

C_nS

La Chimica nella Scuola

n. 1 anno 2023

- › **La transizione energetica e le sue molte sfaccettature**
- › **La Scuola Ulderico Segre come esempio di meta-riflessione per la didattica universitaria**
- › **Laboratori didattici per la scuola superiore e per l'infanzia**
- › **Musei scientifici di recente apertura per la didattica e la sostenibilità**
- › **M'illumino d'immenso: ce lo spiega uno studente**
- › **L'arte della guerra nel Rinascimento**
- › **Alessandro Volta e l'elettrochimica come volano per lo sviluppo sostenibile**
- › **Una rete per promuovere le discipline STEM**



DIRETTORE ONORARIO

Gianluca Farinola

COMITATO EDITORIALE

Direttore: Margherita Venturi

Vice-direttori: Eleonora Aquilini, Giovanni Villani

COMITATO DI REDAZIONE

Eleonora Aquilini, Luigi Campanella, Giorgio Cevasco,
Marco Ciardi, Valentina Domenici, Maria Funicello,
Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Elena Lenci, Anna Maria
Madaio, Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni,
Francesca Turco, Mariano Venanzi, 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

Un numero ricco di ...

Margherita Venturi

Cara/o lettrice/lettore,

potrei cominciare il mio editoriale ancora una volta con considerazioni personali sconcertanti, la guerra Russia-Ucraina che continua con toni sempre più accesi, il terribile terremoto in Turchia e in Siria, il fatto che il nostro governo per quanto riguarda il problema energetico stia facendo solo del greenwashing, ma mi astengo perché rischio di diventare noiosa e ripetitiva.

Mi concentrerò, allora, su quanto troverai in questo primo numero del 2023 della nostra rivista. È un numero in gran parte dedicato alla necessità di attuare una reale transizione energetica, con tutto ciò che questo implica, e in cui ricorre più volte la parola sostenibilità, portata alla ribalta dall'Agenda 2030. In realtà, questo termine ha una storia che va ben più indietro nel tempo; infatti, cinquant'anni fa, dopo la pubblicazione del famoso libro *"The limits to growth"*, opera collettiva voluta dal Club di Roma, e la prima conferenza sull'ambiente tenuta a Stoccolma, oltre duemila scienziati firmarono una lettera, nota come il Messaggio di Mentone (<https://science4stockholm50.world>). Ebbene, in questo messaggio si parla per la prima volta di sostenibilità e si paventano i rischi dovuti all'uso massiccio dei combustibili fossili e allo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali: è a tutti gli effetti un'agenda 2030 ante litteram che, però, è entrata nel dimenticatoio.



La cosa, comunque, non ci deve stupire perché è una delle tante dimostrazioni di quanto la società sia sorda alla voce della Scienza. Devo aggiungere che, purtroppo, non si tratta solo del cittadino comune, nei confronti del quale posso trovare qualche benevola scusante, ma anche di alcuni ricercatori "fuori dalle righe" (non voglio chiamarli scienziati) che, ancora oggi, si ostinano a negare quanto è sotto gli occhi di tutti e, cioè, che il cambiamento climatico ha avuto un'accelerazione spaventosa e che i suoi effetti sono pesantissimi. Dove sono finite quelle giornate invernali di "sana nebbia", quelle brinate che, quando la mattina ti svegliavi, ti facevano trovare un mondo incantato, cristallizzato e decorato da diamanti di ghiaccio? Quando mai a metà febbraio la "colonnina di mercurio" ha raggiunto i 18 °C (misurati da me e sui quali posso mettere la mano sul fuoco)?



L'IPCC, la voce della Scienza, con i suoi report annuali, oltre a sottolineare la drammaticità della situazione, dice chiaramente come dobbiamo muoverci e quali strade imboccare. La politica, però, fa orecchie da mercante, tanto è vero che *Nature*, una prestigiosa rivista scientifica, ha pubblicato il primo giugno dello

scorso anno un editoriale dall'esplicito titolo "Perché i leader politici mondiali stanno ignorando la sostenibilità?" (<https://www.nature.com/articles/d41586-022-01508-2>).

Il governo italiano non è da meno, sembra proprio non capire che uno dei punti chiave per attuare la sostenibilità è la transizione dai combustibili fossili alle fonti energetiche rinnovabili. Lo dimostra il fatto che, invece di potenziare il fotovoltaico e l'eolico, con il "Piano Mattei", che sarebbe invece più corretto denominare "Piano Descalzi", intende fare dell'Italia l'hub energetico del Mediterraneo, prendendo gas metano dall'Algeria per trasportarlo verso tutta l'Europa; ma il piano non si ferma qui perché avremo anche rigassificatori a go-go, tra cui uno a Gioia Tauro e uno a Porto Empedocle. In definitiva, mascherata da un'azione di greenwashing (come ENI insegna), useremo ancora fossili fino al 2048! Tanto a noi la CO₂ ci fa un baffo, perché costruiremo impianti per la cattura e lo stoccaggio di questo gas, i così detti impianti CCS, una tecnologia che si è dimostrata fallimentare in tutto il mondo. Mi viene da piangere e allora preferisco pensare alla nostra rivista.

Come dicevo, in questo numero troverai materiale dedicato alla transizione energetica e alle sue tante sfaccettature, non solo in due contributi di carattere generale, ma anche in uno in chiave più didattica. Inoltre, nella rubrica "Laboratori", c'è una proposta per coinvolgere gli studenti nel monitoraggio dell'inquinamento ambientale, problema strettamente connesso al tema energetico, utilizzando i licheni.

Non abbiamo neanche dimenticato i più piccoli, i piccolissimi direi, perché potrai leggere di un laboratorio sui materiali omogenei ed eterogenei proposto alla scuola dell'infanzia.

In questo numero si parla anche di musei scientifici di recente apertura, che hanno un occhio di riguardo per la sostenibilità, di una bella manifestazione che si è tenuta a Como su Alessandro Volta e l'elettrochimica, ancora una volta improntata alla sostenibilità, e di una Rete nata per promuovere la diffusione delle discipline STEM, la parità di genere e un'educazione equa e inclusiva, sempre con attenzione per la sostenibilità (a questo proposito, ricordo che c'è una proposta di legge per dedicare una settimana alle discipline STEM, proposta appoggiata caldamente dalla Federazione Nazionale degli Ordini dei Chimici e dei Fisici).

Ritorna anche la rubrica "Dare voce agli studenti" con un contributo dal titolo stuzzicante "M'illumino d'immenso", sul quale non svelo di più, e nella rubrica "Metodologie didattiche per l'Università" si parla della Scuola Ulderico Segre, organizzata dalla Divisione di Didattica della SCI, come esempio di meta-riflessione al servizio dell'insegnamento universitario.

Infine, nella rubrica "Pagine di storia" si parla dell'arte della guerra al tempo del Rinascimento; ho voluto concludere citando questo contributo perché sottolinea che, purtroppo, l'idea della guerra è innata nell'uomo. Ce lo insegna la storia di ieri, ma anche e, soprattutto, quella di oggi: l'attuale conflitto Russia-Ucraina dimostra, infatti, che non si cercano accordi per arrivare alla pace e per risparmiare vite, ma per ricevere armi sempre più potenti e per uccidere sempre più ferocemente.

Buona lettura e a presto

Margherita

Il problema energetico: fondamentale, ma non è l'unico

Vincenzo Balzani e Margherita Venturi

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

e-mail: vincenzo.balzani@unibo.it; margherita.venturi@unibo.it

Abstract. We are facing a complex crisis which is both environmental and social. Sadly, not many seem to be aware of the challenge we face. The first thing to do is to inform and educate people to build a solid cultural foundation and to implement a courageous cultural revolution. We need to change our current lifestyle to reduce waste and pollution and, most important, to stop climate change. We also need to reduce the growing inequalities between nations and within each nation. To achieve these objectives, we must create a new economic model based on ethical foundations, aimed at promoting ecological as well as social sustainability. Strategies for a solution demand an integrated approach to protecting nature and combating poverty by the implementation of three transitions: from fossil fuels to renewable energies, from a linear to a circular economy, and from consumerism to sobriety. We must protect our planet because it must also serve the next generations. There is so much to be done to improve this world. Many decisions must be made at a political level, but each of us is required to play our part.

Keywords: Antropocene; fonti energetiche; transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili; economia lineare ed economia circolare; sostenibilità

1. Siamo entrati in una nuova epoca: l'Antropocene

Una famosa fotografia della NASA, scattata dalla sonda Cassini-Huygens il 15 settembre 2006 a una distanza di 1,5 miliardi di chilometri, mostra la Terra come un punto blu-pallido nel buio cosmico (Figura 1).



Figura 1. Come mostra la fotografia scattata il 15 settembre 2006 dalla sonda spaziale Cassini, la Terra è un puntino nell'immensità dell'Universo

Non c'è evidenza che la Terra si trovi in una posizione privilegiata nell'Universo; non ci sono segni che facciano pensare a una nostra particolare importanza, nulla che ci induca a credere di poter ricevere aiuto da altri, nessuna indicazione di luoghi in cui eventualmente poter emigrare. Quando si guarda la Terra da così lontano ci si rende conto che il nostro pianeta, oltre a essere un sistema isolato, ha anche dimensioni *finite* [1, 2] e, pertanto, le risorse che ci mette a disposizione sono limitate così come è limitato lo spazio in cui collocare i rifiuti. Si tratta di una realtà innegabile sotto gli occhi di tutti, eppure, spesso, ci fa comodo ignorarla; alcuni economisti, poi, sembrano addirittura non conoscerla.

Dalla metà del secolo scorso, con la crescente disponibilità di energia fornita dai combustibili fossili e il contemporaneo sviluppo della scienza e della tecnologia, l'attività dell'uomo è aumentata in modo enorme: sono state costruite innumerevoli città, strade, ferrovie, aeroporti, mezzi di trasporto e di comunicazione, industrie capaci di produrre dispositivi e macchine di ogni genere (compresi armamenti sempre più sofisticati), si è meccanizzata l'agricoltura aumentando la produzione di cibo, è migliorato il tenore di vita in molti paesi. Partendo da queste considerazioni, nel 2002, in un articolo su Nature [3], Paul Crutzen, premio Nobel per la Chimica nel 1995, suggerì di chiamare Antropocene l'epoca attuale, perché è fortemente caratterizzata dalle attività dell'uomo. La grande accelerazione dell'attività umana ha avuto importanti conseguenze sullo stato del pianeta: il consumo, al limite di un loro esaurimento, di alcune risorse naturali (in prospettiva, anche dei combustibili fossili), la produzione di molti tipi e di grandi quantità di nuovi materiali (ad es., materie plastiche), la diffusione su scala globale di sostanze inquinanti (ad es., polveri sottili e sostanze radioattive), i cambiamenti climatici causati dalle emissioni di gas serra, la diminuzione della biodiversità con l'alterazione dei rapporti fra le specie. L'uomo ha anche esteso la sua azione fuori dal pianeta lanciando innumerevoli satelliti artificiali, collocando in orbita attorno alla Terra stazioni spaziali abitate, mettendo piede sulla Luna e inviando sonde per esplorare altri pianeti e lontani corpi celesti. Con energia, scienza e tecnologia l'uomo è diventato progressivamente più forte della Natura e, immaginando che il nostro pianeta sia una specie di astronave che viaggia senza fine nell'universo, possiamo dire che negli ultimi decenni l'uomo è entrato nella cabina di comando: non può modificare la rotta dell'astronave, ma ha cambiato e può ulteriormente cambiare le regole e il meccanismo del suo funzionamento. Se vuole, può addirittura distruggerla. Alcuni cambiamenti causati dall'attività umana dureranno per millenni, altri potrebbero essere addirittura irreversibili.

Nel 1980, le materie prime estratte dalla Terra ammontavano a 40 miliardi di tonnellate; nel 2021 sono salite a circa 100 miliardi di tonnellate, pari a 40 kg per persona al giorno. C'è poi da aggiungere che, a mano a mano che i depositi più ricchi si vanno esaurendo, si ricercano risorse più difficili da estrarre (ad es., il petrolio da sabbie bituminose) con un forte impatto ambientale [4, 5].

Le dimensioni finite del pianeta hanno conseguenze anche per quanto riguarda la collocazione dei rifiuti, che si producono ogni volta che si usano risorse; non possiamo sbarazzarcene collocandoli in un inesistente *non luogo* e, allora, li nascondiamo sottoterra, li accumuliamo nell'atmosfera o, ancora, li abbandoniamo nel mare; in ogni caso, le conseguenze sono poco piacevoli, lo dimostra l'enorme *isola* (grande come l'Europa) che si è formata nell'Oceano Pacifico dall'accumulo di rifiuti plastici. La quantità di CO₂ riversata in atmosfera supera i 30 miliardi di tonnellate all'anno e, come sappiamo, è responsabile di un aumento dell'effetto serra e dei conseguenti cambiamenti climatici. Il particolato fine generato dai motori a combustione ha causato nel 2020 più di 200.000 morti premature in Europa, 40.000 delle quali in Italia. Ci sono

poi le scorie delle centrali nucleari, pericolose per decine di migliaia di anni, che nessuno sa dove collocare.

Dovremmo renderci conto che l'attività dell'uomo sul pianeta deve confrontarsi, da un lato, con limiti materiali e, dall'altro, con la necessità di non superare determinati confini, oltre i quali la biosfera non sarebbe più in grado di sostenere la vita. Aver chiamato la nostra epoca con il nome Antropocene è utile per diffondere più facilmente il messaggio della responsabilità che grava sulle nostre spalle. La nostra, infatti, è la prima generazione che si rende conto della nuova situazione e dei pericoli che essa comporta ed è, quindi, anche la prima generazione ad avere la responsabilità di prendere i provvedimenti necessari affinché l'astronave Terra possa fornire una decorosa ospitalità ai suoi sempre più numerosi passeggeri e alle future generazioni.

Dal punto di vista sociale l'Antropocene è caratterizzato da forti disuguaglianze. Lo sviluppo economico ha migliorato il livello di vita dei cittadini di molti paesi, dove però un gran numero di persone vive ancora ben sotto il livello di povertà, mentre in altri paesi è in corso una crescita economica tumultuosa che lascia indietro gran parte della popolazione; in altri ancora, lo sviluppo economico non è ancora iniziato. L'attuale modello di sviluppo, che si può riassumere con la parola *consumismo*, non solo trasforma le risorse in rifiuti con grande velocità, ma ha anche la drammatica conseguenza di aumentare le disuguaglianze: crea ricchi che non sanno come utilizzare il superfluo e poveri che non hanno il necessario per vivere.

All'insostenibilità ecologica si affianca, quindi, l'insostenibilità sociale. Sia dove è già avvenuto, sia dove attualmente si manifesta, lo sviluppo economico ha generato e continua a generare una molteplicità di problemi che minacciano di lasciare alle prossime generazioni un pianeta fortemente impoverito, molto inquinato e soggetto a cambiamenti climatici, e una società affetta da crescenti disuguaglianze. Parecchi scienziati oggi sottolineano che il tumultuoso agire dell'uomo, accompagnato dal rapido progresso della scienza in direzioni sbagliate, ha reso il mondo molto fragile. Con riferimento all'attuale crisi energetico-climatica, qualche scienziato afferma che il mondo è sull'orlo del baratro.

2. L'energia e le fonti energetiche

L'energia è un'entità onnipresente nella nostra vita, ma è un concetto solo in apparenza intuitivo, cosa che vale per altri concetti importanti come quelli di tempo e di spazio. Il concetto di energia è così complesso e, allo stesso tempo, così sfuggente che per millenni gli studiosi ne hanno dato definizioni molto vaghe. Richard Feynman, uno dei fisici moderni più grandi, ha addirittura scritto [6]: *It is important to realize that in physics today, we have no knowledge what energy is.*

L'energia è tutto quello che permette di fare qualcosa o di generare un cambiamento: senza energia non si può fare nulla. L'energia si manifesta in forme diverse inter-convertibili e, nel trasformarsi, la sua quantità si conserva, mentre la sua qualità degrada. L'energia è il vero potere che governa il mondo ed è causa di guerre che, allo stesso tempo, alimenta. L'energia è un qualcosa di natura universale che non si può *ridurre* a nulla di più elementare.

