorici. ■

Ringraziamenti

M.S. ringrazia il progetto Sensori Flessibili Indossabili a Bassa Potenza Basati sul Grafene per il Monitoraggio rapido di Segnali Vitali (LIFEPLASTSENS), Codice POR A0375-2020-36566.

A.S. ringrazia il progetto High-electron mobility 2D polymers (P2DAME, HEM-2DP) ID 107678-0300-0327, Codice POR A0375E0102.

Riferimenti

- [1] G. Binnig, H. Rohrer, *Surf. Sci.* 1983, **126**, 236.
- [2] G. Binnig, H. Rohrer, C. Berger, E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.*, 1982, **49**, 57.
- [3] G. Binnig, et al., *Phys. Rev. Lett.*, 1986, **56**, 930.
- [4] G. Binnig, et al., *Scientific American*, 1985, **253**, 40.
- [5] C. F. Quate, *Physics Today*, 1986, **39**, 26.

- [6] R. P. Feynman, *Engineering and Science*, 1960, **23**, 22.
- [7] *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications*, 2nd Edition, Dawn Bonnell (Editor), ISBN: 97804712482.
- [8] R. Feenstra, J. Stroscio, A. Fein, *Surf. Sci.* 1987, **181**, 295.
- [9] A. Sgarlata et al., *Surf. Sci.*, 2000, **466**, 167.
- [10] D. J. Griffiths, *Introduzione alla meccanica quantistica*, F. Ciccacci (Curatore), L. Quartapelle Ed. CEA, 2005 EAN: 97888080874784-8.
- [11] J. Tersoff, D. R. Hamann, *Phys Rev Lett*, 1985, **50**, 1998.
- [12] M. R. Castell, S. L. Dudarev, C. Muggelberg, A. P. Sutton, G. A. D. Briggs, *J. Vac. Sci. Technol. A*, 1998, **16**, 1055.
- [13] K. Krupski, M. Moors, P. Jóźwik, T. Kobiela, A. Krupski, *Materials*, 2015, **8**, 2935.
- [14] A. Selloni, P. Carnevali, E. Tosatti, C. D. Chen, *Phys. Rev. B*, 1985, **31**, 2602(R); Erratum *Phys. Rev. B*, 1986, **34**, 7406.
- [15] L. Di Gaspare, A. Scaparro, M. Fanfoni, L. Fazi, A. Sgarlata, A. Notargiacomo, V. Miseikis, C. Coletti, M. De Seta, *Carbon*, 2018, **134**, 183.
- [16] R. M. Feenstra, J. A. Stroscio, J. Tersoff, A. P. Fein, *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**, 1192.
- [17] A. N. Chaika, High Resolution STM Imaging Scanning Electrochemical Potential Microscopy (SECPM) and Electrochemical STM (EC-STM), in *Surface science tools for nanomaterials characterization*, CSSR Kumar Editor, Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- [18] M. F. Crommie, C. P. Lutz, D. M. Eigler, 1993, *Science*, **262**, 218.
- [19] D. M. Eigler, E. K. Schweizer, *Nature*, 1990, **344**, 524.
- [20] Y. Jiao, D. I. Cherny, G. Heim, T. M. Jovin, T. E. Schäffer, *J. Mol. Biol.*, 2001, **314**, 233.
- [21] D. J. Müller, et al., *J. Mol. Biol.*, 1995, **249**, 239.
- [22] Y. F. Dufrêne, et al, *Nature Nanotech.*, 2017, **12**, 295.
- [23] S. Hembacher, F. J. Giessibl, J. Mannhart, C. F. Quate, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2003, **100**, 12539.
- [24] F. J. Giessibl, et al., *Science*, 2000, **289**, 422.
- [25] F. J. Giessibl, G. Binnig, *Ultramicroscopy*, 1992, **42**, 281.
- [26] F. J. Giessibl, *Materials Today*, Maggio 2005.
- [27] Y. Sugimoto, et al., *Nature Mater.*, 2005, **4**, 156.

Sitografia

Animazioni didatticamente molto utili per capire il funzionamento dei microscopi oggetto di questo contributo si possono trovare ai seguenti link

- a) A journey to the nanoworld: https://www.youtube.com/watch?v=WiFgwB_BADE
- b) Surface studies with a scanning tunnelling microscope: <https://www.youtube.com/watch?v=wNE-qRq6NyUw>
- c) New Frontiers in Nanotechnology: <https://www.nationalgeographic.org/media/nano-world/>

Eleonora Aquilini e Antonio Testoni

Divisione di Didattica della SCI

✉ele.aquilini6@gmail.com; antonio.testoni55@gmail.com

Il senso di leggere i grandi classici della Chimica: perché una rubrica dedicata a percorsi didattici con approccio storico-epistemologico

*“Gli scienziati si formano oggi leggendo libri scritti, per i giovani studenti, da altri scienziati. A differenza di tutti gli “umanisti” che si vergognerebbero a confessare di non aver mai letto Dante o Shakespeare o Dostoevskij, nessun fisico e nessun biologo ha l’obbligo o il dovere morale di leggere direttamente i testi dei **grandi classici** della fisica o della biologia. Alcuni, spesso in età molto matura, li leggono ma questo non è affatto indispensabile e, dopo le letture fatte in un buon liceo, si può arrivare al Nobel senza aver mai aperto un testo scientifico anteriore agli ultimi vent’anni.”¹*

Queste considerazioni ovviamente chiamano in causa anche i chimici, in particolare chi insegna e chi scrive libri di testo. Quanti di loro si sono avventurati nella lettura e nell’approfondimento di qualche opera dei “grandi classici” della Chimica? Si direbbe ben pochi, vista la scarsa attenzione che viene riservata alla Chimica di Lavoisier, di Proust, di Dalton, di Avogadro... che non tiene minimamente conto della ricchezza di idee e di pensiero racchiuse nelle loro opere. Molta attenzione viene, invece, riservata ad un insegnamento contenutisticamente aggiornato. E questo è ragionevole e per certi versi condivisibile. Ci sono, però, dei rischi nell’impostare un insegnamento scientifico poco incline a guardare anche al passato e sono quelli di tagliare le radici del tronco secolare della storia, con le sue straordinarie ricchezze di cultura e di esperienza. Vecchio e nuovo devono convivere ed essere in continuità, nella consapevolezza che nella scienza, come del resto nella vita, non si comincia **mai da zero**. La scienza, nel suo continuo divenire, non ha punti di arrivo, ma ha punti di **partenza**, che devono essere esplicitati, chiariti ed approfonditi se vogliamo dare un **senso** alla nostra narrazione. Ragion per cui, un percorso didattico, qualunque esso sia, deve riuscire a creare un rapporto dialettico tra il vecchio e il nuovo, in modo tale che l’emergenza del nuovo nasca da una riflessione critica sul vecchio. Se l’obiettivo principale dell’insegnamento della Chimica nella scuola se-

condaria di secondo grado è quello di contribuire al conseguimento di un livello minimo di **cultura scientifica**, che non è solo conoscere leggi, teorie, modelli..., ma essere in grado di **pensare e leggere** la realtà in profondità oltre le apparenze, questo non può essere raggiunto se la padronanza dei contenuti non è affiancata da conoscenze adeguate circa **il come e il perché** dei cambiamenti concettuali all’interno della disciplina. Senza la ricostruzione didattica di questo **contesto problematico** (teorico e sperimentale), difficilmente si riuscirà ad incidere sugli schemi concettuali preesistenti negli studenti e altrettanto difficilmente si riuscirà a favorire **un nuovo modo di pensare**, un modo di pensare “scientifico”, consapevoli, oggi più che mai, che “*la razionalità, il rigore logico, la controllabilità delle asserzioni, la pubblicità dei risultati e dei metodi, la stessa struttura del sapere scientifico come qualcosa che è capace di crescere su se stesso, non sono categorie perenni dello spirito ma conquiste storiche che, come tutte le conquiste, sono suscettibili di andare perdute.*”² Il nostro compito precipuo è, quindi, quello di preservarle, trasmetterle ed alimentarle continuamente.

È con questo spirito che nella rubrica del CnS dedicata ai percorsi con approccio storico-epistemologico vorremmo proporre e rileggere alcuni “classici” della Chimica in chiave didattica. Autori e testi che hanno segnato in modo indelebile la nascita e lo sviluppo del **pensiero chimico** moderno e che, pertanto, riteniamo possano essere d’aiuto nell’avvicinare i giovani ad una disciplina e ad un modo unico e insostituibile di leggere il mondo. ■



¹ P. Rossi, *Il tempo dei maghi*, Raffaello Cortina Editore, 2006.

Agata Buemi

Liceo statale "Enrico Boggio Lera" di Catania

✉ abuemi@liceoboggiolera.edu.it

Un percorso didattico per svelare la chimica di un esperimento spettacolare

RIASSUNTO Lo spettacolare esperimento di "magia chimica" noto come Golden Rain, semplice precipitazione e ricristallizzazione del diioduro di piombo, risulta particolarmente utile nella pratica didattica per i suoi innumerevoli agganci ad argomenti cardine del programma scolastico di Chimica Inorganica (solubilità, cristallizzazione, precipitazione, prodotto di solubilità, equilibri di solubilità, Principio di Le Châtelier), nonché per coinvolgere gli studenti in calcoli stechiometrici mirati. È stato, pertanto, realizzato un percorso didattico per sfruttare tali potenzialità.

ABSTRACT The spectacular experiment of exhibition chemistry, known as Golden Rain, simple precipitation and recrystallization of lead iodide, is particularly useful in teaching practice because of its innumerable connections to key topics of the school program of Inorganic Chemistry (solubility, crystallization, precipitation, solubility product, solubility equilibria, Le Châtelier's Principle), as well as to enable students to carry out focused stoichiometric calculations. A teaching path has been developed in order to take advantage of this potential.

Introduzione

In questo lavoro viene presentato un percorso didattico incentrato su un esperimento noto con il nome di "Golden Rain", che consiste nella precipitazione del diioduro di piombo e nella sua successiva ricristallizzazione.

È stato sviluppato per classi del liceo scientifico indirizzo scienze applicate. L'occasione è stata fornita dall'interesse suscitato dall'esperimento quando è stato da me eseguito per la prima volta nel liceo in cui insegno. La beuta con i cristalli di diioduro di piombo è rimasta sotto cappa in laboratorio e, tra un'ora di lezione e l'altra, ha attirato l'attenzione di colleghi e studenti, nonché numerose richieste di spiegazioni ed approfondimenti su dettagli procedurali e teorici relativi principalmente alla seconda fase dell'esperienza. Tradizionalmente, infatti, nelle attività didattiche la reazione di precipitazione del diioduro di piombo viene presentata in provetta insieme alle classiche reazioni di precipitazione, mentre è meno nota, come pratica didattica, la possibilità di sviluppare la successiva ricristallizzazione con il caratteristico effetto "pioggia dorata", che fa includere l'esperienza tra gli esperimenti di "magia chimica" [1].

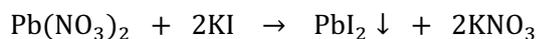
Il gradimento riscontrato, le molteplici richieste di chiarimenti teorici successivi alla realizzazione dell'esperimento e la volontà di collegarlo ai contenuti disciplinari hanno portato, quindi, alla realizzazione di questo lavoro.

L'esperimento è stato eseguito sia in una classe seconda sia in una classe quarta del liceo scientifico indirizzo scienze applicate. Il successo riscosso lo ha reso ideale come fase di *engage* in un percorso didattico, inquadrabile nell'ambito IBSE¹ [2] [3], che è stato abbozzato estemporaneamente e portato avanti, esclusivamente con la classe quarta, nelle modalità che saranno esposte in questo articolo.

¹ Inquiry-Based Science Education

Esperimento

L'esperimento conosciuto come "golden rain", "pioggia d'oro" o "pioggia dorata", consiste nella precipitazione, per reazione tra ioduro di potassio e nitrato di piombo, di diioduro di piombo



e nella successiva ricristallizzazione nello stesso recipiente in cui è avvenuta la precipitazione.

Il suo impiego nell'ambito della spettacolarizzazione della Chimica, tra gli esperimenti di "exhibition chemistry", "magia chimica", è legato alla possibilità di vedere improvvisamente cadere, nell'arco di pochi minuti dalla solubilizzazione del primo precipitato, una pioggia di luccicanti cristalli dorati.

L'esperimento è stato da me messo a punto per la prima volta in occasione della Notte del Liceo Classico 2017. Lo scopo era quello di riuscire ad ottenere questo effetto (con pesate e prelievi eseguiti precedentemente) nell'arco dei 15 - 20 minuti riservati all'esibizione, nel contempo, limitando il più possibile le quantità dei reattivi impiegati. L'esperienza, infatti, doveva essere realizzata più volte per diversi gruppi di visitatori, che si avvicendavano in laboratorio ad intervalli di 45 - 60 minuti.

Le stesse esigenze, sia in termini di tempo che di consumo di reagenti, si presentano quando si lavora con gli studenti in un laboratorio liceale. Il tempo a disposizione, infatti, generalmente corrisponde ad una sola unità oraria di lezione e le classi vengono organizzate in gruppi di lavoro di due o tre studenti.

Procedimento

In una beuta da 100 mL vengono solubilizzati 0,15 g di KI in 50 mL di acqua. Si pesano, direttamente in becher da 100 mL, 0,15 g di $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ che vengono solubilizzati in 50 mL d'acqua. La soluzione di nitrato viene aggiunta a quella di ioduro, ottenendo la formazione di un precipitato giallo. Si riscalda su piastra per solubilizzare il precipitato, evitando di raggiungere l'ebollizione. In caso di soluzione torbida, si aggiungono 1-2 gocce di HCl al 30% v/v. Si lascia raffreddare, eventualmente usando un bagno di acqua fredda, e nell'arco di una decina di minuti si formano gran parte dei cristalli.

Attività svolte

Nel periodo in cui si è svolta l'attività, a causa delle norme COVID vigenti, solo metà degli alunni ha realizzato l'esperimento in laboratorio, il restante 50% ha partecipato a distanza. In pratica gli allievi hanno

lavorato in gruppi composti da uno o due alunni in presenza, collegati ciascuno con un compagno a distanza, tramite video-chiamata con smartphone completamente rivestito con pellicola per alimenti, onde evitare qualsiasi contaminazione.

Gli studenti prima di recarsi in laboratorio sono stati informati che avrebbero realizzato una reazione di precipitazione e che avrebbero dovuto annotare con attenzione dati e osservazioni, operando secondo le seguenti istruzioni, fornite in copia digitale a ciascuno di loro:

1. *Accendere la piastra riscaldante.*
2. *Pesare 0,15 g di nitrato di piombo direttamente in un becher e 0,15 g di ioduro di potassio su vetrino d'orologio.*
3. *Aggiungere 50 mL d'acqua al becher contenente il nitrato di piombo e solubilizzare il sale; trasferire in una beuta da 100 mL la quantità di ioduro di potassio pesata, aggiungere 50 mL d'acqua e solubilizzare il solido.*
4. *Aggiungere, all'inizio "goccia a goccia" con pipetta, alla fine travasando, la soluzione di nitrato a quella di ioduro e non viceversa.*
5. *Mettere la beuta sulla piastra a riscaldare evitando di raggiungere l'ebollizione: il precipitato si solubilizza.*
6. *Se la soluzione tende a restare torbida, aggiungere qualche goccia di HCl al 30% v/v.*
7. *Togliere dalla piastra e coprire con vetro d'orologio: nell'arco di una decina di minuti si forma gran parte dei cristalli.*

In un momento successivo, durante la lezione partecipata in classe, si è fatto il punto su quanto realizzato, in vista della redazione delle relazioni di laboratorio, soggette a valutazione. La lezione si è focalizzata principalmente sul fatto che l'esperimento consiste di due fasi, precipitazione e ricristallizzazione, raccomandando agli studenti di approfondire con opportune ricerche ogni aspetto teorico correlato all'esperienza (onde inserirlo nella prima parte della relazione), nonché di curare l'interpretazione dei passaggi cruciali del procedimento e dei risultati ottenuti.

La correzione delle relazioni ha evidenziato che gli allievi:

- hanno indicato nei richiami teorici semplicemente le definizioni di reazione di precipitazione, solubilità, cristallizzazione (non come tecnica ma, erroneamente, come transizione di fase), spesso insieme all'equazione chimica della reazione coinvolta, correttamente bilanciata;

- non sono riusciti a curare adeguatamente la sezione di interpretazione.

Circa due settimane dopo, nella lezione di correzione collettiva delle relazioni, si è cercato di guidare, motivare ed incoraggiare gli studenti verso ulteriori approfondimenti interpretativi, facendo presente che gli stessi erano ampiamente alla loro portata, essendo correlati al programma svolto, non solo negli anni precedenti, ma anche in quello in corso. A questo scopo è stato proposto il seguente questionario:

1. *La reazione presenta un reagente in eccesso stechiometrico, qual è? (dimostrare)*
2. *Perché è presente un reagente in eccesso? È necessario l'eccesso di uno specifico reagente, o potremmo utilizzare in eccesso uno qualsiasi dei due reagenti?*
3. *Perché aggiungiamo una soluzione all'altra "goccia a goccia"?*
4. *Perché è preferibile aggiungere il reagente in difetto stechiometrico all'altro e non viceversa?*
5. *Quali sono i problemi creati da un precipitato colloidale?*
6. *Perché si aggiunge HCl in caso di soluzione torbida?*
7. *Se potessi ripetere l'esperimento in laboratorio, cosa modificherei per rispondere alle precedenti domande, o per verificare la validità delle risposte che hai dato?*

Solo 6 studenti su 24 hanno provato a trovare delle risposte, riuscendovi, almeno parzialmente, per le domande 1, 3, 5, 6. Sono risultate inevase, tranne in un caso, le altre domande. Nessuno ha risposto alla n. 7.

Nonostante la classe presenti almeno per un terzo allievi dotati di spiccata vivacità intellettuale ed abbia partecipato con entusiasmo alle attività sperimentali e alle lezioni, si sono, quindi, riscontrate resistenze all'attiva partecipazione in questa fase. Si ritiene che esse siano correlabili:

- alle particolari condizioni di lavoro (l'attività, infatti, è stata svolta in DDI² tra fine marzo e maggio 2021, quindi, nelle fasi finali di un anno scolastico segnato dalla pandemia COVID-19);
- alla poca dimestichezza degli allievi con questo approccio (nonostante si trattasse di un quarto anno, la frequenza di laboratorio chimico della classe era fino a quel momento sostanzialmente

consistita in poco più di un esperimento per anno scolastico, eseguito in modalità dimostrativa dal docente e non realizzato personalmente dagli allievi);

- alla diffusa e radicata abitudine scolastica allo studio nozionistico, da sempre ostacolo al ragionamento organizzato al fine di risolvere problemi e difficilmente scardinabile in tempi brevi.

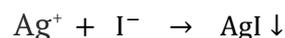
La risposta alla domanda n. 7, quindi, ha richiesto la sollecitazione e l'incoraggiamento dell'insegnante ed è stata data solo durante la discussione collettiva, in seguito alla quale si è deciso di tornare in laboratorio per ripetere l'esperimento nelle seguenti condizioni:

1. *0,15 g KI in 50 mL d'acqua in beuta da 100 mL + 0,15 g Pb(NO₃)₂ solubilizzati in 50 mL d'acqua, versando non goccia a goccia, ma rapidamente e tutta in una volta, la seconda soluzione nella prima;*
2. *0,15 g KI in 50 mL d'acqua + 0,45 g Pb(NO₃)₂ in 100 mL d'acqua in beuta da 250 mL (eccesso di nitrato invece che di ioduro)*
3. *testare il surnatante in entrambi i casi, alla ricerca di Pb²⁺ e I⁻ (proposto esclusivamente dal docente)*
4. *ricristallizzare anche su vetrino per poi scattare foto al microscopio ottico.*

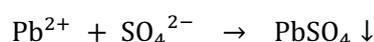
Stavolta la parte della classe in presenza è stata organizzata in due gruppi di lavoro ed ha eseguito le attività insieme all'insegnante; un solo alunno ha curato il collegamento e le riprese in videolezione per gli studenti a casa.