Il termine energia è stato coniato dalla lingua greca unendo la preposizione «en» (in) al sostantivo «érgon» (lavoro, opera, azione). Si può, quindi, definire il concetto di energia partendo da quello di lavoro, che è semplice e intuitivo: è un lavoro, ad esempio, sollevare un oggetto pesante dal pavimento e metterlo su uno scaffale. Per fare un lavoro, pertanto, ci vuole energia, che nell'esempio sopra riportato può essere fornita da una persona, ma anche da un sollevatore mec-

canico. L'energia può allora essere definita come la capacità di un corpo o di un sistema a compiere un lavoro e la misura di questo lavoro è la misura dell'energia che esso richiede.

Le più importanti forme di energia (energie di uso finale) sono l'energia termica, l'energia elettrica e l'energia meccanica che l'uomo ottiene sfruttando le fonti energetiche a disposizione.

Nel linguaggio corrente si chiamano *energie non rinnovabili* quelle forme di energia che si esauriscono a mano a mano che vengono usate come, ad esempio, i combustibili fossili. Si utilizza, invece, il termine *energie rinnovabili* per quelle forme di energia le cui fonti non si esauriscono in seguito all'uso: l'esempio tipico è l'energia solare.

2.1 I combustibili fossili

I combustibili fossili (carbone, petrolio e gas) quando vengono utilizzati (bruciati) forniscono energia termica (calore) che si può usare come tale o convertire, con bassa efficienza, in altre forme di energia, per esempio energia meccanica o elettrica.

Fino alla metà del secolo scorso si pensava che i combustibili fossili fossero la soluzione ideale per soddisfare i bisogni energetici dell'umanità e, ancora oggi, circa l'80% dell'energia è ottenuta dai combustibili fossili: ogni *secondo*, al mondo si consumano circa 250 tonnellate di carbone, 160.000 litri di petrolio e 100.000 metri cubi di gas, riversando nell'atmosfera, sempre ogni secondo, circa 1.000 tonnellate di CO₂.

I fattori che hanno spinto al massiccio uso dei combustibili fossili si devono principalmente alla loro iniziale abbondanza (seppure geograficamente distribuita in modo non uniforme), alla possibilità di trasportarli e conservarli fino al momento dell'uso e alla loro elevata densità energetica [1, 2]. I combustibili fossili, però, sono una fonte di energia non rinnovabile, fatalmente destinata a esaurirsi, cosa che si sta chiaramente evidenziando in questi ultimi anni. Inoltre, da alcune decine di anni, ci si è accorti che l'uso dei combustibili fossili causa problemi molto gravi su scala globale.

Anzitutto, bruciando producono sostanze inquinanti, dannose per la salute dell'uomo. Petrolio, gas naturale e carbone sono sempre mescolati a quantità più o meno rilevanti di altre sostanze (composti solforati, metalli, composti aromatici) che soltanto in parte vengono separate dal combustibile prima del suo uso. Sostanze inquinanti (in particolare, ossidi di azoto NO_x) si formano anche quando i combustibili fossili bruciano ad alta temperatura usando l'aria come comburente.

Inoltre, cosa ancor più preoccupante, la grande quantità di CO₂ immessa nell'atmosfera dalla loro combustione avvolge il globo terrestre come un mantello che permette ai raggi solari di raggiungere il suolo, ma impedisce al calore così generato di disperdersi. L'accumulo di questo gas attorno alla Terra provoca, quindi, un *aumento dell'effetto serra*, responsabile del cambiamento climatico e di tutte le conseguenze che esso comporta: riduzione dei ghiacciai, innalzamento del livello dei mari, avanzamento della siccità in molte regioni del mondo, eventi meteorologici estremi e altri fenomeni, causando danni (chiamati esternalità) che ricadono sulla collettività oltre che sugli utilizzatori. Il costo reale dell'energia ottenuta dai combustibili fossili è, quindi, decisamente più alto di quello che viene fatto pagare al consumatore. La proposta di ENI e di altre compagnie petrolifere di catturare (solo parzialmente!) e stoccare la quantità di CO₂ prodotta dall'uso dei combustibili fossili (tecnologia CCS) è un alibi per continuare a estrarre combustibili fossili, compromettendo così il percorso di decarbonizzazione e lasciando alle prossime generazioni l'onere di sorvegliare e controllare questi ipotetici depositi di CO₂ che potrebbero venir danneggiati da eventi sismici.

Nel 1988 sotto l'egida dell'ONU è stato costituito un gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC) per valutare, su una base globale, obiettiva, aperta e trasparente, le informazioni scientifiche, tecniche e socioeconomiche rilevanti per comprendere i rischi del cambiamento climatico, i potenziali impatti e le opzioni di adattamento e mitigazione. Negli anni seguenti si è giunti alla ratifica, da parte di molti paesi, della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici e, con cadenza annuale, si sono svolte conferenze (COP, Conference of the Parties) per esaminare l'evolvere del fenomeno e adottare provvedimenti.

Nella COP21, tenutasi di Parigi nel dicembre del 2015, le 195 nazioni presenti si sono impegnate ad agire per mantenere l'innalzamento della temperatura sotto 2 °C e – se possibile – sotto 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali. Sempre nel 2015 Papa Francesco, nell'Enciclica *Laudato si'*, scritta con la consulenza di molti scienziati, ha affermato [7]: *I combustibili fossili devono essere sostituiti senza indugio, ma la politica e l'industria rispondono con lentezza, lontane dall'essere all'altezza delle sfide.*

Dall'inizio della rivoluzione industriale a oggi la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è aumentata da 275 a oltre 400 ppm (parti per milione) e si prevede che, se non saranno presi provvedimenti opportuni, potrà superare il valore di 550 ppm alla fine di questo secolo, con conseguenze che potrebbero essere disastrose. Secondo l'IPCC, una tale concentrazione di CO₂ nell'atmosfera causerebbe un aumento medio globale della temperatura di circa 3 °C, molto più del limite di 2 °C, che era già considerato pericoloso.

In questi ultimi 7 anni, però, non si sono fatti grandi progressi e alla COP27 il segretario dell'ONU Guterres ha ammonito: *Siamo su un'autostrada diretti verso l'inferno climatico con il piede sull'acceleratore; stiamo lottando per la nostra vita e stiamo perdendo.* Ha inoltre lanciato un appello affinché nasca uno storico Patto tra economie sviluppate ed economie emergenti: *Un Patto di Solidarietà Climatica, perché ormai si sa cosa bisogna fare e ci sono anche gli strumenti finanziari e tecnologici per farlo; è tempo che le nazioni si uniscano per agire.*

2.2 Le energie rinnovabili

Come già detto, le *energie rinnovabili* sono quelle le cui fonti non si esauriscono in seguito all'uso; l'esempio tipico è rappresentato dall'energia solare che, come mostra schematicamente la figura 2, viene usata per generare energia elettrica direttamente (fotovoltaico) o indirettamente tramite il vento (eolico), o il ciclo dell'acqua (idroelettrico). Queste fonti energetiche sono le stesse di cui parla San Francesco nel Canticò delle Creature: *frate Sole* che, oltre al calore, ci fornisce luce che i pannelli fotovoltaici convertono in elettricità; *frate Vento* che, attraverso il movimento meccanico delle pale eoliche, genera anch'esso elettricità; *sor'Acqua* che si può accumulare con dighe per poi farla cadere in apposite condotte per produrre ancora una volta elettricità.

Poiché l'energia solare è rinnovabile, anche l'energia elettrica così generata viene detta rinnovabile. In realtà, come evidenzia la figura 2, per convertire l'energia solare in energia elettrica è necessario usare dispositivi, congegni e apparati (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, dighe, ecc.) costruiti con materiali estratti dalla Terra. Poiché tali materiali sono disponibili in quantità più o meno abbondanti, ma comunque sempre limitate, l'energia elettrica che possiamo produrre con l'energia solare non può definirsi, in senso stretto, rinnovabile; tuttavia, in prima approssimazione viene considerata tale (si veda anche punto 4).

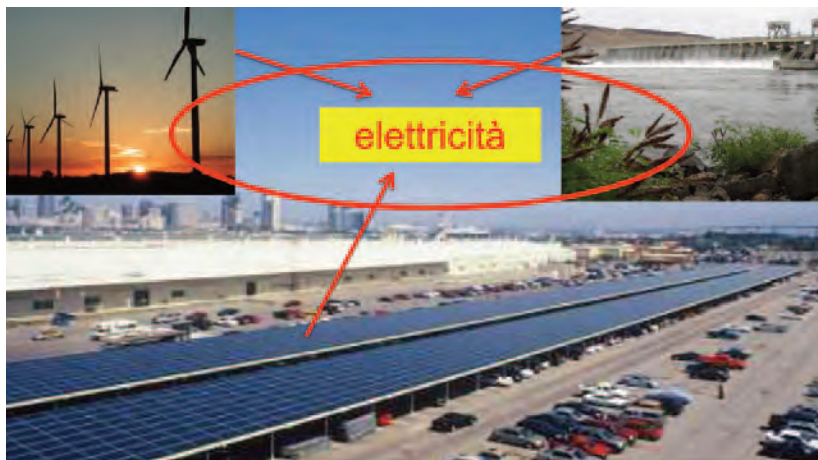


Figura 2. Le tre più importanti fonti di energia rinnovabile, fotovoltaico, eolico e idroelettrico, forniscono energia elettrica più utile del calore che si ottiene dai combustibili fossili

Le energie rinnovabili nel loro insieme soddisfano sostanzialmente i requisiti richiesti per una fonte energetica ideale. Sono, infatti, ben distribuite e, alcune, anche molto abbondanti: il Sole, ad esempio, in un'ora manda sulla Terra una quantità di energia pari a quella che l'umanità consuma in un anno. Però, per utilizzare le energie rinnovabili del Sole, del vento e dell'acqua è necessario convertirle in energia elettrica (energia di uso finale) mediante dispositivi, congegni o apparati (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, bacini e dighe) che, come detto sopra, dobbiamo costruire con le risorse materiali ottenibili dalla Terra che sono limitate, date le dimensioni finite del nostro pianeta. Pertanto, le energie rinnovabili che abbiamo a disposizione vengono sfruttate solo in parte.

Il vantaggio delle energie rinnovabili sta nel fatto che l'elettricità è una forma di energia molto più utile del calore generato dai combustibili fossili. L'elettricità generata dalle rinnovabili ha, però, un difetto: a causa dell'alternanza giorno/notte, il fotovoltaico non può produrre energia in modo continuo e anche vento e pioggia non sono fenomeni continui. Quindi, l'energia elettrica rinnovabile è *intermittente* e, allora, per renderla continua bisogna accumularla con batterie, pompaggi o altri metodi [8, 9].

L'uso delle energie rinnovabili a livello globale è in forte espansione, ma ad oggi è ancora limitato: l'idroelettrico fornisce il 4% dell'energia utilizzata e tutte le altre assieme circa il 3%. Il loro contributo, però, non è affatto trascurabile per quanto riguarda la produzione di elettricità, dove le energie rinnovabili forniscono il 28% del totale (in Italia, circa il 40%) [10].

Per ragioni di spazio, si riportano solo alcuni dati e qualche considerazione sullo sviluppo recente delle energie rinnovabili. Volutamente non viene discusso il tema dei biocombustibili, nonostante attualmente se ne parli molto anche nei mezzi di informazione, perché non sono una fonte rinnovabile efficace per attuare la transizione energetica [1]. Fra i tanti motivi che potrebbero essere citati, si ricorda con particolare riferimento ai biocombustibili liquidi che: attualmente si usano colture dedicate, il che vuol dire sottrarre suolo alla produzione di cibo; il bilancio energetico non è favorevole, dal momento che l'energia necessaria per far crescere la biomassa e convertirla in biocombustibile è spesso superiore a quella ottenuta dal biocombustibile stesso; nel complesso non sono combustibili CO₂-neutri, perché per raccogliere, trasportare

e convertire la biomassa si utilizza energia proveniente da fonti fossili; per dar posto alle monoculture dedicate alla produzione di biocombustibili inevitabilmente si va incontro a deforestazione e alla distruzione di ecosistemi preziosi. I biocombustibili potranno dare un contributo non trascurabile, in particolare come carburanti per il trasporto aereo, solo se si riuscirà ad ottenerli da biomasse lignee-cellulosiche e, quindi, senza togliere terreno alla produzione di cibo.

2.2.1 L'energia idroelettrica

L'energia ottenuta dalla caduta dell'acqua è la più nota, usata e collaudata forma di energia rinnovabile. Si stima che nei paesi sviluppati circa il 70% del potenziale sfruttabile per grandi impianti sia già operativo, mentre ampie possibilità di crescita sono ancora presenti in Asia e Africa.

Nuove prospettive, sia per i paesi sviluppati che per le zone rurali del terzo mondo, riguardano l'idroelettrico basato su piccoli impianti che possono sfruttare flussi idrici ridotti, ma costanti.

La potenza idroelettrica installata, che era di 715 GW nel 2004, ha raggiunto 1.200 GW nel 2021 [10], però la scarsità di pioggia e neve degli ultimi anni, causata dal cambiamento climatico, ha ridotto il contributo dell'idroelettrico in molti paesi, fra cui l'Italia.

2.2.2 L'energia eolica

Gli impianti eolici comportano un uso ridotto del territorio, si possono installare anche in mare, richiedono una manutenzione minima, restituiscono in pochi mesi l'energia utilizzata per costruirli e si possono costruire e smantellare in tempi brevi con riciclo quasi totale (80-90%) dei materiali usati. Poiché il vento è intermittente su base giornaliera e stagionale, la capacità annuale effettiva di un impianto eolico si aggira attorno al 30%.

In totale, la potenza installata è passata da 48 GW del 2004 a 845 GW nel 2021 [10], producendo un'energia paragonabile a quella generata da 150 centrali nucleari da 1.000 MW. In particolare, l'eolico offshore e il micro-eolico crescono a un ritmo annuo superiore al 20% e contribuiscono già alla produzione di elettricità con percentuali molto alte sia in paesi piccoli, come la Danimarca (44%), che nelle grandi potenze industriali, come la Germania (20%).

2.2.3 L'energia fotovoltaica

Il fotovoltaico è in fortissima espansione tanto è vero che la potenza installata, che nel 2004 era di 2,6 GW, è salita a ben 942 GW nel 2021 [10] (energia paragonabile a quella generata da oltre 160 centrali nucleari da 1.000 MW) e continuerà ad aumentare esponenzialmente nei prossimi anni.

La produzione di energia elettrica fotovoltaica necessita di ampi spazi di raccolta, ma non così estesi come si potrebbe pensare. Nel caso dell'Italia sarebbe sufficiente utilizzare lo 0,8% del territorio, un'estensione poco più grande dell'area che occupano, comprese le zone di pertinenza, i 700.000 capannoni già presenti sul territorio, che sono luoghi ideali per collocare pannelli fotovoltaici. Occorre poi considerare che altri posti adatti per posizionare i pannelli fotovoltaici sono i tetti degli edifici pubblici (Figura 3), i laghi e anche il mare (Figura 4).



Figura 3. Il tetto della stazione di Shanghai è coperto da pannelli fotovoltaici che forniscono elettricità ai treni



Figura 4. Pannelli fotovoltaici off-shore

Recentemente, poi, si sta sviluppando l'agrivoltaico [11, 12] che consiste nel posizionare su un terreno coltivabile pannelli fotovoltaici inclinati, a opportuna distanza l'uno dall'altro e a un'altezza dal suolo di un paio di metri (Figura 5); in questo modo si ottengono con buona resa sia i prodotti agricoli che elettricità, un risultato di enorme valore: cibo ed energia, le risorse più importanti per la vita, dallo stesso campo illuminato dal Sole.