Si sono ottenuti i risultati di seguito riportati.

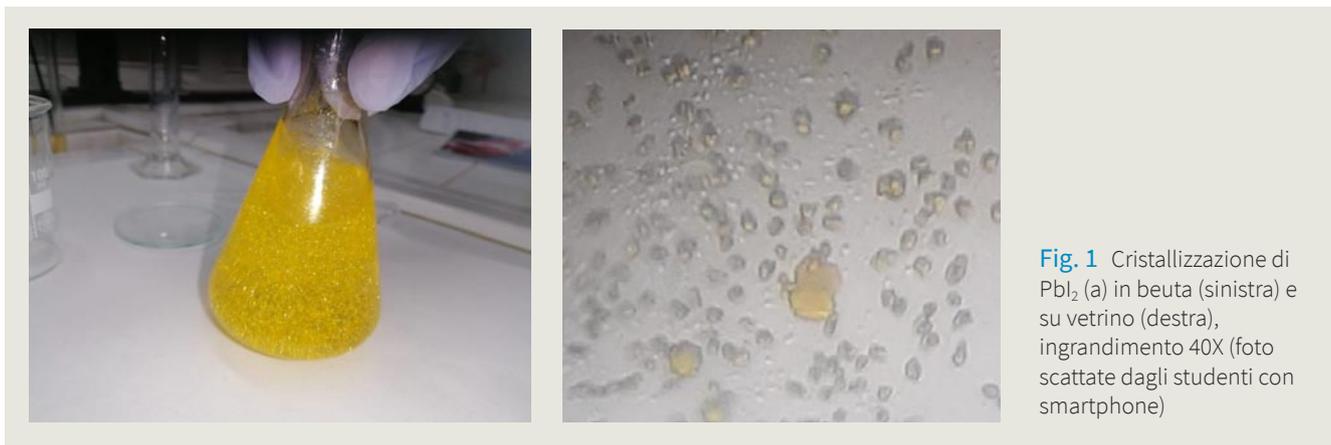
- Sia nel caso (1) che in (2) si è notata una "pioggia" meno abbondante rispetto all'originario esperimento eseguito nella prima seduta di laboratorio
- I saggi su surnatante e precipitato, caso (3), per la ricerca di Pb²⁺ e di I⁻ sono stati eseguiti in provetta e hanno dato esito positivo sia per (1) che per (2)
- Per la ricerca di I⁻ si è aggiunto a qualche mL di surnatante AgNO₃ 0,1 M fino a formazione di un precipitato giallo chiaro di AgI:



- Per la ricerca di Pb²⁺ si è utilizzato H₂SO₄ 2 M fino a formazione di un precipitato bianco di PbSO₄:



² Didattica Digitale Integrata



- La cristallizzazione su vetrino, caso (4), eseguita stendendo una goccia di soluzione calda dopo la solubilizzazione di PbI_2 e lasciando evaporare, ha fatto osservare al microscopio ottico la formazione di cristalli esagonali gialli (Figura 1)

Dopo questa seduta di laboratorio il questionario proposto agli studenti è stato aggiornato con altre due domande, alle quali per carenza di tempo, essendo l'anno scolastico giunto alle fasi conclusive, si è cercata risposta in una nuova discussione collettiva guidata dall'insegnante.

Considerato che i saggi sul surnatante della precipitazione eseguita in eccesso di nitrato sono positivi sia per piombo che per ioduro e che lo stesso vale per i test eseguiti sul surnatante della precipitazione in eccesso di ioduro di potassio:

- questi risultati sono quelli attesi in base alla stechiometria della reazione, o avremmo dovuto avere test positivi solo per il piombo nel primo caso e solo per lo ioduro nel secondo?*
- come si giustificano questi risultati dei saggi per lo ione piombo e lo ione ioduro?*

Il risultato ottenuto in (2) è stato facilmente giustificabile, dato che l'eccesso di nitrato utilizzato era in realtà piuttosto limitato e comunque inferiore a quello di ioduro nel primo esperimento.

Il risultato in (1), invece, si è rivelato di difficile interpretazione, mentre i saggi positivi su Pb^{2+} e I^- , inattesi per gli studenti, sono serviti a farli riflettere sugli equilibri di solubilità nei termini evidenziati nel paragrafo successivo.

Dal punto di vista del docente

L'esperimento realizzato è ricco di implicazioni teoriche, che sono facilmente correlabili ad argomenti cardine del programma scolastico di Chimica e che hanno

fatto da spunto per l'elaborazione delle domande del percorso guidato realizzato in questo lavoro. Tali aspetti teorici sono esaminati a seguire, collegandoli di volta in volta all'anno di corso in cui gli argomenti di riferimento vengono usualmente trattati [4] e alle domande sviluppate per gli studenti.

Solubilità (I e II anno), cristallizzazione (I anno) e precipitazione (II anno)

Il diioduro di piombo ha una solubilità in acqua di 0,076 g/100 mL a 20° C, che sale a 0,2 g/100 mL a 60° C e a 0,4 g/100 mL a 100°C. Presenta, quindi, le caratteristiche ideali per applicare la cristallizzazione come tecnica di purificazione che sfrutta la diversa solubilità a caldo e a freddo della sostanza da purificare. La solubilità deve essere minima a freddo (T ambiente) e più alta possibile a caldo (T inferiore alla T di ebollizione del solvente).

Nella pratica didattica liceale la cristallizzazione viene utilizzata non tanto come tecnica di purificazione, ma per permettere agli studenti di osservare cristalli di grandi dimensioni, ben formati, ovvero con il tipico habitus cristallino.

Nel nostro esperimento il diioduro di piombo viene sottoposto ad una particolare cristallizzazione. Dopo essere precipitato, infatti, viene immediatamente solubilizzato a caldo nello stesso recipiente in cui si è formato; l'evaporazione del solvente (benché minima) ed il successivo raffreddamento renderanno poi la soluzione soprassatura ed il composto cristallizzerà.

Per comprendere al meglio il fenomeno della cristallizzazione è utile eseguire, come è stato fatto in questo caso, anche la cristallizzazione su vetrino, in cui, invece, evaporazione e raffreddamento risultano piuttosto rapidi e portano quasi esclusivamente alla formazione di microcristalli di diioduro di piombo osservabili al microscopio (Figura 1).

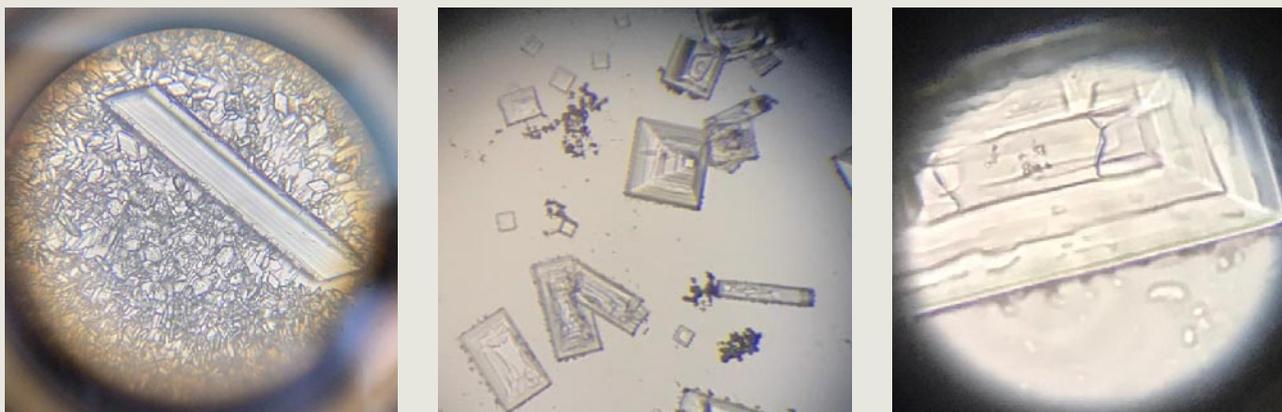


Fig. 2 Cristallizzazione su vetrino di CuSO_4 ad ingrandimento 40 X (sinistra) e di NaCl ad ingrandimento 40 X (centro) e 400 X (destra) (foto scattate dagli studenti con smartphone)

Cristallizzazioni su vetrino di altri sali, abitualmente realizzate nel nostro laboratorio, consentono agli allievi di fare osservazioni su habitus cristallino e strati di accrescimento (Figura 2).

Queste attività consentono anche di collegare gli esperimenti allo studio di minerali e rocce, per una migliore comprensione del processo magmatico e delle caratteristiche tessiturali delle rocce magmatiche intrusive ed effusive (III anno).

Le domande:

- Perché aggiungiamo una soluzione all'altra "goccia a goccia"?
- Perché è preferibile aggiungere il reagente in difetto stechiometrico all'altro e non viceversa?
- Quali sono i problemi creati da un precipitato colloidale?

sono collegabili all'opportunità di operare in modo da ottenere una precipitazione con cristalli quanto più grandi possibili ed evitare la formazione di un precipitato colloidale difficile da filtrare e lavare.

Nel caso dell'esperimento in questione, non dovendosi eseguire tali operazioni, il procedere a regola d'arte potrebbe sembrare ininfluenza, ma i risultati ottenuti nell'esperimento (1) evidenziano il contrario. Si ritiene utile, però, approfondirli in futuro, inserendo nel percorso la determinazione della resa di cristallizzazione.