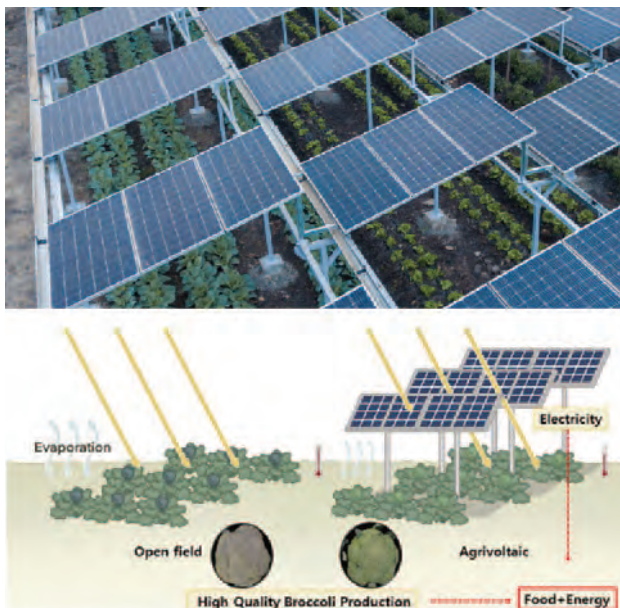


Figura 5. Posizionando su un campo coltivabile i pannelli fotovoltaici con appropriata inclinazione, distanza e altezza dal suolo si ottengono con buona efficienza cibo ed energia

In Italia, che gode di un'ottima insolazione, nel 2021 il fotovoltaico ha coperto il 10% dei consumi elettrici e ha ormai raggiunto e superato la *grid parity* (cioè la competitività economica) con le centrali elettriche a carbone e anche con le turbine a gas a ciclo combinato, che sono quelle usate per produrre elettricità nelle ore di più alto consumo.

Il fotovoltaico è una tecnologia ormai collaudata: i pannelli hanno una durata di 25-30 anni, in 2-3 anni generano l'energia spesa per produrli e i materiali usati per costruirli possono essere riciclati per il 90% (Figura 6).

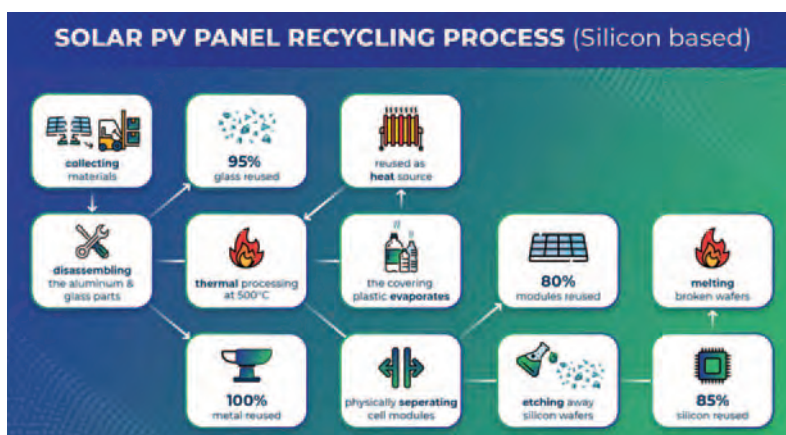


Figura 6. Processo di riciclo dei pannelli fotovoltaici

In futuro le celle fotovoltaiche saranno sempre più sottili e, sfruttando nuovi materiali, sarà possibile produrre, con tecnologie simili a quelle oggi usate per la stampa, pannelli flessibili, più facili da installare.

Forse non tutti sanno che l'efficienza di conversione dell'energia solare in energia elettrica da parte di un pannello fotovoltaico (circa il 20%) è più di 100 volte maggiore di quella con cui il processo fotosintetico naturale converte l'energia solare in energia chimica.

2.3 L'energia nucleare

Verso la metà del secolo scorso, ancor prima dello sviluppo delle energie rinnovabili, si è riusciti a ottenere energia elettrica dal calore emesso in una reazione nucleare, facendo nascere la speranza di fornire a tutto il mondo energia elettrica abbondante e a basso prezzo.

2.3.1 Nucleare da fissione

Le centrali nucleari attualmente in uso sfruttano la reazione di fissione dell'uranio-235; dopo una crescita durata una ventina d'anni, verso l'inizio degli anni '90 del secolo scorso lo sviluppo del nucleare si è arrestato e attualmente esso fornisce il 10% dell'energia elettrica mondiale, che a sua volta rappresenta circa il 20% del consumo di energia finale. Si tratta, infatti, di una tecnologia economicamente non conveniente in un regime di libero mercato, per cui si costruiscono centrali a fissione solo nei paesi dove lo Stato si fa direttamente carico dei costi e dei rischi d'impresa e dove c'è un forte collegamento con il nucleare militare.

Recentemente, però, in sede europea il nucleare è stato considerato fondamentale per combattere il cambiamento climatico in quanto non genera CO₂. In realtà la quantità di CO₂ emessa dal nucleare dovrebbe essere calcolata tenendo conto di tutte le fasi del ciclo di vita degli impianti – dall'estrazione dell'uranio fino alla dismissione delle centrali – senza tralasciare le emissioni legate al trasporto e allo stoccaggio delle scorie radioattive.

Inoltre, per valutare la sostenibilità ecologica, economica e sociale dell'energia nucleare non ci si può basare solo sulla quantità di CO₂ emessa; è, infatti, necessario considerarne tutte le criticità, che possiamo così riassumere: 1) le centrali nucleari producono scorie radioattive pericolose per decine di migliaia di anni, la collocazione delle quali è un problema non risolto e forse irrisolvibile; 2) il combustibile nucleare, l'uranio, è una risorsa, oltre che non rinnovabile, limitata e quindi contesa; 3) la dismissione di una centrale nucleare a fine vita è un problema di difficile soluzione sia dal punto di vista tecnico che economico, tanto che lo si lascia in eredità alle prossime generazioni; 4) un incidente nucleare grave non è delimitabile nello spazio e nel tempo e, pertanto, coinvolge direttamente o indirettamente milioni di persone; 5) Chernobyl, Fukushima e, ancora prima, Three Mile Island hanno dimostrato che gravi incidenti nucleari possono accadere anche in paesi tecnologicamente avanzati e che siamo impotenti di fronte a tali drammatici eventi; 6) il nucleare civile è connesso alle applicazioni militari e può essere obiettivo o fonte di attività terroristiche; 7) il timore di incidenti o di contaminazioni con sostanze radioattive rendono difficile il reperimento di siti in cui costruire le centrali; 8) l'esperienza dimostra che la costruzione di una centrale nucleare richiede più di 20 anni e che il costo finale supera di molte volte quello inizialmente previsto.

Quindi, l'attuale tecnologia nucleare è molto costosa, pericolosa, complessa da gestire e socialmente non accettabile; lascia pesanti fardelli sulle spalle delle prossime generazioni e genera anche complicati problemi politici e sociali difficili da risolvere.

Si deve, poi, aggiungere che la prospettiva dei "mini e micro" reattori nucleari, di cui tanto si sta discutendo in questo periodo, è ancora più dannosa, perché produrrebbe una diffusione sul

territorio di impianti a rischio, con accresciute difficoltà a esercitare un controllo efficace sulle scorie radioattive e, quindi, a garantire la sicurezza delle popolazioni e dell'ambiente.

Infine, per quanto riguarda l'Italia, i cui cittadini, con ben due referendum, nel 1987 e nel 2011, avevano dato a larga maggioranza parere negativo sullo sviluppo dell'energia nucleare, un ritorno a questa fonte energetica sarebbe una vera follia. Lo sarebbe non solo per tutti i motivi prima evidenziati, ma anche perché l'Italia è un territorio densamente popolato e sismico, non ha riserve di uranio e, ormai, non ha più neanche le competenze per costruire e gestire una centrale nucleare, cosa che renderebbe il nostro paese dipendente dalle Nazioni che ci danno uranio e tecnologia.

2.3.2 La fusione nucleare: futuro o utopia?

Come è noto, si possono generare enormi quantità di energia non solo dalla fissione di atomi pesanti, ma anche dalla fusione di atomi leggeri. La possibilità di ottenere energia elettrica dalla fusione nucleare controllata (quella incontrollata è già stata messa in opera nelle cosiddette bombe all'idrogeno) è stata annunciata per la prima volta nel 1955, preconizzando che ci sarebbero voluti due decenni per realizzarla e quindi per risolvere definitivamente il problema energetico su scala mondiale. Questa previsione (*fra due decenni ...*) è stata riproposta più volte, dal 1955 ad oggi, da diversi scienziati. In realtà, nonostante i grandi capitali investiti, finora non sono stati fatti passi in avanti significativi, anche se la spasmodica attesa di questo successo ha portato all'esaltazione sui mezzi di comunicazione di alcuni esperimenti molto preliminari.

L'episodio più eclatante è avvenuto il 13 dicembre dello scorso anno, quando i giornali di tutto il mondo hanno riportato che la *National Ignition Facility (NIF)* del *Lawrence Livermore National Laboratory* in California (USA) aveva ottenuto un importante risultato: focalizzando l'energia di 192 laser su una sferetta (pellet) contenente deuterio e trizio (due isotopi dell'idrogeno) ha generato in pochi nanosecondi la loro fusione con formazione di elio, un neutrone e una quantità di energia (3,15 MJ) leggermente maggiore di quella iniettata dai laser nella sferetta (2,05 MJ) (Figura 7).

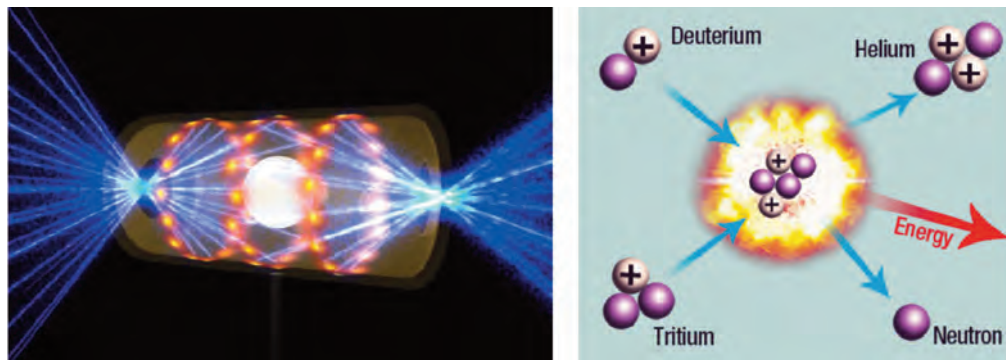


Figura 7. Grazie all'energia fornita da 192 laser, in una sferetta contenente deuterio e trizio avviene la reazione di fusione con formazione di elio

C'è da notare, però, che i 192 laser hanno consumato circa 400 MJ, ai quali va aggiunta l'energia richiesta dalle altre apparecchiature costruite e utilizzate nel preparare e seguire l'esperimento. Oltre a vincere la sfida energetica (produrre più energia di quella consumata), per generare energia su scala commerciale si deve vincere un'altra sfida praticamente impossibile: modificare l'apparecchiatura per far sì che produca energia non per una piccolissima frazione di secondo, ma in modo

continuo, cosa che richiede, rispetto all'esperimento compiuto, un miglioramento di almeno 500.000 volte. Ad altri difficili problemi pratici, che sarebbe necessario risolvere, si aggiunge poi la necessità di disporre dei due isotopi dell'idrogeno. Mentre il deuterio è abbondante, il trizio non è presente in natura perché è radioattivo (decade con un tempo di dimezzamento di soli 12 anni). La maggioranza degli esperti concorda sul fatto che con questo metodo così complicato è impossibile generare elettricità a costi commerciali competitivi. Bisogna anche sottolineare che il compito primario del NIF non è quello di studiare la fusione per ottenere energia, ma di sfruttarla a fini bellici.

Un altro metodo per costruire centrali nucleari a fusione per scopi pacifici si sta studiando a Cadarache in Francia da parte di un folto gruppo di paesi, compresi USA, UE, Cina e India. Questo secondo metodo è basato sul confinamento magnetico per intrappolare atomi di deuterio e trizio in modo che possano dare la reazione di fusione generando energia. Sono già stati spesi 20 miliardi di euro senza essere ancora riusciti a produrre quantità di energia maggiori di quelle utilizzate.

In conclusione, la storia della fusione nucleare, dagli anni Cinquanta del secolo scorso ad oggi, dimostra che questa tecnologia non riuscirà a produrre elettricità a bassi costi e in modo attendibile in un futuro ragionevolmente vicino. Quindi, non potrà essere di aiuto per raggiungere il traguardo emissioni zero di CO₂ entro il 2050: spendere miliardi di dollari nel tentativo di sviluppare la fusione genera il solo risultato di togliere risorse alle tecnologie efficienti e già in uso basate sulle energie rinnovabili.

3. La transizione energetica dai combustibili alle energie rinnovabili

La transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili è inevitabile e anche urgente se vogliamo custodire il pianeta e noi stessi che lo abitiamo. È una transizione che richiede tempo perché è complessa dal punto di vista tecnico, economico, politico e anche culturale.

L'uso dei combustibili fossili, oltre alla nascita e al perpetrarsi di disuguaglianze all'interno di ciascuna Nazione e fra le Nazioni, ha fatto sì che si instaurassero equilibri internazionali molto complessi, basati sulla potenza economica e militare, che neppure l'avvento dell'energia nucleare a metà del secolo scorso ha sostanzialmente modificato. Tali equilibri, per quanto consolidati, verranno inevitabilmente sconvolti passando dai combustibili fossili alle energie rinnovabili. Si tratta, infatti, di sostituire fonti energetiche concentrate, localizzate in pochi paesi, pericolose, inquinanti, causa di controversie economiche e commerciali, esposte ad attentati e particolarmente adatte ad alimentare le guerre, con fonti energetiche diffuse su tutta la Terra, non inquinanti e non pericolose. Infine, ma non ultimo elemento come importanza, bisogna ricordare che nei paesi sviluppati l'abbondanza di energia ha forgiato la società consumistica dello spreco e dell'usa e getta, che non sarà facile modificare.

La transizione energetica, quindi, ancor più che un complesso problema tecnico, implica una vera rivoluzione culturale [5], perché riguarda il modo di vivere e di affrontare il futuro, interessa tutti i livelli organizzativi della società e ha profondi effetti economici e politici. La transizione che stiamo affrontando è, pertanto, una grande sfida che deve essere accettata senza indugi perché ci permetterà di vivere in un mondo più giusto, più equo e più pacifico.

La transizione energetica comporta grandi cambiamenti non solo nel modo di produrre energia, ma anche nel modo di trasportarla, distribuirla e utilizzarla. Come abbiamo visto, le energie primarie rinnovabili del Sole, del vento e dell'acqua, con le quali dobbiamo sostituire i combustibili fossili, oltre a non produrre CO₂ e a non causare inquinamento, hanno un'ulteriore importante caratteristica: generano energia elettrica e non calore. L'energia elettrica è particolarmente pregiata perché può essere convertita con alta efficienza in altre forme di energia come luce, ca-

lore ed energia meccanica (Figura 8). Quindi, l'economia basata sulle fonti rinnovabili ha un'efficienza energetica molto maggiore dell'economia basata sui combustibili fossili.

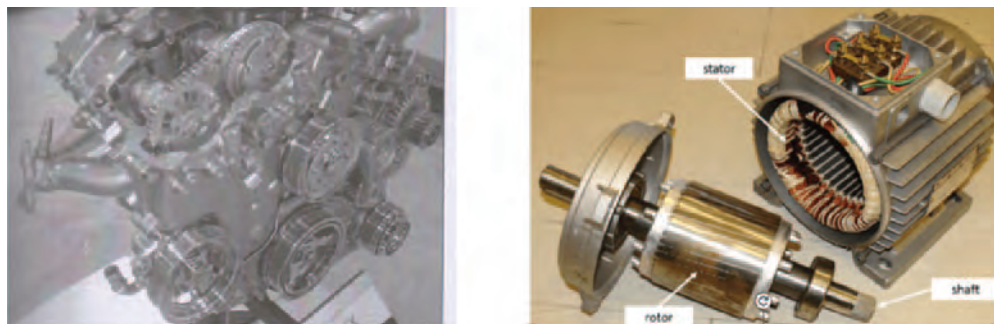


Figura 8. La complessità del motore termico confrontata con la semplicità del motore elettrico

Le energie rinnovabili hanno anche altri vantaggi rispetto a quelle fossili. I combustibili fossili sono presenti allo stato grezzo, sotto la crosta terrestre e solo in certe regioni del mondo. Quindi vanno estratti scavando miniere o pozzi, poi devono essere raffinati e infine trasportati nei luoghi d'uso, operazioni tutte pericolose e spesso causa di incidenti. Invece, l'energia primaria per produrre elettricità con il fotovoltaico, l'eolico e l'idroelettrico *piove dal cielo* (anche se richiede, come vedremo "l'intervento" della Terra), non va trasportata né raffinata, dobbiamo solo raccoglierla, convertirla in elettricità, operazioni che non presentano pericoli (a parte l'idroelettrico), e distribuirla tramite cavi, senza eccessivi problemi.