Prodotto di solubilità (IV anno)

Per studenti di quarto anno si ritiene più opportuno far analizzare precipitazione e cristallizzazione in termini di prodotto di solubilità.

Dal momento che un sale precipita quando le concentrazioni delle relative specie ioniche sono tali

da far sì che venga superato il valore del suo prodotto di solubilità, si ritiene utile proporre, contestualmente all'esperimento, il seguente semplice esercizio.

Un sale precipita se viene superato il suo prodotto di solubilità (PbI_2 ha $K_{ps} = 8,7 \times 10^{-9} \text{ M}^3$ a 25°C). Verifica che ciò si realizza utilizzando i dati del nostro esperimento.

Riflettere in termini di prodotto di solubilità può essere utile anche a completamento della risposta alla domanda "Perché si aggiunge HCl in caso di soluzione torbida?"

La soluzione torbida è segno che si è formato carbonato di piombo PbCO_3 , cosa molto comune vista la qualità dell'acqua distillata in uso nei laboratori scolastici. L'aggiunta di qualche goccia di HCl serve ad eliminarlo, come nella reazione che gli studenti studiano al terzo anno quale saggio per il riconoscimento (attraverso la caratteristica effervescenza) del calcare, o comunque di carbonati, nelle rocce sedimentarie:



PbCO_3 è molto poco solubile, avendo $K_{ps} = 1,5 \times 10^{-13} \text{ M}^2$ a 25°C , mentre PbCl_2 , $K_{ps} = 1,17 \times 10^{-5} \text{ M}^3$, è molto più solubile.

Equilibrio di solubilità (IV anno)

È la nozione teorica che serve a spiegare i risultati positivi dei saggi per Pb^{2+} e I^- condotti sulle acque surnatanti. Quando un solido precipita, infatti, si trova in equilibrio eterogeneo con la soluzione satura, come corpo di fondo:



Si ritiene tale spiegazione [5] più comprensibile e preferibile didatticamente al richiamo del concetto di equilibrio chimico applicato all'intera reazione [6].

Principio di Le Châtelier (IV anno)

Perché è presente un reagente in eccesso?

Il reagente in eccesso serve a sfruttare il principio di Le Châtelier, spostando l'equilibrio verso destra in modo da aumentare la quantità di precipitato. La reazione in questione, nonostante venga rappresentata sempre genericamente con una sola freccia, come spesso accade, è, quindi, una reazione incompleta.

Sicurezza

È necessario l'eccesso di uno specifico reagente o potremmo utilizzare in eccesso uno qualsiasi dei due reagenti?

La scelta dello ioduro di potassio come reattivo in eccesso è semplicemente legata a ragioni di sicurezza, data la tossicità dei composti di piombo ed i relativi problemi di smaltimento dei reflui.

Conclusioni

Nonostante le difficoltà riscontrate per ottenere un'attiva partecipazione di parte degli allievi ad alcune fasi, l'esperienza didattica è risultata senza dubbio positiva. Gli studenti hanno preso reale consapevolezza dell'importanza di concetti fondanti, come nomenclatura e calcolo stechiometrico, e hanno dimostrato di aver finalmente realizzato quanto esse siano scontate e basilari in un contesto operativo. Anche se per molti di loro si è rivelata indispensabile la guida dell'insegnante, si sono cimentati nelle fasi di riflessione sulle procedure adottate e di interpretazione dei risultati, impegnandosi

nell'approfondimento e nell'applicazione di concetti oggettivamente complessi.

L'esperimento spettacolare, semplice e rapido da realizzare, appare, dunque, come un ottimo strumento per veicolare alcuni tra i concetti chimici più ostici per gli studenti, purché si abbia l'accortezza di gestire con oculatezza i punti deboli legati alla tossicità dei composti del piombo e allo smaltimento dei reflui.

Ci si ripropone, operando in condizioni didattiche ottimali e non in DDI, di inserirlo all'interno di percorsi IBSE strutturati adeguatamente in base all'anno di corso, dato che, come evidenziato, i riferimenti ai programmi scolastici consentono un'ampia flessibilità. ■

Ringraziamenti

Si ringraziano il prof. Raffaele P. Bonomo, la dott.ssa Floriana Calderera, tutti gli alunni della 4DSA e quegli studenti della 2BSA che hanno partecipato alle attività.

Riferimenti

- [1] *Golden rain. The precipitation of lead iodide*, 2015 <https://edu.rsc.org/exhibition-chemistry/golden-rain/2000048.article> (consultato il 5 febbraio 2022).
- [2] B. A. Crawford, *J. Res. Sci. Teaching*, 2000, **37**(9), 916.
- [3] B. Scapellato, *Inquiry-based science education*, Pearson Academy, 2017.
- [4] DPR 89/2010 *Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento concernenti le attività e gli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali*.
- [5] R. P. Bonomo, G. Tabbì, L. I. Vagliasindi, *J. Chem. Ed.*, 2012, **89**(4), 545.
- [6] S. De Meo, *J. Chem. Educ.*, 2002, **79**(4), 474.

Luigi Campanella

Università di Roma La Sapienza

✉ luigi.campanella@uniroma1.it

‘EUCHEMS Historical Landmarks’

I patrimoni storici scientifici sono ricchezze culturali ed educative fondamentali, in quanto sono la concreta rappresentazione del rapporto mai formale fra passato e futuro, con particolare attenzione alle specificità culturali dei singoli siti. Questi possono essere musei, siti culturali, poli scientifici o altro, capaci con le loro dotazioni di rappresentare la storia di una disciplina o di una sezione di essa attraverso reperti, collezioni, libri, documenti evidenziando il contributo offerto ad essa dalla sede in oggetto. Preservare nel tempo questi siti è imposto dalla esigenza di opporsi ad atteggiamenti di disinteresse, quando addirittura di rottamazione, dettati forse da condizioni al contorno negative, come mancanza di spazi o scarso interesse per la storia, ma in ogni caso da contrastare.

Queste considerazioni calate nel mondo della Chimica ed all'interno della rete delle strutture della nostra disciplina ha spinto EUCHEMS [1] a bandire ogni anno il premio/riconoscimento HLAN (*EUCHEM Historical Landmarks*) [2], nelle più recenti edizioni vinti da siti spagnoli e tedeschi [3].

Malgrado le mie ripetute sollecitazioni in SCI LIST, formulate nella mia veste di componente della Giuria del premio, per ottenere partecipazioni italiane, queste sono mancate. Spero che per il 2022 tale carenza sia finalmente recuperata. Ricordo che sono accettate lettere di sostegno e soprattutto, tenuto conto della natura della Istituzione proponente, sostanzialmente Federazione delle Società Chimiche Europee, le proposte devono contenere come motivazioni di partecipazione

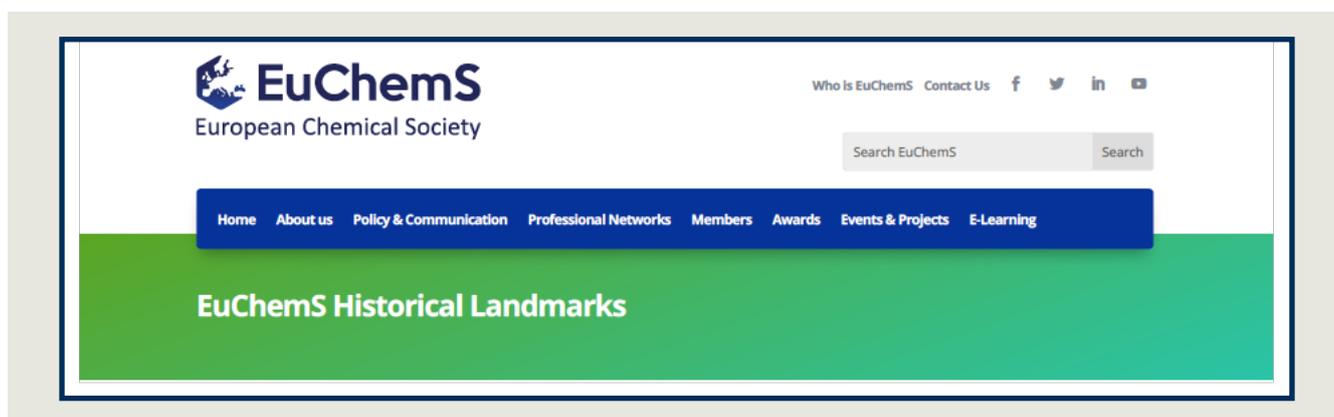
al bando il rapporto fra il sito e la Chimica, sia in prospettiva storica che didattica e/o scientifica.

In questo senso la presenza nel sito di strumentazioni obsolete non più disponibili, o di collezioni di reperti o libri assolutamente originali sono caratteristiche preziose ai fini dell'ottenimento del premio. Altre caratteristiche molto utili ai fini della collocazione di una proposta fra quelle vincitrici sono la sua fruibilità assicurata al pubblico anche di non addetti ed il suo contributo allo sviluppo di una Storia Europea delle Scienze ed una conservazione fra i più giovani della memoria di eccellenze scientifiche o culturali del nostro continente.

Da questo anno, il nuovo referente per l'Italia per il Premio EUCHEMS Historical Landmarks sarà il professor Pierandrea Lo Nostro [4] dell'Università di Firenze, a cui vanno le congratulazioni. ■

Riferimenti

- [1] Pagina del sito "EUCHEMS": <https://www.euchems.eu/>
- [2] Pagina del premio *EUCHEMS Historical Landmarks*: <https://www.euchems.eu/awards/euchems-historical-landmarks/>
- [3] V. Domenici, *Chimica, un patrimonio culturale da preservare*; Link: <https://www.scienzainrete.it/articolo/chimica-patrimonio-culturale-da-preserved/valetina-domenici/2018-09-27>
- [4] Pagina personale del Prof. Pierandrea Lo Nostro: <https://www.unifi.it/p-doc2-2018-0-A-2b33392b322b-1.html>



Domenico Misiti

Dipartimento di Chimica e Tecnologia del Farmaco dell'Università di Roma La Sapienza

✉ domenico.misiti@fondazione.uniroma1.it

Oltre il Muro: verso l'Università di Lipsia

RIASSUNTO Un soggiorno all'Università di Lipsia per una collaborazione scientifica è l'occasione per l'Autore per raccontare i sentimenti e le sue sensazioni a cospetto del muro di Berlino.

ABSTRACT A journey to the University of Leipzig for a scientific collaboration is an opportunity for the Author to report his feelings and sensations in the presence of the Berlin Wall.

Antefatto

Questo mio racconto si riferisce all'ottobre del 1987 in un periodo nel quale avevo un incarico di Consulenza Scientifica di una importante Industria Farmaceutica Laziale per quanto riguardava la ricerca chimica. L'Azienda aveva un grande interesse nella produzione e promozione di un principio attivo di origine naturale come prodotto base per una serie di prodotti biologicamente attivi principalmente come integratori. Non voglio dilungarmi sugli aspetti tecnici e strategici della produzione industriale ma desidero solo ricordare che il nostro Gruppo di Ricerca sulla base di una approfondita ricerca bibliografica e brevettuale per conoscere innovazioni o invenzioni nazionali ed internazionali nello specifico settore di interesse ebbe occasione di trovare un brevetto per la produzione chemio-microbiologica del nostro principio attivo con ottimi risultati anche dal punto di vista economico e di non difficile realizzazione pratica. Il metodo di produzione brevettato apparteneva ad un gruppo accademico dell'Università di Lipsia nella Germania Orientale. La Direzione Aziendale giudicò positivamente la nostra proposta di stabilire contatti operativi con il gruppo tedesco in vista di

uno sviluppo comune del brevetto e fu decisa una visita ufficiale presso l'Università di Lipsia con una delegazione da me guidata. La nostra visita fu preparata curandone ogni particolare e ogni dettaglio, tanta meticolosità era in effetti richiesta dalle Autorità della Germania Orientale nei confronti di ogni individuo che si recasse al di là del Muro.

Berlino Est e il Muro

Devo confessare che questo viaggio aveva generato in me un mix di sensazioni: curiosità per una esperienza umana non esente da qualche rischio, desiderio di conoscere un paese per me sconosciuto e responsabilità professionale per dover prendere decisioni importanti in un contesto non convenzionale. Il programma prevedeva il viaggio in aereo in mattinata per raggiungere Berlino Ovest facendo scalo a Francoforte, il soggiorno a Berlino per trascorrere la notte, il passaggio del Muro per il giorno dopo e l'incontro con gli inviati della Università di Lipsia che ci aspettavano aldilà del Muro per portarci in auto a Lipsia in un paio d'ore.

Arrivavo a Berlino per la prima volta in vita mia con ricordi contrastanti che mi si riproponevano in sequenza: le maestose sfilate militari della Berlino nazista, le immagini di una Berlino distrutta dai





bombardamenti e ancora la costruzione del Muro che dal lontano 1961 rappresentava una drammatica privazione della libertà per una parte di berlinesi. A me che sono sempre stato un grande ammiratore del Presidente J. F. Kennedy venne anche in mente con commozione quando nel 1963, poco prima di essere assassinato a Dallas, Kennedy, in visita a Berlino Ovest, tenne il famoso discorso in cui pronunciò la frase in tedesco 'Ich bin ein Berliner' (io sono un berlinese) come messaggio per un impegno americano in favore della riunificazione dei berlinesi.

Dopo l'arrivo nelle prime ore del pomeriggio passammo il resto della giornata in visita di una Berlino ricostruita in chiave moderna con una popolazione vivace e operosa. La Berlino di allora, gestita ancora dalle forze militari alleate franco-inglesi-americane, anche se attiva e all'apparenza libera non rassomigliava alla meravigliosa Berlino di oggi, punto di riferimento internazionale per la cultura, l'arte, il cinema e centro di aggregazione per una molteplicità internazionale di generazioni di giovani impegnati. Grande interesse fu riservato al Muro che osservammo per un lungo percorso in silenzio meditativo pervasi da una sensazione di malessere. Il Muro rievocava con scritte e documenti tante storie umane sofferte e dolorose. Dinanzi a quel muro mi tornò in mente l'emozione provata di fronte ad un altro Muro con

storia e significati diametralmente opposti. Qualche anno prima in Israele avevo avuto occasione di sostare a lungo di fronte al Muro del Pianto a Gerusalemme e il vedere tanta gente che in preghiera chiedeva ad una divinità soprannaturale comprensione e forse perdono per la propria cattiva condotta mi aveva profondamente turbato. Anche in quel caso si trattava di un Muro ma con un valore ieratico e sublime di grande portata. Ricordo che un giornalista aveva scritto che "la diversità drammatica del Muro di Berlino era dovuta al fatto che di solito i muri sono eretti a difesa, per impedire di far entrare mentre a Berlino il Muro aveva la triste funzione di non fare uscire cittadini, privati della libertà di raggiungere parenti, amici e interessi legittimi aldilà". Seppi con piacere che timidi segni di scongelamento della guerra fredda erano in atto ma non potevo immaginare che solo due anni dopo il Muro sarebbe stato abbattuto ricomponendo un quadro nazionale umanamente ferito.

Checkpoint Charlie

*Mi aiuta a ricordare la testimonianza di Wikipedia a proposito del Muro: nel Muro non mancavano i posti di blocco, il più famoso dei quali era il **Checkpoint Charlie**, situato a Berlino tra il settore sovietico e quello statunitense, da cui potevano passare tutti coloro che, per qualche motivo, ottenevano*

un permesso per recarsi ad Ovest; si trattava in gran parte di turisti e diplomatici, quasi mai di cittadini tedeschi. Il posto di blocco era localizzato sulla Friedrichstraße, all'altezza dell'incrocio con Zimmerstraße, e collegava il quartiere sovietico di Mitte con quello statunitense di Kreuzberg. (https://it.wikipedia.org/wiki/Checkpoint_Charlie). La nostra piccola delegazione si era data appuntamento alle dieci circa del giorno dopo nei pressi del Checkpoint Charlie per poter poi entrare nella Berlino Est dopo aver superato le necessarie operazioni di identificazione e di ammissibilità da parte delle Autorità Sovietiche. Il passaggio non fu esente da difficoltà e da qualche complicazione burocratica che provocò però un discreto ritardo nel nostro programma concordato con i rappresentanti dell'Università di Lipsia in attesa al di là del Muro. I controlli avvenivano in una atmosfera di assoluta freddezza forse anche di latente sospetto che contribuiva a creare quella sensazione di insicurezza che personalmente avevo immaginato e temuto. Nell'attesa si era diffuso fra noi uno stato di ansia come l'essere in una realtà sospesa, decisamente non piacevole. Ho ripensato spesso a quei momenti e qualche anno fa vedendo il capolavoro di Spielberg "Il ponte delle spie" avevo rivissuto in pieno quel lontano giorno berlinese.

In viaggio verso Lipsia

I nostri ospiti di Lipsia ci attendevano con due macchine di modesta cilindrata, vecchiotte e piuttosto malandate. Prendemmo posto dividendoci equamente fra le due macchine e la prima cosa che notai all'interno della vettura, non senza qualche apprensione, fu la presenza di due taniche di benzina che spargevano un forte odore non tranquillizzante. Ci fu spiegato che era necessario assicurarsi una riserva di carburante perché non si poteva contare sui pochi distributori presenti sulla strada spesso non forniti. Nel nostro viaggio attraversammo la Berlino Est e mi sembrò impossibile che un muro avesse potuto creare due realtà totalmente differenti. A parte l'architettura degli edifici e la geometria stradale che risentivano in maniera differente della ricostruzione post-bellica, l'atmosfera che si respirava era molto pesante e soprattutto molto depressa almeno in apparenza. Poca gente nelle strade, molti militari, molte macchine sovietiche e una sobrietà di costumi che nascondeva il malessere di una intera popolazione. Lasciammo questa triste Berlino e con le nostre vetture maleodoranti percorremmo tanti chilometri su strade strette

e con un problematico fondo stradale. Il cielo di questa parte della Germania dell'Est era sereno, illuminato dal sole che riscaldava piacevolmente l'atmosfera e anche il nostro umore, cancellando in parte l'angoscia della mattina appena trascorsa.

Arrivammo a Lipsia in poco più di due ore e fummo tutti felici di abbandonare le auto per fare quattro passi in questa bella città dell'Est. Eravamo fuori orario ed era perciò tardi per il pranzo che avremmo dovuto consumare secondo il programma. Ci accontentammo di una colazione veloce e raggiungemmo l'Hotel prenotato per noi. Il pomeriggio era ormai inoltrato e l'attesa per il ricevimento serale in nostro onore fu da noi occupata da una visita della città, obbligatoriamente accompagnati o meglio sotto vigilanza, da persone dell'Università certamente non del corpo docente. La città vecchia piena di storia era molto bella e i tanti palazzi sontuosi erano la testimonianza di uno splendore passato che resisteva con orgoglio in una attualità non molto interessata ai valori del passato. Meno interessante la piccola parte di città moderna che riuscimmo a visitare. Strade squadrate, edifici monotoni frutto di una edilizia essenziale decisamente triste e anche molto mal tenuta.

La serata, ricordo, fu piacevolissima, i Colleghi dell'Università ci accolsero con calore e simpatia come se ci conoscessimo da sempre. Abbiamo tutti noi avuto la sensazione di ritrovarci in una parte della nostra cara vecchia Europa con condivisione di culture e di valori comuni. La serata, con cena tipica, si protrasse sino alle soglie della notte e ci lasciammo con l'intesa di rivederci l'indomani mattina all'Università per discutere qualità e condizioni di un auspicabile accordo fra le parti.

L'Università di Lipsia

L'Hotel situato nella parte moderna era piuttosto modesto e risentiva dello stile essenziale del regime.