Gli scienziati hanno dimostrato che la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili si può fare e che, oltre a eliminare inquinamento e frenare il cambiamento climatico, è anche vantaggiosa perché crea molti nuovi posti di lavoro [13]. Stime concordi di svariati economisti, fra i quali Joseph Stiglitz, vincitore del premio Nobel per l'economia nel 2001, valutano infatti che le energie rinnovabili, a parità di capitale investito, creano tre volte più occupati delle fonti fossili, per cui investire nelle energie rinnovabili è utile anche per rilanciare l'economia.

Il gruppo dell'Università di Stanford [13] ha condotto una dettagliata indagine sui benefici che la transizione porterà in vari paesi e, per quanto riguarda l'Italia, lo studio afferma che l'energia necessaria si può ricavare essenzialmente da fotovoltaico, eolico e idroelettrico, con un piccolo contributo di geotermico. Ha anche valutato che, per la costruzione degli impianti necessari, si occuperà non più dello 0,26% del territorio, che si creeranno 138.000 posti di lavoro per la loro costruzione e altri 140.000 per il loro funzionamento.

Nonostante ciò, oggi stiamo vivendo una strana situazione: il futuro, cioè le energie rinnovabili, è già presente, ma il passato, cioè i combustibili fossili, non vuole tramontare. Questa transizione energetica è, infatti, fortemente ostacolata dalle lobby dei combustibili fossili (in Italia, da ENI e SNAM) secondo le quali le energie rinnovabili non sarebbero ancora mature. Per smentire questa falsità basta ricordare quanto detto in precedenza e cioè che la fotosintesi naturale converte l'energia solare in energia chimica con un'efficienza energetica dello 0,2%, mentre il fotovoltaico converte l'energia solare in energia elettrica con un'efficienza di circa il 20% e, quindi, 100 volte maggiore.

Le energie del Sole, del vento e dell'acqua, però, come già anticipato, hanno due problemi: (a) vanno convertite in energia elettrica, cosa che richiede la costruzione di congegni e strutture

materiali (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, dighe, ecc.) e (b) sono intermittenti, difetto che si ripercuote sull'elettricità che esse generano, per cui occorre utilizzare sistemi di accumulo.

Quindi, sia in un caso che nell'altro, abbiamo bisogno di risorse materiali che dobbiamo estrarre dalla Terra: gli elementi chimici e i loro composti. Come è noto, alcuni elementi sono molto abbondanti (idrogeno, carbonio, ossigeno), altri sono presenti in minor quantità e altri ancora sono relativamente scarsi [14].

Anche se abbondante e ben distribuita, l'energia rinnovabile che possiamo realmente utilizzare è condizionata dalla limitata disponibilità e dalla non uniforme distribuzione delle necessarie risorse materiali, come vedremo nel prossimo punto.

4. Un inevitabile collo di bottiglia: i materiali

Dopo aver esaminato tutti i vantaggi che offrirebbe il passaggio dai combustibili fossili alle energie rinnovabili, è giusto esaminare quali possono essere i problemi che questa transizione comporta. Sarà possibile alimentare la crescente fame di energia della società umana con le energie rinnovabili? Per quanto tempo? Quali conseguenze porterà la transizione dal punto di vista ecologico e sociale?

La *fonte* primaria delle energie rinnovabili non ha problemi: il Sole continuerà a brillare mantenendo le sue caratteristiche almeno per alcuni miliardi di anni, inviandoci in un'ora una quantità di energia più o meno equivalente a quella che l'umanità consuma in un anno. Quindi la fonte primaria di energia è *abbondante, continua, e inesauribile* (cioè, *rinnovabile*, nella nostra scala di tempo). Ad esempio, in Italia la potenza solare media è 170 W/m².

Come la conversione dell'energia solare in energia elettrica (Figura 2), anche l'uso, il trasporto, l'accumulo e l'ulteriore conversione dell'energia elettrica in altre forme di energia di uso finale richiedono strutture, dispositivi, congegni che dobbiamo costruire utilizzando i materiali estratti dalla Terra. Il nostro pianeta è, infatti, un "deposito" (Figura 9), anche se molto particolare, di elementi chimici e dei loro composti.

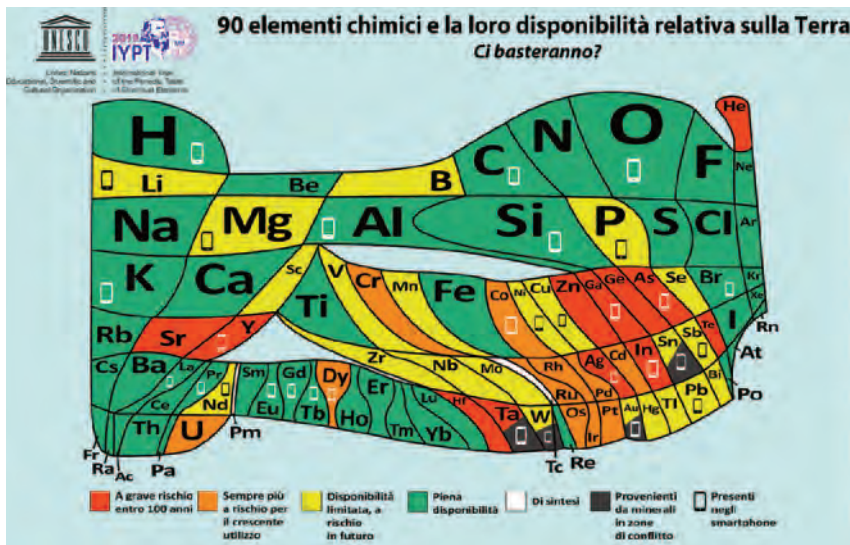


Figura 9. Una versione moderna della Tavola Periodica che rappresenta schematicamente l'abbondanza relativa sul nostro pianeta degli elementi naturali

I materiali richiesti per la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili sono molteplici (Figura 10), alcuni abbondanti, comunque sempre presenti in quantità limitata, e altri scarsi; inoltre, la loro distribuzione sulla superficie del pianeta è molto disomogenea e la loro estrazione spesso è problematica per motivi tecnici, ecologici e sociali.

Un'ulteriore complicazione deriva dal fatto che la superficie della Terra è occupata, in modo disomogeneo, da più di 200 Nazioni che hanno tradizioni, usi, sensibilità ambientale diversi e che spesso sono in concorrenza, se non in conflitto, per accaparrarsi le risorse.

Il sistema energetico basato sull'energia elettrica richiede, come appena detto, quantità grandi e diversificate di materiali, in particolare, molti metalli [15]; ad esempio, un'auto elettrica richiede, tipicamente, una quantità di minerali sei volte quella richiesta da un'auto a carburante. Litio, nichel, cobalto, manganese e grafite sono di importanza cruciale per le prestazioni delle batterie e alcuni elementi delle Terre Rare sono importanti per i magneti permanenti delle turbine eoliche e delle auto elettriche. Il rame è in assoluto il metallo più usato: per un'auto elettrica ne occorrono più di 200 kg, per i pannelli fotovoltaici circa 60 quintali per MW e per le turbine eoliche offshore circa 160 quintali per MW.

Per quanto riguarda i prossimi anni non è facile prevedere quale sarà la richiesta dei materiali necessari per attuare la transizione energetica, perché dipenderà dal progresso della tecnologia e dalle decisioni politiche relativamente agli obiettivi da raggiungere. Per esempio, si è valutato che la richiesta di cobalto nel 2040 aumenterà da 6 a 30 volte rispetto a quella attuale, a seconda dell'evoluzione delle batterie e delle decisioni riguardanti le politiche climatiche.

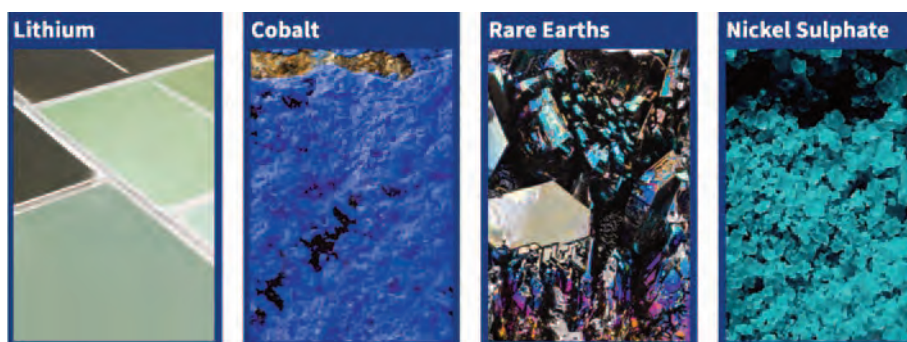


Figura 10. Alcune delle risorse minerarie più importanti per la transizione energetica

Per raggiungere l'obiettivo fissato dall'Accordo di Parigi (aumento della temperatura minore di 1,5 °C nel 2050) sarà, quindi, necessario superare numerosi ostacoli [15], di seguito brevemente riassunti.

- Le risorse minerarie più utilizzate sono localizzate in pochi paesi; ad esempio, il 70% del cobalto è prodotto nel Congo e il 60% delle Terre Rare in Cina.
- La sempre più bassa qualità dei minerali richiede l'utilizzo di crescenti quantità di energia per l'estrazione e, di conseguenza, crea maggiori emissioni di CO₂ e maggior volume di rifiuti.
- Le comunità locali possono creare problemi a causa dei danni provocati al territorio dalle estrazioni.
- L'aumentata esposizione a rischi climatici (scarsità di acqua, ondate di calore estreme, inondazioni) può ostacolare una produzione di materiali certa e sostenibile.

Per far fronte a queste difficoltà si dovrà sempre più ricorrere a innovazioni tecnologiche che permettano di utilizzare minori quantità di materiali e ridurre i costi. Per esempio, negli ultimi dieci anni lo spettacolare sviluppo del fotovoltaico è stato possibile grazie alla riduzione nell'uso di silicio e di rame nelle celle solari.

Il recente aumento dei prezzi di rame, di litio e di altri metalli strategici ha dato voce a chi si oppone alla transizione energetica e si è iniziato a usare il termine *greenflation* per sottolineare che è sempre meno probabile evitare gli effetti del cambiamento climatico. Secondo IRENA [16, 17] si tratta di preoccupazioni esagerate perché le risorse necessarie ci sono: bisogna solo aumentare la produzione, tenendo anche conto che, per certi scopi, si possono usare materiali alternativi e che un riciclo efficiente può ridurre significativamente l'uso della produzione primaria. Ad esempio, nei cavi elettrici il rame può essere sostituito dall'alluminio, seppure con maggiori costi energetici e, inoltre, si può aumentare l'efficienza del suo riciclo dal 30 al 50%.

Un aspetto più complesso, che dovrà essere tenuto in attenta considerazione con appropriate iniziative economiche e politiche, è quello della disomogenea distribuzione geografica dei materiali. Sarà, quindi, sempre più necessaria una visione globale dei vari problemi che non potranno essere risolti da accordi bilaterali, ma solo attraverso mediazioni condotte da agenzie internazionali.

La speranza è che non si passi dalle guerre, più o meno esplicite, per il petrolio a guerre per i materiali necessari alla transizione; l'aumentata consapevolezza che in un mondo globalizzato nessuno è autosufficiente dovrebbe indurre a instaurare collaborazioni proficue fra le Nazioni, rafforzando la pace.

In base a quanto detto sopra è evidente che l'Europa è fortemente dipendente dalle importazioni di litio, cobalto, nickel e altre risorse essenziali per la transizione green; molto recentemente in Svezia è stato scoperto un giacimento di oltre 1 milione di tonnellate di ossidi di Terre Rare, il più grande giacimento di questi minerali finora conosciuto in Europa.

5. Dall'economia lineare all'economia circolare e dal consumismo alla sobrietà

Oltre alla transizione dai combustibili fossili alle fonti energetiche rinnovabili, per raggiungere la sostenibilità ecologica e sociale è necessaria un'altra transizione: quella dall'*economia lineare* (Figura 11), caratterizzata dall'usa e getta, all'*economia circolare* [2, 5, 18] (Figura 12). L'usa e getta è una pratica insostenibile: da una parte causa l'esaurimento delle risorse e, dall'altra, genera l'accumulo di quantità enormi di rifiuti, spesso dannosi. Questo tipo di sviluppo economico ci sta portando sull'orlo del baratro ecologico e, indirettamente, è l'origine delle crescenti, insostenibili disuguaglianze sociali. Papa Francesco, nella già citata *Enciclica Laudato si'*, ha lanciato un appello accorato [7]: *Ciò che sta accadendo ci pone di fronte all'urgenza di procedere in una coraggiosa rivoluzione culturale.*

Uno dei punti cardine di questa rivoluzione culturale è proprio il passaggio dall'economia lineare all'economia circolare, nella quale le risorse vengono usate in quantità il più possibile limitate (risparmio) e in modo intelligente (efficienza) per fabbricare oggetti programmati non solo per essere usati, ma anche per essere riparati, riusati, raccolti e riciclati in modo da fornire nuove risorse [2, 5, 13]. Una differenza fondamentale fra l'economia lineare e l'economia circolare riguarda l'energia: l'economia lineare è alimentata dai combustibili fossili, mentre l'economia circolare deve utilizzare l'energia generata dal Sole che è rinnovabile, ben distribuita,

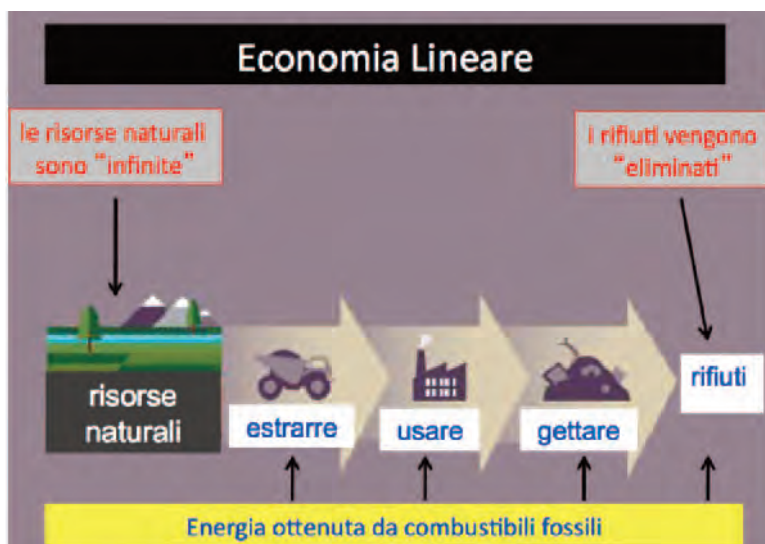


Figura 11. L'economia lineare è basata sul falso presupposto che le risorse naturali siano infinite, che non ci siano problemi per la collocazione dei rifiuti e che si possa continuare a usare l'energia fornita dai combustibili fossili

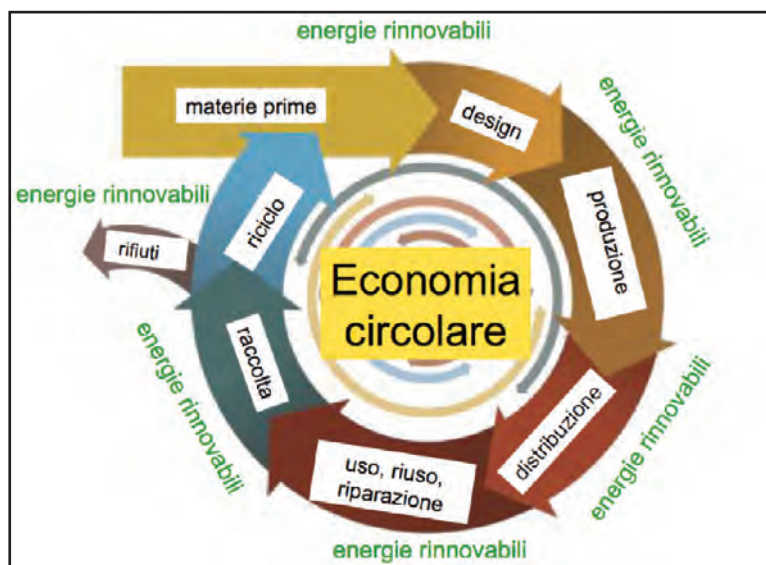


Figura 12. L'economia circolare, partendo dalla constatazione che le risorse naturali sono limitate, è basata su alcune parole chiave come risparmio, riutilizzo, riciclo e uso di fonti energetiche rinnovabili

non nociva per l'uomo e non dannosa per l'ambiente. Ecco, quindi, che la seconda transizione, quella dall'economia lineare all'economia circolare, non può realizzarsi completamente se non si porta a termine la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili.