La mia stanza dotata di balconcino si affacciava su una piazza con una fontana al centro e in prospettiva si scorgeva una ciminiera industriale che spargeva fumi di incerta natura. Forse mi sbagliavo ma mi sembrarono anche leggermente colorati e, da chimico, giudicai fossero la causa del cattivo stato di una grande scultura in ferro che abbelliva la sottostante fontana. Effetto forse delle cosiddette "piogge acide"!

Raggiungemmo l'Università con le stesse macchine del viaggio e ritrovammo i

Colleghi della serata precedente accompagnati da una folta rappresentanza accademica ufficiale, Rettore compreso. Avevo letto in precedenza la storia gloriosa di quella Università che aveva origini lontane nei secoli e sapevo che nelle materie scientifiche aveva una tradizione invidiabile e in particolare nella Chimica aveva avuto scienziati illustri che avevano dato contributi di eccellenza. Hitchcock nel 1966 ne aveva fatto il centro di azione del suo film di spionaggio "Il sipario strappato" che peraltro ricordavo perfettamente. L'immaginazione fu superata dalla realtà, la maestosità dell'Aula Magna e l'austerità delle aule vivacizzate da studenti fin troppo disciplinati, la grandiosità della Biblioteca e l'ampiezza dei corridoi e dei locali della amministrazione mi sono rimasti impressi.

Visitammo anche i laboratori scientifici e in quelli di chimica, conservati con cura, sembrava di essere tornati molti anni indietro. Ricordo che il nostro principale corrispondente con il quale si era da subito stabilito un rapporto di simpatia istituzionale mi fece dono di una piccola serie di eliche in porcellana Jena per agitatori meccanici che ancora conservo con gelosia.

Terminata la visita ufficiale passammo il resto della giornata, interrotta per una veloce colazione, in una proficua discussione sulle potenzialità di uno sviluppo condiviso dell'invenzione brevettuale per passare dalla scala di laboratorio a quella industriale. I miei amici aziendali furono molto interessati e impegnati per stabilire le modalità e i termini di una futura collaborazione con la sigla su documenti riservati e la firma di particolari "secret agreements". Nessuno di noi era in grado di sostenere una discussione in tedesco e ripensandoci, forse l'aver costretto involontariamente i nostri ospiti ad usare la lingua inglese dopo una guerra contro gli anglo-americani anche se persa più di quaranta anni



prima e nel clima attuale del regime sovietico, richieste da parte loro un sofferto sforzo linguistico oltre che ideologico. Fortunatamente da allora i tempi sono evoluti e sono sicuro che gli studenti di quella Università non hanno oggi nessuna difficoltà a esprimersi in inglese con disinvoltura e senza retro-pensieri.

Erano sopraggiunte le prime ombre della sera e i nostri affabili ospiti si affrettarono a predisporre il nostro ritorno a Berlino purtroppo utilizzando le maleodoranti vetture dell'andata. L'accoglienza ricevuta e i valori condivisi mi diedero la sensazione che il viaggio di ritorno fosse più breve di quello dell'andata. Erano cambiati i colori e il chiaroscuro del cielo conferiva alla campagna tedesca un'aria di dolce serenità e di un diffuso romanticismo. Anche la Berlino Est in versione serale mi sembrò meno austera forse per una maggiore presenza di gente per le strade e per non aver incontrato presidi militari o della polizia sovietica. Ovviamente il viaggio a ritroso prevedeva di nuovo il passaggio dal *Checkpoint Charlie* che questa volta avvenne però senza patemi d'animo anche se fummo interrogati e ispezionati per vedere cosa portavamo fuori con noi.

Eravamo di nuovo nella Berlino libera e ci ritrovammo tutti di ottimo umore in un elegante ristorante tipico come persone che hanno scampato un pericolo, superando una difficile prova. L'indomani rientrammo a Roma consapevoli che il soggiorno a Lipsia pieno di richiami culturali aveva colpito la nostra immaginazione per la presenza di una condizione umana ben diversa da quella avvertita nella Berlino Est. In ogni caso raccontandolo a distanza di più di trent'anni ho ancora la sensazione di aver vissuto per un paio di giorni in una atmosfera surreale sinceramente sorpreso di averne conservato un ricordo tanto particolareggiato. ■

Uno sguardo alla letteratura internazionale

*Qualche idea
per le attività pratiche*

Journal of Chemical Education, dicembre 2021
J. Chem. Educ. 2022, 99, 2, 1053–1059

Challenges Encountered and Students' Reactions to Practices Utilized in a General Chemistry Laboratory Course During the COVID-19 Pandemic

Elmer-Rico, E. Mojica and Rita K. Upmacis

Published as part of the Journal of Chemical Education virtual special issue "Teaching Changes and Insights Gained in the Time after COVID-19".

ABSTRACT The unforeseen COVID-19 pandemic forced educational institutions to shift to a remote or distance-learning mode. As a result, classes were offered online, and this shift in teaching modality presented great challenges, especially in teaching laboratory courses. While several options are available, we evaluated the use of (i) videos of lab demonstrations, (ii) Microsoft PowerPoint slides with voice-over recordings that were prepared to guide students further in the particular procedure of the experiment, and (iii) kitchen-based experiments that students could perform at home for our General Chemistry I laboratory course that was offered in

an asynchronous modality during the Summer session. The students were surveyed for feedback, comments, and reactions to the use of these different practices. On the basis of student comments, it was found that the videos were beneficial to illustrate important aspects of each experiment, with some students commenting that it made them feel as if they were actually performing the experiments themselves. The kitchen-based experiments, on the other hand, allowed students to experience performing hands-on experiments and helped them observe and relate to concepts (such as classifying matter, making physical measurements, employing units and significant figures, preparing solutions, calculating moles and molarity, and employing separation techniques) that were discussed in the lecture portion of the course.

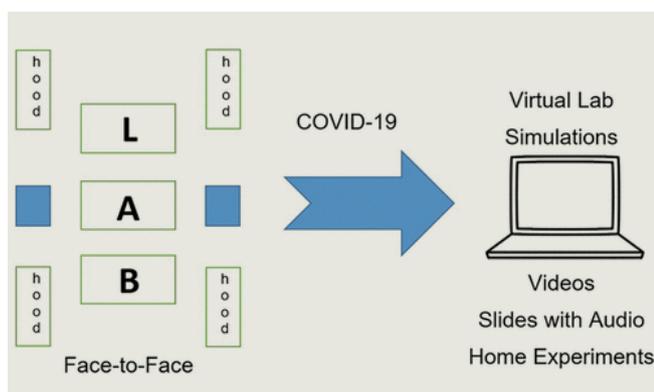
Link: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.1c00838>

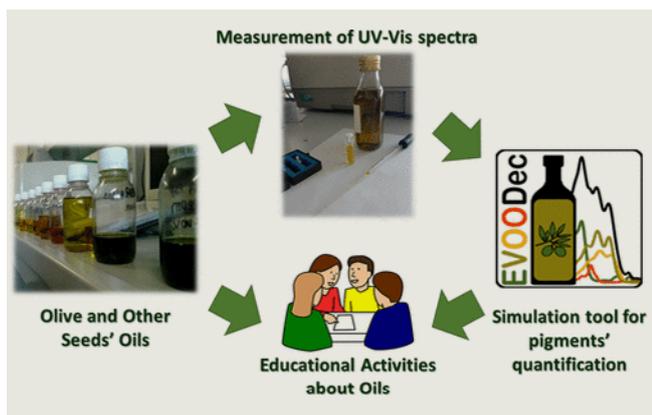
Journal of Chemical Education, gennaio 2022
J. Chem. Educ. 2022, 99, 2, 787–798

Digital Tool for the Analysis of UV-Vis Spectra of Olive Oils and Educational Activities with High School and Undergraduate Students

Sandro Jurinovich and Valentina Domenici

ABSTRACT UV-vis absorption spectroscopy is one of the most accessible spectroscopic techniques at the high school educational level, and it is usually introduced in analytical chemistry courses due to its high versatility and to the wide range of applications in many fields of chemistry. Within this framework, we have developed an easy-to-use "simulation tool" to identify and quantify the main pigments in a relatively complex food matrix, such as olive oil and seeds' oils. This digital software, freely available, can be used by high school students and first-year undergraduate students to analyze the UV-vis absorption spectrum of olive oils recorded in the bulk without any chemical treatment. In this paper, we





are reporting the basic principles of the spectroscopic method and the way to use the “simulation tool” with several examples and explanations that are useful for students and teachers. In the second part of the paper, several examples of activities about the chemistry of olive oil, realized with the fifth classes’ students of a high school technical institute (K–12 level) and undergraduate students of an introductory course in spectroscopy in the second year of the Chemistry Degree Course, are reported. These activities were performed partially face-to-face and partially in distance learning mode during the COVID-19 pandemic. The main learning outcomes, methodological issues, and students’ feedback resulting from these experiences are reported and commented on, showing the potential of the simulation tool for educational purposes.

Link: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.1c01015>
L’ultima versione del software usato nell’articolo è scaricabile al link: <https://github.com/sandroj87/EVOODec/releases/tag/1.2>

Laboratorio proprio per tutti

Journal of Chemical Education, dicembre 2013

Nobody Can See Atoms: Science Camps Highlighting Approaches for Making Chemistry Accessible to Blind and Visually Impaired Students

Henry B. Wedler, Lee Boyes, Rebecca L. Davis, Dan Flynn, Annaliese Franz, Christian S. Hamann, Jason G. Harrison, Michael W. Lodewyk, Kristin A. Milinkevich, Jared T. Shaw, Dean J. Tantill†, and Selina C. Wang

ABSTRACT Curricula for three chemistry camp experiences for blind and visually impaired (BVI) individuals that incorporated single- and multiday ac-

tivities and experiments accessible to BVI students are described. Feedback on the camps from students, mentors, and instructors indicates that these events allowed BVI students, who in many cases have been discouraged from doing science, to understand that



chemistry can be made accessible and that they can think about chemistry on a level comparable to their sighted peers.

Link: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed300600p>

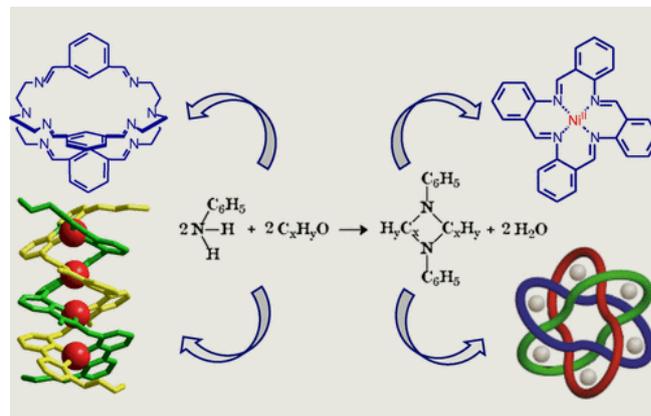
Per saperne di più

Journal of Organic Chemistry, agosto 2020
J. Org. Chem. 2020, 85, 19, 12212–12226

Beauty in Chemistry: Making Artistic Molecules with Schiff Bases

Luigi Fabbrizzi

ABSTRACT In 1864, Hugo Schiff, aged 30, discovered the reaction of aromatic aldehydes with primary amines to give imine derivatives. A C=N imine bond presents the unique properties of being strong, as



expected for a covalent double bond, and of being reversible due to a fast hydrolytic process. In view of such features, Schiff base condensations are thermodynamically controlled, which, in the case of reactions involving multifunctional aldehydes and primary amines, allow the formation of complex and sophisticated structures through a trial-and-error mechanism. Back hydrolysis can be prevented by hydrogenating C=N bonds under mild conditions. In such a way, stable rings and cages of varying sizes can be synthesized. Moreover, transition and post-transition metal ions, establishing coordinative interactions with imine nitrogen atoms, can address Schiff base condensations of even more complex molecular systems, whose structure is controlled by the geometrical preferences of the metal. Metal template Schiff base condensations have produced multinuclear metal complexes exhibiting the shape of tetrahedral containers, of double helices, and, supreme wonder, of the Borromean rings. These molecular objects cannot be compared to the masterpieces of painting and sculpture of the macroscopic world, but they instill in the viewer aesthetical pleasure and admiration for their creators.

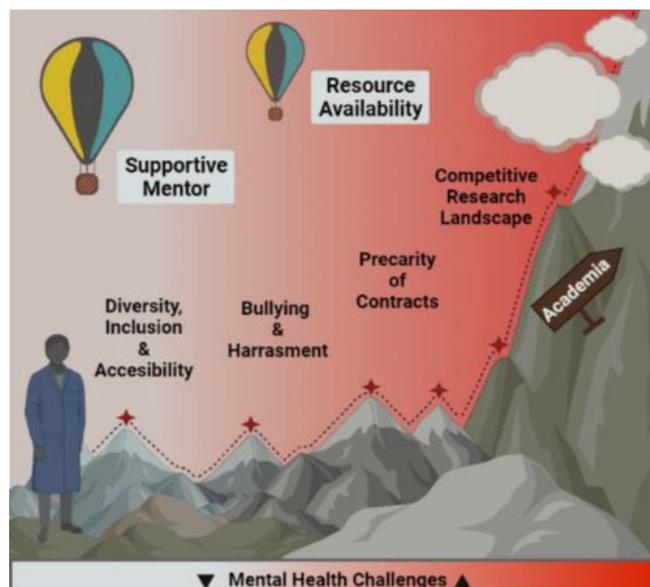
Link: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.joc.0c01420>

Chemistry – A European Journal, gennaio 2022

The Impact of Research Culture on Mental Health & Diversity in STEM

Juanita C. Limas, Linda C. Corcoran, Alexander N. Baker, Ana E. Cartaya, Dr. Zoë J. Ayres

ABSTRACT The onset of COVID-19, coupled with the finer lens placed on systemic racial disparities



within our society, has resulted in increased discussions around mental health. Despite this, mental health struggles in research are still often viewed as individual weaknesses and not the result of a larger dysfunctional research culture. Mental health interventions in the science, technology, engineering, and mathematics (STEM) academic community often focus on what individuals can do to improve their mental health instead of focusing on improving the research environment. In this paper, we present four aspects of research that may heavily impact mental health based on our experiences as research scientists: bullying and harassment; precarity of contracts; diversity, inclusion, and accessibility; and the competitive research landscape. Based on these aspects, we propose systemic changes that institutions must adopt to ensure their research culture is supportive and allows everyone to thrive.

Link: <https://doi.org/10.1002/chem.202102957>

Silvano Fuso

✉ silvanofuso@tin.it

Storie della Scienza

Una lodevole iniziativa di Rai Scuola

Se si eccettua l'ampio spazio concesso alle questioni medico-sanitarie legate alla pandemia da SARS-Cov-2 e il nostro benemerito "divulgatore nazionale" Piero Angela, non capita molto spesso di sentir parlare di scienza sulle nostre televisioni e ancora meno di storia della scienza. Per questo motivo appare particolarmente lodevole il programma *Storie della scienza* prodotto recentemente da Rai Scuola.



Il programma, che prevede ben 20 puntate monografiche, si propone di illustrare la storia e l'evoluzione del pensiero scientifico, attraverso le scoperte, le intuizioni, gli esperimenti, le invenzioni che hanno faticosamente svelato le regole del mondo, consentendoci di ampliare le nostre conoscenze su di esso e su noi stessi.

L'opera è frutto di un efficiente lavoro di squadra che vede coinvolti il filosofo delle scienze biologiche Telmo Pievani, la giornalista scientifica Silvia Bencivelli, gli autori di Rai Scuola Diego Garbati (che ne ha curato anche il progetto), Mario Ferrari (che ne è pure regista), Francesco Linguiti, Daniela Mazzoli, Edwige Pezzulli. Il tutto a cura di Serena Patrignanelli, Eleonora Ottaviani, Caterina Mazzuoli. Il programma è dedicato alla memoria dell'amico scrittore e giornalista scientifico Pietro Greco che ha contribuito alla sua ideazione.

Telmo Pievani svolge anche egregiamente l'inedito ruolo di conduttore e Silvia Bencivelli, in ogni

puntata, tratteggia la figura dei personaggi che, con il loro pensiero e le loro intuizioni, hanno permesso dei veri e propri salti nella conoscenza scientifica o hanno comunque fornito a essa importanti contributi.

La trasmissione approfondisce come e perché la scienza sia diventata così centrale nel mondo di oggi e racconta al pubblico quali siano stati i momenti di svolta più significativi nella storia delle principali scoperte e innovazioni scientifiche e tecnologiche. Particolarmente importante è poi l'attenzione rivolta alle ricadute che l'evoluzione del pensiero scientifico ha avuto nel mutamento della società.

In ogni puntata viene sviluppato un tema specifico e, con il contributo di interviste a esponenti del panorama scientifico e divulgativo italiano, si parla delle donne e degli uomini che, con il loro impegno, hanno determinato vere e proprie svolte nella nostra conoscenza sul mondo.

Grande cura è rivolta alla scelta del materiale iconografico che scorre sullo schermo e che completa piacevolmente i rigorosi contenuti dei testi. Materiale quasi sempre attinto da musei scientifici e/o biblioteche di varie istituzioni scientifiche, correttamente citate sia nel corso di ogni puntata, sia nei titoli di coda.

Le prime otto puntate sono state messe in onda, il martedì e il giovedì, tra il 16 novembre e il 16 dicembre 2021. Le altre dodici andranno in onda tra il 1° febbraio e il 3 marzo 2022. Dal 13 gennaio al 25 maggio 2022 le puntate verranno replicate anche su Rai3 il giovedì in terza serata.

Nelle prime otto puntate già mandate in onda sono stati affrontati i seguenti argomenti: 1) Biodiversità, 2) Corpo, 3) Errore, 4) Geni, 5) Cervello, 6) Universo, 7) Tempo, 8) Elementi. Le otto puntate (e le altre che via via verranno messe in onda) sono liberamente visibili su Raiplay a questo indirizzo: <https://www.raiplay.it/programmi/storiedellascienza>.

L'ottava puntata dedicata agli elementi ha visto ovviamente protagonista la Chimica e la sua storia. Ho avuto personalmente il piacere e l'onore di essere intervistato durante la puntata e di collaborare con



gli autori alla sua realizzazione. Insieme a me sono intervenuti Valentina Domenici, professore di Chimica Fisica presso l'Università di Pisa, e Giorgio Moro, professore di Chimica Teorica presso l'Università di Padova.

Nella puntata si è cercato di illustrare l'evoluzione storica del concetto di elemento. Dall'antica idea di *archè* dei filosofi greci e dalla dottrina delle quattro *rizòmata* (radici) di Empedocle, passando per le credenze alchemiche, si arriva alla concezione di elemento introdotta da Lavoisier nel suo *Traité élémentaire de chimie* del 1789. Dalla teoria atomica di Dalton, si passa poi a illustrare l'opera di Avogadro, Cannizzaro, Mendeleev, fino alla moderna descrizione quantistica dell'atomo e all'introduzione, da parte

della IUPAC, degli ultimi quattro elementi nella tavola periodica, avvenuta nel 2016. Un affascinante viaggio alla scoperta della materia (e di noi stessi) che ha accompagnato l'intera storia dell'umanità.