L'attuale economia, come già detto, è caratterizzata da un esagerato consumo dell'energia e, allora, per capire quanto questo nostro comportamento sia assurdo, possiamo porci una domanda: quanta energia è realmente necessaria per una persona? Molte ricerche mettono in evidenza che il benessere delle persone non è direttamente proporzionale all'energia che consumano, gran parte della quale viene sprecata [5, 19]. Ad esempio, ogni cittadino americano impiega mediamente l'equivalente di 12.000 watt di potenza, il doppio di un cittadino europeo (6.000 watt), ma il benessere negli Stati Uniti non è maggiore di quello nei paesi europei.

Questo ci dice che sicuramente possiamo ridurre il consumo di energia senza peggiorare la nostra condizione, ma come è possibile convincere le persone, abituate a sprecare energia, a cambiare stile di vita? Chi studia questo problema indica due strategie [18].

La prima è *agire sulle cose*, cioè aumentare l'efficienza energetica di tutte le apparecchiature che usiamo: automobili, caldaie, lampadine, ecc. L'esperienza dimostra, tuttavia, che l'aumento dell'efficienza spesso non porta a una riduzione del consumo di energia per diversi motivi, fra cui il cosiddetto *effetto rimbalzo*; può, infatti, accadere che un aumento dell'efficienza incoraggi un maggiore utilizzo dei servizi energetici.

La seconda strategia dice, invece, che, se si vuole realmente consumare meno energia per contribuire alla sostenibilità ecologica e sociale, bisogna *agire sulle persone*, prima che sulle cose. Occorre partire dal concetto di *sufficienza*, convincendo, sollecitando e, in casi estremi, anche obbligando le persone, con leggi e sanzioni, a ridurre l'uso non necessario dei servizi energetici. Per risparmiare realmente energia non basta *fare con meno*, bisogna *fare meno*: meno viaggi, meno luce, meno riscaldamento, minor velocità e così via. Se poi l'apparecchiatura che si usa è più efficiente, si avrà un risparmio ancora maggiore: è il *fare meno* (sufficienza) *con meno* (efficienza). Ovviamente, questi concetti possono essere applicati all'uso di qualsiasi risorsa, perché tutte le risorse della Terra sono, più o meno, limitate.

Quindi, occorre attuare una terza transizione per raggiungere la sostenibilità ecologica e sociale, quella dal consumismo alla sufficienza, o, meglio, alla *sobrietà*, una virtù quasi dimenticata, che è la qualità essenziale di ogni tipo di relazione: con le risorse, con i rifiuti, con gli altri e con sé stessi. Senza adottare stili di vita ispirati alla sobrietà precipiteremmo nel collasso ecologico e sociale perché, come dice anche Papa Francesco [7]: *Le previsioni catastrofiche ormai non si possono più guardare con disprezzo e ironia. Potremmo lasciare alle prossime generazioni troppe macerie, deserti, sporcizia.*

6. La responsabilità che grava sulle nostre spalle

Siamo in un periodo difficile della storia. Dopo aver goduto per più di un secolo dell'energia dei combustibili fossili, abbondante e a basso prezzo, abbiamo capito che il suo uso causa la degradazione del pianeta e che, quindi, dobbiamo smettere di utilizzarla. Dopo esserci tanto esaltati per il *progresso*, ci stiamo accorgendo che l'attuale modello di sviluppo basato sul consumismo è insostenibile per il nostro pianeta. Lo è anche dal punto di vista sociale perché promuove la competizione, induce a non curarsi degli altri, a perdere l'idea di bene comune e ad allargare sempre più la forbice della disuguaglianza dalla quale derivano disagio, malessere, migrazioni, rivoluzioni e guerre.

La situazione in cui ci troviamo è ben espressa dalla frase di un grande filosofo, Hans Jonas [20]: *È lo smisurato potere che ci siamo dati, su noi stessi e sull'ambiente, sono le immani dimensioni causali di questo potere a imporci di sapere che cosa stiamo facendo e di scegliere in*

quale direzione vogliamo inoltrarci. È una frase che riassume il passato, stabilisce il compito che ci assegna il presente e ricorda che siamo gli artefici del nostro futuro.

Purtroppo, non sembra che molti siano consapevoli della sfida che abbiamo di fronte. La prima cosa da fare, quindi, è informare ed educare le persone per costruire una solida base culturale [21], o meglio, per usare le parole già citate di Papa Francesco, per attuare una coraggiosa rivoluzione culturale.

Non possiamo continuare a costruire muri e confini, perché dobbiamo vivere tutti assieme sull'astronave Terra dalla quale nessuno se ne può andare. Non possiamo abbandonare i comandi, uscire dalla cabina di pilotaggio e lasciare il nostro pianeta al suo destino. Dobbiamo custodirlo, perché deve servire anche alle prossime generazioni. Bisogna porre fine a comportamenti irresponsabili per quanto riguarda il consumo di risorse e la produzione di rifiuti; dobbiamo adoperarci affinché vengano realizzate idee e attuate strategie politiche capaci di proiettarci verso un mondo sostenibile.

Non si tratta di un impossibile ritorno al passato, né di rinnegare scoperte e invenzioni; si tratta, anzi, di ampliare le nostre conoscenze e di utilizzare nel modo migliore le grandi capacità che ci vengono fornite dalla scienza e dalla tecnologia. Bisogna farlo rispettando i limiti e i confini planetari di cui oggi abbiamo piena consapevolezza, imparando a riciclare le risorse della Terra e a usare sempre di più e sempre meglio l'energia solare, la risorsa fondamentale che abbiamo *riscoverto* negli ultimi anni.

Se sfrutteremo con cura i beni comuni, cioè le limitate risorse del nostro pianeta e l'abbondante e inesauribile flusso di energia che ci viene dal Sole, se svilupperemo con intelligenza le conoscenze scientifiche e le innovazioni tecnologiche e, soprattutto, se riusciremo a far emergere le nostre preziosissime fonti di energia spirituale – saggezza, creatività, responsabilità, collaborazione, amicizia, sobrietà e solidarietà – riusciremo a raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e sociale.

C'è tanto da fare per migliorare questo mondo. Molte decisioni devono essere prese a livello politico, ma ciascuno di noi è tenuto a fare la sua parte. Come ha detto William James, filosofo della seconda metà del 1800, [2]: *Agisci sempre come se le tue azioni facessero la differenza. La fanno.*

Riferimenti

- [1] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra*, Terza Edizione, Zanichelli, Bologna, 2017.
- [2] V. Balzani, M. Venturi, *Energia, risorse, ambiente*, Zanichelli, Bologna, 2014.
- [3] P. Crutzen, *Nature*, 2002, **415**, 23.
- [4] U. Bardi, *Extracted: How the Quest for Mineral Wealth is Plundering the Planet*, Chelsea Green, White River Junction, Vermont (USA), 2014.
- [5] F. M. Butera, *Affrontare la complessità*, Edizioni Ambiente, Milano, 2021.
- [6] R. P. Feynman, volume I, lecture 4, "Conservation of Energy"; section 4-1, "What is energy?"; p. 4-2 *The Feynman Lectures on Physics*, 1964.
- [7] Papa Francesco, *Laudato si'*, *Lettera enciclica sulla cura della casa comune*, Paoline Editoriale Libri, Milano, 2015.
- [8] A. Abbotto, *Idrogeno. Tutti i colori dell'energia*, Edizioni Dedalo, Bari, 2021.
- [9] N. Armaroli, *Emergenza energia. Non abbiamo più tempo*, Edizioni Dedalo, Bari, 2020.

- [10] *Renewables 2022, Global Status Report* – REN21 (https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf).
- [11] *Agrivoltaics*, Fraunhofer ISE (<https://www.ise.fraunhofer.de/en/key-topics/integrated-photovoltaics/agrivoltaics.html>)
- [12] *Agrivoltaics, a valuable ally in the energy transition*, ENEL Green Power, (<https://www.enel-greenpower.com/learning-hub/contributors/agrivoltaics-ally-energy-transition>).
- [13] M. Z. Jacobson, *100% Clean, Renewable, Energy and Storage for Everything*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 2021.
- [14] V. Balzani, L. Moggi, L. Prodi, M. Venturi, *Chimica: fondamenti e prospettive*, Bononia University Press, Bologna, 2021.
- [15] *The role of critical minerals in clean energy transitions, World Energy Outlook Special Report*, International Energy Agency, 2022 (<https://www.iea.org/events/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions-world-energy-outlook-special-report>).
- [16] *Materials shortage will not stop the energy transition, if we plan ahead*, IRENA, 2021 (<https://www.irena.org/News/expertinsights/2021/Nov/Materials-shortage-will-not-stop-the-energy-transition>).
- [17] *World energy transition outlook: 1.5 °C pathway*, IRENA 2021 (<https://fsr.eu.eu/event/world-energy-transitions-outlook-1-5c-pathway-fsr-talk-with-irena/>).
- [18] V. Balzani, *Salvare il pianeta per salvare noi stessi*, Lu::ce edizioni, 2020.
- [19] N. Armaroli, V. Balzani, *Energy for a Sustainable World – From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 2011.
- [20] H. Jonas, *Il principio di responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*, Einaudi, Torino, 2002.
- [21] F. Olmi, *La sfida del secolo*, Aracne editrice, Roma, 2022.

La transizione energetica

Biocombustibili o decarbonizzazione?

Fabio Olmi

e-mail: fabio.olmi@gmail.com



Ho assistito alla trasmissione “Report” di RAI 3 del 26/12/22 e, a differenza delle inchieste sempre interessanti e ben documentate che affronta, sono rimasto sorpreso da quanto veniva veicolato in una parte di quel servizio. Si presentava la situazione del termovalorizzatore di Torino che, oltre all’eliminazione dell’ultima frazione dei residui per combustione, permette di ricavare energia elettrica e fornisce calore per

teleriscaldamento agli edifici attraverso una tubazione con cui sono connessi.

Si sosteneva, poi, l’esigenza di potenziare con decisione la produzione del biogas da parte di adatte aziende agricole (ad esempio, quelle di allevamento di maiali della val Padana) e si metteva in evidenza la positiva trasformazione di due raffinerie dell’ENI in bioraffinerie, con il risultato di un risparmio nell’importazione di gas naturale e petrolio. *In nessuno dei due esempi presentati ci si poneva il problema di una loro validità in funzione di uno sviluppo sostenibile.* Sembrava quasi che, sostituendo i combustibili fossili con i biocombustibili, si risolvesse il problema energetico del Paese.

Se può essere accettabile che, nella transizione ecologica, si proceda alla costruzione di termovalorizzatori (pochi) che producono energia elettrica utilizzando il calore ad alta temperatura e recuperano anche il calore di “scarico” a bassa temperatura per il riscaldamento degli ambienti e dell’acqua sanitaria delle abitazioni vicinali ad essi collegate (come avviene, ad esempio, in buona misura a Torino), *questa non può essere la soluzione per un futuro sostenibile.* Per quanto riguarda poi i biocombustibili, nel servizio non si faceva menzione del fatto che questi, pur essendo “bio” anziché fossili, quando bruciano per liberare la loro energia emettono immancabilmente CO₂, esattamente come i combustibili fossili, nonostante lo facciano in misura minore. Anche in questo caso siamo davanti a soluzioni che non riguardano un futuro sostenibile.

Nel servizio, inoltre, si lamentava che i fondi del PNRR dedicati a questi processi fossero esigui, meno di quanto è stato speso per il termovalorizzatore della città di Torino. Questo non costituisce, a mio avviso, una mancanza o poca attenzione al problema, ma suggerisce che il metodo non va stimolato perché non può portare alla necessaria decarbonizzazione.

Qui si tratta di cambiare il paradigma relativo all’impiego dell’energia primaria: *si deve passare da energia prevalentemente termica ad energia elettrica.* Sarebbe ora che si facesse chiarezza, anche nel nostro Paese, che non è con i biocombustibili che si risolve il problema della decarbonizzazione, perché in questo modo non si fa altro che allungare la vita ai combustibili e quindi ai motori a combustione interna, come i potenti interessi delle grandi compagnie petrolifere, ad

esempio l'ENI, spingono a fare. Sarebbe necessario, invece, imitare quanto già è stato fatto e si fa in Spagna, e soprattutto in Portogallo, dove, con decisione e con ottimi risultati, vengono potenziati sia il fotovoltaico¹ che l'eolico per produrre direttamente energia elettrica "pulita".

E qui entra in gioco il potere politico: se dal governo non partono decisi stimoli per promuovere le rinnovabili, il nostro Paese non riuscirà a raggiungere la produzione elettrica rinnovabile prevista dal PNRR per il 2030 e nemmeno quella prevista per il 2050.

Non per essere pessimisti, ma per guardare in faccia la realtà, si deve constatare che c'è da aspettarsi poco o nulla dall'esecutivo che è emerso nelle ultime elezioni e che si sta muovendo alacramente, come aveva fatto anche il precedente Governo, nel reperire gas da Paesi lontani e poco affidabili (costruendo anche nuovi impianti di degassificazione) e che ha deciso pure di avviare nuove perforazioni in Adriatico, come non fosse scientificamente noto da tempo, tra l'altro, che queste riserve di gas sono molto scarse e risolverebbero il problema del nostro fabbisogno solo per un breve periodo di tempo.

¹ In Portogallo, ad esempio, si sono sfruttati gli specchi d'acqua dei bacini di alcune centrali per collocare sulla loro superficie pannelli solari galleggianti.

Proposta didattica in tempi di transizione energetica: il crimine idrocarburico

Adriano Francescangeli

Sezione Accise - Ufficio Affari Generali DT VIII - Agenzia delle Dogane e dei Monopoli
e-mail: adriano.francescangeli@adm.gov.it

Abstract. Chemistry teaching is receiving many contributions aimed at raising students' awareness of our society's need for an energy transition.

This paper describes a phenomenon, hydrocarbon crime, which despite its relevance is scarcely known to the public and is often absent in debates on the transition to renewable sources. It also describes the socio-economic and environmental consequences of criminal infiltration in the supply and distribution of the hydrocarbons sector. Furthermore, it is emphasized that this epochal transition cannot be separated from a restoration of legality in the current context of the fossil fuel market.

This paper is written for chemistry teachers with the aim of offering tools to allow them to include the topic of hydrocarbon crime in class discussions about energy transition.

Keywords: combustibili fossili; transizione energetica; idrocarburi; inquinamento ambientale; didattica; legalità; salute pubblica

1. Introduzione

Il tema del passaggio dall'utilizzo dei combustibili fossili alle fonti rinnovabili è oggi su tutti i tavoli internazionali assieme alla necessità di reperire nuove risorse economiche, per favorire l'avvio di tale processo nei diversi comparti produttivi (ad esempio, industria, agricoltura, mobilità, ecc.). Si tratta di una vera e propria rivoluzione energetica urgente e complessa che richiede, da parte della società e per generazioni, una visione ampia e lungimirante che possa coniugare aspetti sociali, economici, ambientali e tecnologico-scientifici.

Tra le molteplici azioni necessarie per la realizzazione di questa transizione c'è quella di discuterne con insistenza e costanza nelle classi, per far sì che gli studenti diventino cittadini pienamente consapevoli della sua urgenza e contribuire così alla costruzione di un'ampia coscienza collettiva desiderosa di salvare l'ambiente e sé stessa [1].

La transizione comporterà, nel corso dei prossimi anni, scenari ibridi in cui, ad esempio, le batterie elettriche affiancheranno i combustibili fossili nei veicoli a motore [2, 3]. Le motivazioni per le quali tale sostituzione è energeticamente conveniente sono sinteticamente riconducibili ad una maggiore efficienza dei motori elettrici rispetto ai motori termici a fronte dell'eliminazione delle emissioni di gas serra [4].

Nel presentare questi scenari al pubblico, per spiegare la difficoltà di realizzazione della transizione da un punto di vista economico e sociale si sottolinea che [5, 6]:

1. gli idrocarburi costituiscono, ancora oggi, la principale fonte energetica nel mondo;
2. l'imposizione fiscale sugli idrocarburi costituisce una delle principali voci nel bilancio degli stati;
3. il mercato degli idrocarburi continua ad essere sostenuto da ingenti finanziamenti economici.

Questa informazione che arriva al pubblico può essere ulteriormente arricchita, in alcuni suoi aspetti peculiari, menzionando gli enormi interessi della criminalità nel campo degli idrocarburi.

La rilevanza di carattere globale e l'impatto sulla società del crimine idrocarburo sono tali da vanificare molti degli sforzi finalizzati al raggiungimento della transizione energetica.

L'insegnamento e lo studio della Chimica, sia a livello scolastico che universitario, attraverso mirati approfondimenti, possono diventare un'opportunità preziosa per comprendere l'attuale contesto energetico e immaginarne uno diverso.

L'articolo vuole offrire gli strumenti per presentare agli studenti di Chimica (e non solo) la rilevanza del crimine idrocarburo e delle sue conseguenze rendendo evidente la necessità di porre la legalità alla base del dibattito sulla transizione energetica.

2. Il crimine idrocarburo

Negli anni, le organizzazioni e i gruppi criminali hanno conquistato silenziosamente, in varie parti del mondo, larghe fette del mercato degli idrocarburi. Da qui l'espressione "crimine idrocarburo" per indicare l'insieme dei reati che coinvolgono i prodotti idrocarburo e le loro conseguenze di tipo sistemico [7, 8].

Per raggiungere i loro obiettivi, le organizzazioni e i gruppi criminali adottano diverse tipologie di azione, nei campi dell'approvvigionamento, della raffinazione e della distribuzione, modellate dalle specificità geoeconomiche di ciascuna regione nel mondo (Figura 1). Di seguito, se ne riportano alcune tra le più diffuse:

- contrabbando di oli minerali
- sequestro di petroliere
- furto di petrolio da oleodotti
- uso distorto di carburanti a tassazione agevolata
- adulterazioni di carburanti
- corruzione delle autorità governative (ad esempio, finalizzata al rilascio di licenze di trivellazione o alla distribuzione di carburanti di pessima qualità)
- frodi IVA (ad esempio, frodi carosello)
- smaltimento illecito di rifiuti idrocarburo

Nel mondo, azioni criminali nel campo degli idrocarburi possono esser commesse da organizzazioni terroristiche, mafiose, anche con il supporto dei cosiddetti colletti bianchi [7, 9 - 11].

Sul piano economico - sociale, le prime conseguenze che si registrano riguardano la riduzione delle entrate fiscali, con un conseguente impoverimento dei pubblici servizi (sanità, istruzione, etc.), e l'alterazione dei meccanismi di concorrenza con l'allontanamento dal mercato dei commercianti rispettosi delle normative.



Figura 1. La piovra rappresenta le organizzazioni criminali che allungano i loro tentacoli sul mercato degli idrocarburi

A lungo termine, il mercato sommerso dei combustibili fossili attiva un pericoloso circolo vizioso che favorisce e nutre la complicità illegale nel settore e la corruzione nella pubblica amministrazione.

Sul piano ambientale, le comunità locali, già penalizzate dai danni socio-economici, possono essere ulteriormente vittime dei crimini legati agli idrocarburi là dove questi producono una forte contaminazione. Ad esempio, la distribuzione di carburanti di bassa qualità è tra i principali responsabili della vasta diffusione di malattie dell'apparato cardiocircolatorio nelle popolazioni di alcuni paesi in via di sviluppo. Analogamente, gli sversamenti di oli minerali possono compromettere l'approvvigionamento di acqua potabile e minacciare le attività agricole e di pesca.

Infine, l'impatto del crimine idrocarburico sulla società è aggravato dalla capacità delle organizzazioni criminali di reinvestire i propri profitti in ulteriori attività illecite a forte impatto sociale: droga, tabacco e traffico di esseri umani [7, 9 - 11].

2.1 Un freno alla transizione energetica

Il passaggio dall'utilizzo dei combustibili fossili alle fonti rinnovabili è estremamente complesso. Necessita di importanti risorse economiche e anche del supporto attivo della politica, delle istituzioni e delle parti interessate per creare una coesione sociale attorno alla stessa idea di transizione.

Tale processo ha due obiettivi principali:

- a. eliminare la dipendenza dai combustibili fossili (decarbonizzazione);
- b. sviluppare mercati delle energie rinnovabili per soddisfare le richieste energetiche.

Per avere un'idea dell'impatto, anche solo economico, che il crimine idrocarburico può avere sul processo di transizione, è utile prendere in esame i dati sull'entità delle risorse economiche sottratte ai bilanci degli Stati.

La complessità del fenomeno, e la sovrapposizione delle tipologie di azioni fraudolente in gioco, rendono difficile l'elaborazione di una sintesi chiara e quantitativa del fenomeno. Tuttavia, in occasione del Forum organizzato dalle Nazioni Unite tenutosi il 6 e 7 settembre 2019 a Ginevra, l'organizzazione TRACIT (Transnational Alliance to Combat Illicit Trade) ha presentato un report [12] dal quale risulta che:

- secondo la African Development Bank, il traffico di olio minerale illecito in Africa è stimato avere un valore di circa 100 miliardi di dollari per anno;
- secondo il National Citizen Observatory, il traffico illegale di prodotti idrocarburici in Messico sembra corrispondere ad un valore che va dai 2 ai 4 miliardi di dollari/l'anno;
- in base a dati relativi al 2013, nella UE le perdite di introiti fiscali pare siano stati superiori ai 4 miliardi di dollari/anno.

Sempre a conferma della rilevanza dei dati, solo in Italia, la Guardia di Finanza nel 2017 ha calcolato in 6 miliardi di euro i mancati introiti per l'erario [11, 13] e nel 2019 il Procuratore di Trento, nel corso dell'audizione alla Camera dei Deputati, ha ipotizzato che un terzo dei carburanti per autotrazione alle stazioni di servizio possano avere un'origine illegale [14].

Sono cifre rilevanti, dello stesso ordine di grandezza degli investimenti che la UE ha messo in agenda per i prossimi anni al fine di realizzare la transizione energetica [15].

Sulla base di questi valori, sembra opportuno evidenziare come l'intero settore dei combustibili fossili necessiti della massima attenzione e trasparenza per rimanere quanto più possibile estraneo a fenomeni di infiltrazione della criminalità organizzata.

Con gli enormi interessi criminali nel settore degli idrocarburi in varie parti del mondo è molto difficile immaginare un processo di decarbonizzazione che non sia frenato o manipolato a svantaggio della collettività e dell'ambiente.

3. Il contesto scolastico/universitario

Nelle classi scolastiche e universitarie gli idrocarburi sono argomenti della Chimica già presenti nei programmi ministeriali anche per la loro importanza nei più svariati settori (farmaceutico, alimentare, tessile, ecc.).

L'argomento degli idrocarburi conduce in maniera consequenziale a riflettere sui temi dello spreco energetico [16], dell'inquinamento prodotto dalla combustione e della assoluta necessità di operare la transizione energetica. A riprova dell'interesse verso questi temi, le attività riportate in letteratura sono numerose. Nel corso di queste attività gli studenti oltre ad affinare la comprensione di determinati concetti di chimica, hanno anche modo di quantificare e confrontare i costi energetici e ambientali dei diversi tipi di combustibili.

Ad esempio, stechiometria e concetti di termodinamica sono adoperati per determinare la quantità di CO₂ prodotta da veicoli a motore [17, 18] e confrontare i carburanti idrocarburici con il biodiesel [19]. Berger e Jorgensen estendono ai veicoli elettrici questo tipo di attività didattica

[20]. Belt et al. riportano i risultati di un'attività in cui gli studenti, applicando concetti di termodinamica, cinetica ed elettrochimica, valutano le differenze (energetiche e ambientali) tra diversi impianti di produzione di energia proposti per alimentare una nuova città [21]. Più di recente, Ranjika e Bopegedera hanno sviluppato un'attività laboratoriale finalizzata a poter presentare agli studenti la gravità dell'inquinamento prodotto dalle centrali elettriche alimentate a carbone, a partire dalle misurazioni del calore di combustione di lignite, antracite e vari bitumi [22].

Inoltre, dalla letteratura emerge come a fronte della grande attenzione sul tema "energia", nonostante la vastità del problema, nelle classi non viene fatta menzione del crimine idrocarburico.

A tal proposito, la tabella che segue propone tre esempi di azioni attuate da organizzazioni o gruppi criminali i cui effetti ben si prestano a momenti di dialogo con gli studenti in relazione a specifici argomenti del programma di studio. Si tratta di azioni che hanno in comune la caratteristica di incidere pesantemente sull'ambiente e la salute umana perché comportano gravi e immediate forme di inquinamento atmosferico e/o del suolo e delle acque.

<i>Azione criminale</i>	<i>Conseguenze ambientali</i>	<i>Argomento di Chimica</i>
Corruzione delle autorità governative finalizzata alla vendita di carburanti di pessima qualità	Inquinamento atmosferico	<ul style="list-style-type: none">• IPA e particolato atmosferico di origine antropica• ossidi di zolfo e piogge acide
<ul style="list-style-type: none">• Furto di oli minerali da oleodotti• Smaltimento illecito di rifiuti idrocarburici	Inquinamento suolo/acque	<ul style="list-style-type: none">• polarità e apolarità degli idrocarburi• tossicità e cancerogenicità degli idrocarburi

Tabella. Argomenti di Chimica che si prestano a evidenziare le conseguenze ambientali che scaturiscono da specifiche azioni criminali

3.1 Inquinamento atmosferico

In relazione al diretto inquinamento atmosferico, per quel che attiene alle frodi legate alla vendita di carburanti, la tabella riportata offre utili spunti in merito alla trattazione dei seguenti argomenti:

- ossidi di zolfo (SO_x), diffusione in atmosfera e loro contributo alle piogge acide (chimica generale/reazioni redox)
- idrocarburi policiclici aromatici (IPA) come componenti del particolato atmosferico di origine antropica (chimica organica/chimica analitica)

Quelli sopra indicati (SO_x e IPA) sono argomenti già oggi largamente affrontati nei corsi di Chimica di livello scolastico e universitario, in termini di definizione, danni per la salute umana e l'ambiente e, spesso, di determinazioni qualitative e/o quantitative. Inoltre, sono anche utili ad introdurre i vantaggi della transizione energetica. La riduzione delle piogge acide e l'abbattimento del particolato atmosferico prodotti dal traffico dei veicoli sono ampiamente dimostrati essere a vantaggio della salute delle popolazioni urbane e dell'ambiente [23 - 27].

Tuttavia, forti interessi criminali nella vendita di carburanti di scarsa qualità per i motori contrastano l'efficace abbattimento dei tenori di SO_2 (Figura 2) e IPA (Figura 3) nell'atmosfera a livello globale.

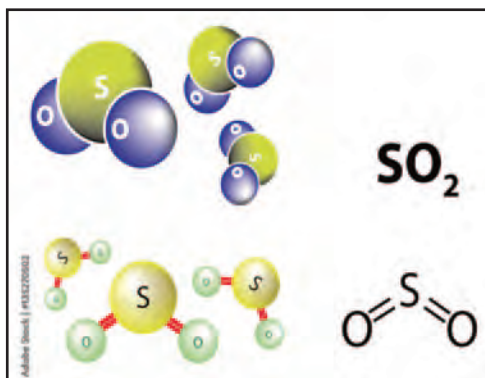


Figura 2. Formula chimica e modello molecolare del diossido di zolfo

Nel 2016, importanti investigazioni giornalistiche hanno portato alla luce enormi traffici di carburanti di pessima qualità dalla UE verso numerosi paesi africani. Si tratta di carburanti con altissimi tenori di zolfo e di composti aromatici che nella UE, sulla base delle normative vigenti, non potrebbero trovare impiego.

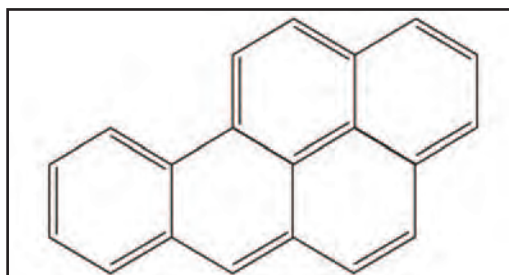


Figura 3. La molecola di benzo[a]pirene, esempio di IPA, con la caratteristica struttura ad anelli aromatici condensati

In numerosi paesi africani, nonostante le pressioni degli organismi internazionali, l'evolversi delle normative relative alla qualità dei carburanti per autotrazione è stato ostacolato da sodalizi criminali che hanno avuto, sui governi locali, un'influenza più forte degli organismi internazionali.

Questo spiega, ad esempio, perché le normative di questi stati africani possono indicare per la benzina un valore limite di 1000 ppm di zolfo e di 5 % v/v di benzene [28 - 31], a fronte dei limiti massimi previsti dalla normativa UE di 10 ppm di zolfo e 1% v/v di benzene [32].

Inoltre, dalla stessa fonte, è emerso che gli autori di questi crimini approfittano della natura liquida dei carburanti per smaltire prodotti di scarto dell'industria chimica europea, attraverso operazioni di mescolamento clandestine, con accertate gravi conseguenze cardiorespiratorie per le popolazioni [28 - 31].

3.2 Inquinamento suolo/acque

In relazione al diretto inquinamento del suolo e delle acque, per quel che attiene le frodi legate all'approvvigionamento o allo smaltimento illecito dei prodotti, come indicato nella tabella riportata, utili spunti sono offerti dalla descrizione più o meno approfondita delle seguenti proprietà degli idrocarburi:

- polarità/apolarità della loro molecola
- tossicità e cancerogenicità

Questi stessi argomenti sono sovente richiamati all'attenzione degli studenti quando, in classe, ci si ritrova a commentare gravi e improvvisi disastri ambientali riportati dai mass media a seguito di incidenti, ad esempio, di navi petroliere.

Da una ricerca condotta sul web non emergono casi in cui queste peculiarità degli idrocarburi vengano associate ai crimini idrocarburici. Eppure, purtroppo, le opportunità per sensibilizzare gli studenti su questo tema non mancano.

Un semplice esempio è rappresentato dagli sversamenti di olio minerale nel suolo o nelle acque a seguito dei tentativi di furti da oleodotti. Si tratta di un fenomeno che interessa da tempo ampie regioni della Nigeria, del Messico e della Russia. In Nigeria l'ecosistema del fiume Niger, principale fiume dell'Africa occidentale, è stato fortemente compromesso dalle continue perdite degli oleodotti dovute a tentativi di furti e sabotaggi. Come conseguenza dell'inquinamento, l'importante attività di pesca che sosteneva le popolazioni locali è cessata, al punto che già nel 2010 la Nigeria è stata costretta a spendere ingenti somme per l'acquisto di pesce surgelato così da compensare la mancata possibilità di pesca nel fiume [7].

Il fenomeno dei furti operati su oleodotti esiste anche nell'UE (rapporto Concawe, 2021) [33]. In Italia, gli oleodotti situati nella Pianura Padana e l'oleodotto che trasporta carburante aeronautico, dal porto di Civitavecchia all'aeroporto di Fiumicino, sono costantemente presi di mira da gruppi criminali. Dal 2014 al 2015 gli attacchi ai gasdotti in tutta Italia sono passati da 10 all'anno a 160 [13, 34]. A causa dei falliti tentativi di furto dall'oleodotto che serve l'aeroporto di Fiumicino, nel solo 2014 sono state immesse nei sistemi fluviali locali 30 tonnellate di carburante e nel 2018 è scoppiato un grande incendio nella stessa area [35, 36].