Le venti puntate di *Storie della Scienza* rappresentano un prezioso strumento divulgativo in cui la scienza è finalmente mostrata e descritta dal punto di vista della sua evoluzione storica. Aspetto troppo spesso trascurato sia nella divulgazione che nella didattica. L'assenza della dimensione storica può infatti facilmente portare a percepire la scienza come qualcosa di dogmatico e imposto dall'alto. Può inoltre favorire la percezione della scienza come un insieme di incrollabili verità cui rivolgersi per trovare risposte alle nostre domande. Che questa concezione sia, ahimè, piuttosto diffusa è emerso abbastanza chiaramente anche in occasione della recente pandemia. Mostrare invece come i concetti scientifici si siano evoluti nel corso del tempo, in un incessante processo di errori e successivi aggiustamenti, restituisce alla scienza la sua corretta natura di metodo per indagare il mondo. Ogni puntata può sicuramente essere efficacemente utilizzata per scopi didattici consentendo, tra l'altro, al docente innumerevoli e stimolanti agganci interdisciplinari. ■

Veronica Cremonesi

Education Federchimica

✉ v.cremonesi@federchimica.it

Premio Nazionale Federchimica Giovani per orientare alle STEM all'interno dei percorsi di Educazione Civica

Il Premio 'Chimica, la scienza che salva il mondo' è un'iniziativa promossa da oltre 20 anni da Federchimica, Federazione nazionale dell'industria chimica, in collaborazione con la Direzione Generale per lo Studente, l'Inclusione e l'Orientamento Scolastico del Ministero dell'Istruzione.

È destinato alle Scuole Secondarie di Primo Grado*, con l'obiettivo di aiutare i docenti ad orientare e stimolare i ragazzi verso i percorsi formativi STEM e

mostrare quanto la qualità della nostra vita sia connessa alle conquiste della scienza e ai prodotti dell'industria chimica.

Il tema della nuova edizione per l'anno scolastico 2021/2022 è legato al ruolo della Chimica all'interno dei 17 obiettivi dell'Agenda 2030 dell'ONU. Molti di questi obiettivi, infatti, possono essere raggiunti solo con un rilevante contributo delle nuove idee e delle nuove tecnologie che la scienza e l'industria

chimica potranno rendere disponibili. Il tema della sostenibilità si inserisce, inoltre, nei precorsi di Educazione Civica, obbligatori in ogni ciclo scolastico. Prima come scienza e poi come industria, la Chimica diventa essenziale ogni volta che usiamo o trasformiamo la materia, in qualsiasi ambito o settore produttivo. È, quindi, fondamentale coinvolgere gli studenti già nei primi anni scolastici, per affrontare la tematica della sostenibilità con esempi concreti, scevri da pregiudizi e luoghi comuni. La Chimica è, infatti, un'interfaccia chiave in ogni nostro rapporto con il mondo materiale, quindi con l'ambiente. Sta a noi, naturalmente, utilizzarla bene e avere fiducia nell'impegno delle imprese e nelle Istituzioni che, con norme sempre più esigenti e controlli sempre più accurati, garantiscono la sicurezza e la salute dei lavoratori, dei consumatori e dell'ambiente in cui viviamo.

Negli anni la partecipazione delle scuole è cresciuta sia qualitativamente, sia quantitativamente e si è confermata nonostante la pandemia e la didattica a distanza. Lo scorso anno scolastico sono stati assegnati 38 premi e 13 menzioni di merito su oltre 300 lavori provenienti da tutta Italia che hanno coinvolto oltre 4.600 studenti. L'entusiasmo e la grande motivazione dei partecipanti è segno di come questo appuntamento sia diventato un'occasione di confronto e di crescita sia per gli studenti, sia per gli stessi docenti.

La partecipazione al Premio è anche finalizzata a rafforzare il rapporto tra scuola, industria e territorio, per questo motivo il coinvolgimento di esperti e imprese per approfondire le tematiche trattate è particolarmente importante e premiante ai fini della qualità dei progetti.

Il Premio è rivolto a studenti di Scuole Secondarie di Primo grado che possono partecipare con un elaborato creativo: un racconto, un reportage giornalistico, una presentazione, un fumetto o un video.

Si può partecipare parlando di Chimica in termini generali, oppure dedicarsi ad una delle 14 sezioni speciali del Concorso.

Per un video tutorial vai al seguente link: <https://youtu.be/EAM7X2-9mGg?t=2>, mentre per info e regolamento visita i siti www.federchimica.it e www.chimicaunabuonascelta.it

*Per le sezioni “Chimica di Base” e “Plastica” (con differenti caratteristiche e modalità di partecipazione) il Concorso è aperto anche alle Scuole Primarie e **questa edizione si realizza con il supporto della Società Chimica Italiana.**

Elena Lenci

Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff" dell'Università di Firenze

Marta Da Pian

Customer Consultant, Life Sciences presso Elsevier

Luca Rivoira

Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino

✉ elena.lenci@unifi.it

Clima di cambiamenti: noi & la Chimica, per un futuro più sostenibile

Un'iniziativa di SCI giovani per le scuole

Il 2021, appena concluso, è stato l'anno dell'ambizione climatica. Il neonato Ministero della Transizione Ecologica, in collaborazione con l'associazione "Connect4climate" della World Bank, ha lanciato il programma "All4Climate" al quale numerose associazioni e comunità locali hanno aderito organizzando più di 380 diversi eventi e iniziative in vista della tanto attesa conferenza COP26.

In questo ambito, il Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana ha organizzato il Premio "COP26operiamo Insieme", rivolto agli studenti del triennio delle scuole secondarie di secondo grado (dal terzo anno delle scuole superiori) ed agli iscritti ad un corso di Laurea triennale dell'Università (Laurea breve). Il bando prevedeva di raccogliere dei video della durata massima di cinque minuti che avessero come oggetto le strategie e le azioni di tutti i giorni che adottiamo (o vorremmo adottare) per contrastare i cambiamenti climatici.

I video raccolti sono stati selezionati e valutati da una giuria composta da professionisti nel campo delle scienze chimiche, comunicazione della scienza e YouTuber con competenze di Chimica, secondo i seguenti criteri: i) creatività, ii) chiarezza espositiva, iii) qualità, iv) rilevanza scientifica.

Sono stati così identificati quattro finalisti i cui video sono stati proiettati durante il workshop "Clima di cambiamenti: noi & la Chimica, per un futuro più sostenibile", che si è tenuto lo scorso 21 Maggio, e che è nato dalla collaborazione di ricercatori ed esperti chimici che quotidianamente lavorano in campo ambientale. Questo workshop, dedicato in particolare agli studenti degli istituti superiori secondari con qualsiasi background, ha affrontato in maniera divulgativa e interattiva temi emergenti legati ai cambiamenti climatici e a come

la Chimica si prefigge di affrontarli e risolverli; i partecipanti sono stati coinvolti attivamente tramite seminari interattivi, tenuti da esperti del settore, per responsabilizzare ciascuno rispetto ad azioni quotidiane che contribuiscono attivamente alla difesa del nostro pianeta. Si è anche cercato di dimostrare come la Chimica possa guidare una transizione sostenibile (energie rinnovabili, mobilità sostenibile, abbattimento dell'inquinamento, materiali eco-sostenibili, etc). I relatori dell'evento sono stati: (1) Daniele Cespi (NIER Ingegneria spa) con una relazione dal titolo "Carbon footprint nel quotidiano: cos'è, come si misura e come si riduce"; (2) Maria Grazia Perrone (TCR Tecora srl) & Luca Boniardi (Università di Milano) con una relazione dal titolo "Crisi climatica e inquinamento atmosferico: ricerca, conoscenza e consapevolezza pubblica per migliorare la qualità dell'aria"; (3) Federico Pulselli (Università di Siena) "Ricerca, comunicazione, coinvolgimento: tre passi (reali) di un percorso comune per la lotta ai cambiamenti climatici". Durante il workshop si sono anche tenute delle esercitazioni "pratiche" a distanza che hanno permesso di valutare il proprio impatto ambientale e quali scelte possono essere facilmente percorribili per ridurlo (ad es., il calcolo del carbon footprint di alcune specifiche azioni).

Al workshop hanno partecipato più di mille studenti distribuiti su una ventina di istituti diversi sparsi per tutta Italia. Questi studenti hanno formato la giuria popolare del premio contest, che ha votato i migliori video che sono stati proiettati nell'arco della mattinata, decretando la seguente classifica finale:

- il primo premio, consistente nell'abbonamento per un anno al mensile National Geographic Ma-

gazine e nell'adozione a distanza di un albero di Neem in Kenya (che contribuisce all'abbattimento di 700 kg di CO₂ annui) è andato a *Nicolò Santangelo* dell'Istituto Luigi Einaudi di Siracusa;

- il secondo premio, consistente nell'abbonamento per sei mesi al mensile National Geographic Magazine e nell'adozione a distanza di un albero del mango in Kenya (che contribuisce all'abbattimento di 300 kg di CO₂ annui), è andato a *Maria Spinosa* dell'Università degli Studi di Napoli Federico II;
- il terzo premio, consistente nell'adozione a distanza di un albero di caffè in Kenya (che contribuisce all'abbattimento di 55 kg di CO₂ annui), è andato ad *Alessio Massaro* dell'IISS Del Prete Falcone di Sava di Taranto.

Al quarto video finalista, girato da *Antonia Guarniello* del Liceo Linguistico Publio Virgilio Marone di Avellino, la giuria popolare ha assegnato una menzione speciale.

Questa iniziativa si inserisce in un più ampio ventaglio di eventi e progetti che il Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana organizza e promuove per incentivare la diffusione dell'interesse nelle scienze chimiche alla comunità e soprattutto alle scuole.

Il direttivo per il triennio 2022-2024 è stato appena rinnovato e sono stati eletti 14 nuovi consiglieri, uno per ogni divisione.

Per maggiori informazioni sulle attività del Gruppo Giovani visitare il sito: http://www.soc.chim.it/it/soci_giovani/home



LIMA DI CAMBIAMENTI

Noi & la Chimica per un futuro più sostenibile

Screenshot dell'evento "Clima di Cambiamenti": nella foto sono mostrati i rappresentanti del Comitato Organizzatore (Elena Lenci, Marta Da Pian, Giorgio Grillo, Luca Rivoira e Raffaele Cucciniello) e i relatori (Daniele Cespi, Federico Pulselli, Maria Grazia Perrone e Luca Boniardi)

€ 12,00