4. Conclusioni

Per avviare e realizzare il passaggio dai combustibili fossili alle fonti rinnovabili serviranno ingenti risorse economiche. La loro corretta gestione sarà strategica per una società che sia compatta attorno all'idea della transizione energetica.

La Scuola e l'Università avranno un ruolo cruciale nel sensibilizzare i giovani al processo. Lo studio della Chimica è strumento privilegiato per avviare momenti di riflessione sulla necessità della transizione e sul contributo che essa stessa può offrire.

A partire da una breve presentazione del crimine idrocarburico come fenomeno internazionale molto diffuso anche in Italia, si suggeriscono alcuni strumenti utili a trasmettere agli studenti la consapevolezza che il percorso della transizione debba legarsi al concetto di salute e ad un diffuso concetto di legalità anche nell'attuale settore energetico, riscoprendoli come condizioni necessarie per riequilibrare il rapporto tra economia, società e ambiente.

Nota: Le opinioni espresse dall'autore sono strettamente personali. Il presente lavoro non è in alcun modo attribuibile e/o riconducibile all'Agenzia delle Dogane e dei Monopoli e l'indicazione per l'autore del ruolo di funzionario dell'Agenzia è fornita ai soli fini curriculari.

Riferimenti (ultimo accesso ai link: ottobre 2022)

- [1] M. Venturi, *La Chimica nella Scuola* 2021, **5**, 3.
- [2] International Energy Agency (IEA), *The oil and gas industry in energy transitions – Report 2020* (<https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>).
- [3] European Commission, *A European Green Deal* (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en).
- [4] Gruppo Energia per l'Italia, *La Chimica nella Scuola* 2022, **2**, 5–13.
- [5] V. Balzani, *La chimica e l'industria newsletter*, 2018, **5** (7), 4–20.
- [6] J. Timperley, *Nature*, 2021, **598**, 403–405.
- [7] I.M. Ralby, *Downstream oil theft: Global Modalities, Trends and Remedies. Atlantic Council*, 2017 (<https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/downstream-oil-theft/>).
- [8] J. Sheptycki, *Is Green Criminology Paradigm-Breaking? Some Reflections on Hydrocarbon and Resource Extraction, Crime and Criminological Thinking, in Environmental Crime in Transnational Context*, Routledge Editor, 2016, 83–98.
- [9] I.M. Ralby, *Downstream oil theft: implications and next steps. Atlantic Council*, 2017 (<https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/downstream-oil-theft-implications-and-next-steps/>).
- [10] I. M. Ralby, D. Soud, *Oil on the Water: Illicit Hydrocarbons Activity in the Maritime Domain. Atlantic Council*, 2018 (<https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/oil-on-the-water-illicit-hydrocarbons-activity-in-the-maritime-domain/>).
- [11] RAI, *Nero come il petrolio*, novembre 19, 2018 (<https://www.raiplay.it/video/2018/11/Report-173c1233-2169-496b-958b-cff32ddf7964.html>).
- [12] Tracit.org, *Mapping the impact of illicit trade on the sustainable development goals* (https://unctad.org/system/files/non-official-document/DITC2019_TRACIT_IllicitTrade-andSDGs_fullreport_en.pdf).
- [13] RAI, *I Vampiri*, 10 giugno 10, 2019 (<https://www.raiplay.it/video/2019/06/Report-a0334154-034c-4f5d-%20%20acf1-b8bc6b4a77e6.html>).
- [14] S. Raimondi, *Audizioni su settore distribuzione carburanti in Commissione Attività produttive, Camera dei Deputati*, novembre 5, 2019 (<https://webtv.camera.it/evento/15335>).
- [15] European Council, *How is the EU financing the transition to climate neutrality?* (<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/financing-climate-transition/>).
- [16] P. Mahaffy, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2004, **5**(3), 229–245.
- [17] G. Pinto, M. T. Oliver-Hoyo, *J. Chem. Educ.*, 2008, **85**(2), 218.
- [18] R. S. Treptow, *J. Chem. Educ.*, 2010, **87**(7), 679.
- [19] A. H. R. MacArthur, C. L. Copper, *J. Chem. Educ.*, 2009, **86**(9), 1049.
- [20] D. J. Berger, A. D. Jorgensen, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92**(7), 1204–1208.
- [21] S. T. Belt, M. J. Leisvik, A. J. Hyde, T. L. Overton, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2005, **6**(3), 166–179.
- [22] A. M. Ranjika, P. Bopagedera, *J. Chem. Educ.*, 2023, **100**(1), 298–305.
- [23] N. A. Mailloux, et al., *GeoHealth*, 2022, **6**(5), e2022GH000603 (<https://doi.org/10.1029/2022gh000603>).
- [24] *Getting to the Heart of the (Particulate) Matter* (<https://climate.nasa.gov/news/3027/getting-to-the-heart-of-the-particulate-matter/>).

- [25] H.M. Seip, F. Menz, *Air Pollution as a Climate Forcing: A Workshop*, NASA Goddard Institute for Space Studies, Hawaii, April 29-May 3, 2002.
- [26] EPA, *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)* (<https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>).
- [27] P. Grennfelt et al., *Ambio*, 2020, **49**, 849–864.
- [28] Public Eye, *Dirty Diesel: How Swiss Traders Flood Africa with Toxic Fuels*, 2016 (https://www.publiceye.ch/fileadmin/doc/Rohstoffe/2016_PublicEye_Dirty_Diesel_Report.pdf).
- [29] M. Yoboué, J. Kaufman, *BHRJ*, 2018, **3**(2), 291–297.
- [30] C. M. Alvarez et al., *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, **17**, 9151.
- [31] UNEP, *ECOWAS countries to develop harmonized fuel and vehicle emission standards Abidjan, Cote d'Ivoire*, (<https://www.unep.org/news-and-stories/blogpost/ecowas-countries-develop-harmonized-fuel-and-vehicle-emission-standards>).
- [32] Direttiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, aprile 23, 2009.
- [33] ConcaWE Report no. 6/22 (<https://www.concawe.eu/publication/performance-of-european-cross-country-oil-pipelines-4/>).
- [34] RAI, *Petrolio Illegale*, 7 ottobre 7, 2017 (<https://www.raiplay.it/video/2017/10/Petrolio-illegale---07102017-0d54fc0f-1d00-4378-841b-1843b3be324e.html?q=petrolio+illegale>).
- [35] RAI, *Furto di carburante dall'oleodotto a Fiumicino. Disastro ecologico dopo gli sversamenti*, 11 novembre 11, 2014 (<https://www.rainews.it/dl/rainews/media/furto-di-carburante-dall-oleodotto-a-fiumicino-disastro-ecologico-dopo-gli-sversamenti-video-129e54e5-40f7-4661-bdc0-32c8779e3ae7.html>).
- [36] R. Frignani, Roma, ladri assaltano l'oleodotto «Adesso c'è il rischio inquinamento», *Corriere della Sera*, dicembre 3, 2018 (https://roma.corriere.it/notizie/cronaca/18_dicembre_03/ladri-assaltano-l-oleodotto-rischio-inquinamento-c662669a-f668-11e8-a530-53c8d5a0f267.shtml).

La meta-riflessione al servizio della didattica universitaria: l'esempio della Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre"

Elena Ghibaudi

Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino

e-mail: elena.ghibaudi@unito.it

Mariano Venanzi

Dipartimento di Chimica e Tecnologie Chimiche dell'Università Roma-Tor Vergata

e-mail: venanzi@uniroma2.it

L'indagine storica della scienza è indispensabile, se non si vuole che i principi che la scienza abbraccia degenerino a poco a poco in un sistema di prescrizioni capite solo a metà, o addirittura in un sistema di dogmi
E. Mach, La meccanica nel suo sviluppo storico, 1883

Abstract. The innovation of teaching practices and the improvement of the quality of chemistry teaching, at any learning level, including university, implies reflection and research activities. The meta-reflection on chemistry makes it possible to analyze the logical processes, the cognitive practices, and the conceptual evolution of disciplinary knowledge, helping to clarify the structure and identity of chemistry. The "Ulderico Segre" School of Educational Research and Chemistry Didactics organized by the Division of Chemical education proposes itself annually as a discussion place between university professors and school teachers, aimed at deepening the foundational chemical concepts and at fostering meta-reflection on chemistry.

Keywords: ricerca didattica; concetti fondanti; meta-riflessione; formazione docenti

1. Qualità della didattica e innovazione

La qualità della didattica e l'innovazione della prassi didattica in ambito universitario stanno acquisendo, in questi ultimi anni, sempre maggior rilievo. Molti atenei italiani hanno dato vita a iniziative di formazione allo scopo di rendere i docenti più consapevoli delle questioni in gioco nell'azione didattica e degli strumenti disponibili per affrontarle. Trattandosi di percorsi rivolti all'intero corpo docente, essi hanno assunto usualmente un carattere generalista, lasciando a la-

tere le problematiche specifiche delle didattiche disciplinari, che restano dunque largamente scoperte.

Negli ultimi anni si è poi ampiamente dibattuto di innovazione tecnologica in campo didattico come conseguenza dell'esteso ricorso agli strumenti informatici per l'insegnamento reso necessario dall'epidemia di Covid-19. Ciò ha comportato un indubbio ampliamento delle possibilità di interazione tra studenti e docenti e sta contribuendo – nel bene e nel male – a modificare il modo di *pensare la lezione universitaria*, ancora troppo legata a prassi trasmissive e a modelli di apprendimento che non stimolano la partecipazione attiva del discente e lo sviluppo del pensiero critico¹.

Tali iniziative hanno il merito di tenere viva l'attenzione sulle problematiche dell'insegnamento, ma lasciano aperto il problema dell'innovazione delle *didattiche disciplinari*. *L'innovazione, per essere realmente tale, deve scaturire da attività di riflessione e di ricerca*: le didattiche disciplinari non fanno eccezione a questa regola. La ricerca didattica disciplinare in chimica è uno spazio complesso, nel quale si intrecciano tematiche di natura epistemologica, storica, pedagogica e didattica al fine di sviluppare una meta-riflessione sulla struttura del sapere chimico, la natura delle sue leggi, l'origine e l'evoluzione dei concetti fondanti della chimica, unitamente a considerazioni sulla trasposizione didattica di tali saperi e sulla costruzione di percorsi di apprendimento coerenti con il livello di maturazione cognitiva dei discenti. È evidente che la *postura di ricerca* di coloro che si dedicano allo sviluppo di questi temi è diversa da quella del ricercatore impegnato a sviluppare sapere chimico sul campo: quest'ultimo si posiziona *dentro* la disciplina e ne utilizza gli strumenti per produrre nuovo sapere e formulare nuovi interrogativi di ricerca. Viceversa, la meta-riflessione impone uno sguardo *dal di fuori* sulla disciplina, in quanto solo ponendo una distanza tra sé e la disciplina stessa diviene possibile analizzare i processi logici, le prassi conoscitive, l'evoluzione concettuale del sapere disciplinare. Non si tratta di un esercizio fine a sé stesso, in quanto esso contribuisce alla conoscenza della propria disciplina come espressione culturale e impresa intellettuale e umana e consente di precisare lo statuto del sapere chimico. Inoltre, si tratta di una prospettiva indispensabile al docente di qualsiasi livello formativo se, come ci ricorda Sibel Erduran “*only when teachers are familiar with how knowledge growth occurs in chemistry will they be able to translate chemical knowledge into teachable scenarios where learners' acquisition of this knowledge is scaffolded*” [1].

La meta-riflessione è dunque un'attività finalizzata ad assistere il docente nel promuovere un apprendimento disciplinare mirato alla comprensione. È precisamente in questa prospettiva che si collocano le iniziative di formazione promosse dalla Divisione di Didattica della SCI.

In questa sede desideriamo riferirci in particolare alla *Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica “Ulderico Segre”*, che ha ormai raggiunto il suo quattordicesimo anno di età (<https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/scuoladididattica>).

2. La Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica “Ulderico Segre”

La scuola Segre si propone di stimolare l'interesse verso la ricerca educativa come strumento per (a) affrontare in modo efficace i problemi di insegnamento/apprendimento a livello universitario; (b) sensibilizzare i docenti, attuali e futuri, alle problematiche relative al processo di in-

¹ Si potrebbe discutere se l'innovazione tecnologica non comporti, in alcuni casi, un passo indietro sul piano didattico in quanto potrebbe sottintendere modelli di apprendimento (ad es. quello comportamentista) largamente superati.

segnamento/apprendimento della chimica nella scuola e nell'università; (c) proporre strategie didattiche che favoriscano il coinvolgimento attivo degli studenti.

Negli ultimi anni questi obiettivi hanno assunto rilevanza ancora maggiore a causa dell'introduzione di corsi di Didattica della Chimica nei piani di studio di diverse sedi universitarie italiane. Dunque, la Scuola Segre si propone come luogo di confronto e di discussione tra docenti universitari (in particolare, ma non esclusivamente, quelli coinvolti nei corsi curriculari di Didattica Chimica) sul sapere chimico inteso come corpus organico di conoscenze. È, inoltre, incoraggiata la partecipazione di docenti della scuola secondaria allo scopo di favorire la continuità didattica fra scuola e università.

L'obiettivo di lungo termine di iniziative come la Scuola Segre è quello di superare un modello di apprendimento (sia specialistico che scolastico) assiomatico, dogmatico e aproblematico, che consegna al discente un sapere statico, astorico e non contestualizzato. Si vuole cioè superare un problema che Luigi Cerruti, citando Bachelard, esprimeva in termini molto chiari: "Per un eccesso di filosofia realista la didattica consegna agli allievi nozioni così nettamente delineate da privarle di ogni (necessaria) *nuance*, e ne risulta un "*enseignement par les uniques résultats*, enseignement qui nous prive de la conscience des problèmes et du déroulement historique de leurs difficiles solutions" [2].

3. L'edizione 2022 della Scuola Segre

L'edizione 2022 della Scuola Segre ha avuto per tema: *Osservabili e modelli nella didattica dell'elettrochimica*, e si è svolta on line nel corso di 6 sessioni pomeridiane nel periodo compreso tra il 16 e il 25 novembre 2022.

L'insegnamento dell'elettrochimica è parte integrante di corsi universitari di base dove vengono introdotti gli equilibri redox e le loro applicazioni (celle galvaniche ed elettrolitiche), mentre l'elettrochimica analitica e preparativa e i fenomeni di trasferimento elettronico sono generalmente trattati in corsi più avanzati. La ricerca didattica evidenzia numerosi problemi relativi alla comprensione dei concetti e dei modelli di base dei fenomeni elettrochimici, problemi che inevitabilmente si riverberano sugli apprendimenti più avanzati. Obiettivo di questa edizione della scuola era esaminare e discutere alcune problematiche relative alla didattica dei fenomeni redox e delle loro applicazioni, prestando particolare attenzione alla trattazione didattica dei loro aspetti modellistici. Ampi momenti di discussione plenaria hanno fatto seguito ad un numero limitato di relazioni da parte di esperti, al fine di mettere a fuoco aspetti storici, epistemologici, concettuali e didattici.

Nel pomeriggio di apertura si è voluto dare una panoramica sul tema, coniugando presente e passato, senza dimenticare le sfide sul piano didattico. Catia Arbizzani dell'Università di Bologna ha infatti proposto una relazione sulle applicazioni più avanzate della ricerca in campo elettrochimico, ponendole in relazione con la transizione energetica. Luigi Fabbrizzi dell'Università di Pavia ha ripercorso la storia dell'invenzione della pila di Alessandro Volta e ha discusso le reazioni del mondo scientifico (e non solo) alla scoperta che l'elettricità potesse essere generata da uno strumento semplice e facile da costruire (Figura 1). Infine, Georgios Tsaparlis dell'Università di Ioannina (Grecia) ha parlato dell'utilità dell'approccio didattico noto come PCK (Pedagogic Content Knowledge) per favorire la comprensione della equazione di Nernst.

La seconda sessione, a cura di Antonio Testoni ed Eleonora Aquilini, entrambi membri del CIDI e di DD-SCI, è stata dedicata alla discussione di alcuni aspetti storici. È stata ripercorsa la storia dell'elettrone, dapprima come unità di elettricità e poi come corpuscolo, mostrando gli in-

trecci tra elettrochimica, processi elettrolitici e modelli atomici. In particolare, è stato mostrato come l'elettrone *elettrochimico* di Stoney-Helmholtz e l'*elettrone atomico* di Thomson, inizialmente concepiti come entità distinte, siano poi divenuti la stessa cosa. È stata, inoltre, discussa la rilevanza del contributo di Faraday (1834) sui processi elettrolitici per chiarire la natura dell'elettricità, fino a quel momento ritenuta un fluido, e il contributo offerto da Arrhenius (1884) con la teoria della dissociazione elettrolitica. Sul finire dell'Ottocento, i concetti di *carica unitaria*, *elettrone*, *ione* (inteso come *atomo di materia con la sua carica*) vennero a far parte del linguaggio scientifico comune. L'elettrone di Stoney assunse poi un significato profondamente diverso con Thomson (1897-1899) e lo sviluppo dei modelli atomici, che consentirono di offrire nuove interpretazioni dei processi che avvengono in una cella elettrochimica.



Figura 1. La pila di Volta (1799) (versione Rame/Zinco) in esposizione presso il Tempio Voltiano, Como

La terza sessione, a cura di Giovanni Villani (CNR-Pisa) ed Elena Ghibaudi (Università di Torino) ha privilegiato gli aspetti di natura epistemologica. In particolare, sono stati discussi i quattro modelli utilizzati per interpretare i processi redox e le relazioni esistenti tra questi modelli. È stato sottolineato come ogni modello sia portatore di una diversa e peculiare definizione di processo redox e di criteri per riconoscere questi processi, distinguendoli da quelli non redox. È stata discussa la distinzione tra i concetti di numero e stato di ossidazione, anche in relazione alla visione quantistica del mondo subatomico. Infine, l'analisi di alcuni testi di chimica generale e di chimica organica ha evidenziato come sia invalso l'utilizzo simultaneo di modelli diversi all'interno dello stesso testo (o talvolta dello stesso paragrafo): la mancata esplicitazione del modello utilizzato e la mancata discussione della sua natura di modello può generare confusione e considerevoli problemi di apprendimento.

La strutturazione dell'insegnamento dell'elettrochimica in un corso universitario di base è stata oggetto dell'intervento di Margherita Venturi (Università di Bologna) e Luigi Fabbrizzi (Università di Pavia), protagonisti della quarta sessione della scuola. I due relatori hanno trattato

varie problematiche di rilevanza didattica, in riferimento ai concetti in gioco nell'elettrochimica (i numeri di ossidazione sono un puro artificio per bilanciare un'equazione chimica redox o hanno un riscontro fisico?), alla terminologia potenzialmente fuorviante (ossidante è la specie che si riduce, riducente è la specie che si ossida) e all'opportunità di connettere la trattazione dei processi redox (come tipologia di trasformazione chimica che implica un trasferimento elettronico) nei corsi di chimica generale con il loro utilizzo, ad es., nelle celle elettrochimiche, raggruppando questi argomenti in un'unica sezione del corso.

Nella quinta sessione della scuola, Paola Ambrogi (DD-SCI), insegnante nella scuola secondaria di II grado, ha commentato le indicazioni ministeriali inerenti all'elettrochimica e ha presentato materiali sviluppati da INDIRE per la formazione dei docenti. Ugo Cosentino (Università di Milano-Bicocca) e Mariano Venanzi (Università di Roma "Tor Vergata") ci hanno guidato attraverso l'evoluzione del concetto di elettrone, mostrando come i suoi modelli si siano storicamente evoluti in funzione delle osservabili (Figura 2).

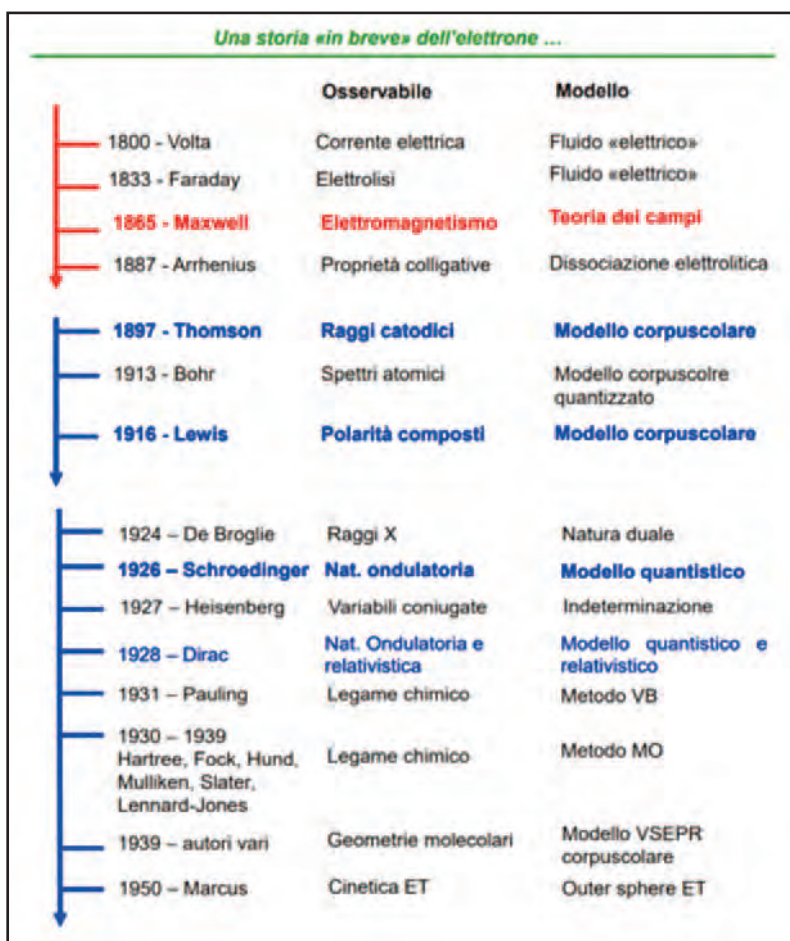


Figura 2. Osservabili e modelli nella storia del concetto di elettrone

In particolare, i due relatori hanno discusso le potenziali incongruenze derivanti dall'utilizzo contemporaneo di descrizioni corpuscolari e quantistiche, qualora il carattere modellistico di tali rappresentazioni non venga esplicitato. In ambito elettrochimico, questo passaggio avviene in modo netto quando si passa dal trattare i processi redox nel contesto delle celle galvaniche/elettrochimiche (descrizione corpuscolare dell'elettrode) alla descrizione cinetica dei fenomeni di trasferimento elettronico (teoria di Marcus e modello quantistico dell'elettrode). Ma una situazione non dissimile si sperimenta nella trattazione del legame chimico, nel passaggio dal modello di Lewis alle teorie VB e MO. I due relatori ci hanno ricordato che "A livello didattico, il passaggio senza soluzione di continuità da un modello rappresentativo all'altro può costituire un ostacolo cognitivo, o comunque un fattore di disorientamento per uno studente che si affaccia allo studio della Chimica. Occorre sempre dichiarare *le regole del gioco*, esplicitando il modello che viene utilizzato e contestualizzandone i limiti di applicabilità".

La scuola si è chiusa con gli interventi di Eleonora Aquilini e Margherita Venturi, che hanno provveduto a tirare le fila delle diverse sessioni di lavori, evidenziando le problematiche emerse, le soluzioni condivise e le questioni ancora aperte. Tutte le presentazioni della scuola sono disponibili a questo URL: <https://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/Segre2022>.

4. Conclusioni

Una caratteristica peculiare di questa edizione della scuola è stato l'ampio spazio dedicato alla discussione: in ogni sessione, dopo l'intervento introduttivo da parte dei relatori, la parola è passata ai partecipanti che sono stati invitati a formulare domande, proporre il loro punto di vista, esporre perplessità, ecc. Questa scelta ha permesso di mettere in luce numerose questioni irrisolte, riguardanti gli aspetti concettuali, le prassi didattiche, le scelte dei contenuti da proporre ai diversi livelli formativi, relativamente all'elettrochimica. Ciò ha confermato l'utilità e la rilevanza della meta-riflessione e del confronto tra pari, all'interno di quella *comunità di pratiche* che è la comunità dei chimici.

Nel complesso, ci sembra di poter far nostra l'osservazione di Sibel Erduran riguardo alla necessità che un insegnante – a qualunque livello formativo si trovi ad operare – sia consapevole della natura, dell'origine e dell'evoluzione storica del sapere che insegna. Ciò è tanto più urgente se applicato al personale che si sta formando alla docenza: "For chemistry teaching to be effective, prospective teachers will need to be educated about how knowledge is structured in the discipline that they are teaching. Practice and theory of future teacher education, then, will need to be informed by and about philosophy of chemistry" [3].

Riferimenti

- [1] S. Erduran, A.C.A. Bravo, R.C.M. Naaman, Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education, *Science & Education*, 2007, 16, 975-989, DOI 10.1007/s11191-006-9072-4.
- [2] G. Bachelard, *Le matérialisme rationnel*, Vrin, Paris, 1972, p. 118, cit. da L. Cerruti, Prima dell'incontro: l'ostacolo epistemologico, in AA.VV., *Bachelard e le 'provocazioni' della materia*, Il melangolo, Genova, 2012, pp.81-92.
- [3] S. Erduran, Beyond philosophical confusion: establishing the role of philosophy of chemistry in chemical education research, *J. Baltic Sci. Educ.*, 2009, 8, 5-14.

Biomonitoraggio e determinazione delle emissioni inquinanti di NO_x tramite licheni

Daniele Bellocchi, Giuseppe Battellocchi, Chiara Monachino, Stefanella Nardini, Elena Guidobaldi, Antonella Baiocchi, Luciana Billi

Istituto Omnicomprensivo “Leonardo da Vinci” di Acquapendente (VT)

e-mail: daniele.bellocchi@gmail.com

Elisa Caprasecca, Gianluca Forti

Museo del fiore di Acquapendente (VT)

Antonella Lisi

L'Ape Regina Coop. di Acquapendente (VT)

Abstract. Lichen diversity is a good indicator of air quality and health risk and there is a strong correlation between lichen diversity and lung disease like cancer and asthma. Biological monitoring by means of lichens is a very suitable tool to assess and monitor air pollution and it has been adopted in several surveys in Italy in the last 30 years. In our school, we try to implement the traditional air pollution monitoring with an innovative – self made - analysis that is based on Kjeldahl method of nitrogen analysis for the determination of total nitrogen uptake by *Evernia prunastri* to quantify the air pollution.

The aim of this work is to assess the nitrogen oxides (NO_x) pollution in the territory of Acquapendente and to give a boost to the municipal administration and scientific community's efforts to permanently use lichens as bioindicators and bioaccumulators in territory of north Tuscya.

Keywords: bioindicatori; bioaccumulatori; licheni; inquinamento dell'aria; biodiversità, ossidi di azoto

1. IL PROGETTO “EVERNIA”: un contributo di ricerca scientifica degli studenti di chimica al servizio dell'ambiente e del territorio

1.1 Premessa

Il presente lavoro nasce da un progetto di alternanza scuola-lavoro dell'ITT Chimico di Acquapendente, il progetto “Evernia”, iniziato con le classi quinte del triennio di specializzazione nell'a. s. 2017-2018, interrotto nel 2019-2020 causa emergenza COVID e finalmente ripreso nell'a. s. 2020-2021. Nell'articolazione “biotecnologie ambientali” del nostro Istituto chimico, da sempre vengono identificate, acquisite e approfondite le competenze relative al controllo di processi ambientali e alle relative problematiche di protezione ambientale, specialmente riferite all'impatto degli impianti e alle relative emissioni inquinanti sul territorio aquesiano. Nella nostra programmazione curricolare di indirizzo, congegnata in maniera tale da sviluppare unità di apprendimento e favorire percorsi di alternanza scuola/lavoro, cerchiamo da sempre di integrare

le conoscenze di chimica, biologia, microbiologia ed ecologia, per fornire i nostri studenti di competenze specifiche nell'analisi e controllo di matrici ambientali in relazione alle esigenze del nostro territorio, in simbiosi con la Riserva Naturale di Monte Rufeno, 2893 ettari di profondo verde in posizione nord-nord-est del territorio aquesiano.

Considerato questo contesto di riferimento, per il nostro Istituto è stato naturale, nel tempo, sviluppare competenze nel settore della prevenzione/gestione di situazioni a rischio ambientale derivanti da impianti e dalle relative emissioni inquinanti. È così che, contestualmente a percorsi di PCTO, è andato a regime un sistema di campionamento e analisi delle matrici ambientali acqua, suolo e aria rispettivamente nelle classi terze, quarte e quinte del triennio d'indirizzo.

A questo proposito, il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico è una delle problematiche più complesse nel campo della salvaguardia ambientale e, al tempo stesso, rappresenta uno strumento indispensabile per la formulazione e l'attuazione di politiche di controllo sul territorio, destinate a promuovere lo sviluppo sostenibile e la salute dei cittadini. In tal senso si intende potenziare l'offerta formativa del nostro Istituto con progetti di biomonitoraggio per la determinazione selettiva degli ossidi di azoto (NO_x). Questo consentirà di ampliare e sviluppare una completa didattica dell'analisi strumentale e, soprattutto, di completare la piattaforma web "Scuola.Lab" [1] con i dati chimici dell'aria e con i dati dell'inquinamento da ossidi di azoto ottenuti attraverso biomonitoraggio lichenico. I risultati di questo lavoro consentiranno di tenere sotto controllo lo stato di salute del territorio e quindi del patrimonio ambientale. Ad essi verrà data ampia diffusione per favorire un'informazione consapevole e capillare della popolazione attraverso la creazione di uno sportello web sulla piattaforma, gestito direttamente dagli studenti dell'Istituto coadiuvati dai docenti.

1.2 Struttura del progetto

Il progetto "Evernia" si articola nelle seguenti fasi che hanno richiesto un totale di 43 ore:

1. lezione introduttiva sui licheni, le loro caratteristiche morfologiche e le loro suddivisioni; spiegazione di come le briofite possano essere utilizzate in base alle loro caratteristiche fisiologiche come bioaccumulatori e bioindicatori; introduzione alle metodiche di campionamento, chiavi analitiche riconoscimento licheni; spiegazione sulle modalità di campionamento dei talli lichenici per il bioaccumulo
2. lezioni preparatorie di laboratorio sul riconoscimento morfologico delle specie licheniche e sulla determinazione dell'azoto attraverso il metodo di Kjeldahl
3. individuazione dei siti idonei (stazioni 1-6) per il posizionamento del materiale lichenico
4. raccolta di 7 campioni di *Evernia prunastri* in una zona con alta naturalità (Museo del fiore, frazione Torre Alfina) e immediata determinazione su uno di essi dell'azoto di riferimento (bianco di controllo); gli altri 6 talli verranno collocati nelle 6 stazioni di rilevamento
5. preparazione di trappole licheniche ("lichen bags") a peso noto di materiale
6. posizionamento, in ognuna delle 6 stazioni precedentemente individuate, di un campione lichenico ("bag") a partire da novembre 2017
7. prelievo di una parte del campione dopo tre mesi (febbraio 2018) e successivo prelievo della parte restante dopo altri tre mesi (maggio 2018)
8. contemporaneamente *in loco*, rilievo della frequenza lichenica (IBL) nelle varie stazioni; lo scopo è quello di osservare se la ricaduta di inquinanti, dovuta ad esempio all'elevato traffico veicolare, può interferire con la quantità di specie licheniche presenti sui tronchi degli alberi
9. preparazione dei campioni in laboratorio (disidratazione, omogeneizzazione)

10. determinazione del bioaccumulo degli ossidi di azoto (NO_x) attraverso una metodica analitica sviluppata all'interno del nostro Laboratorio dell'ITT Chimico di Acquapendente
11. analisi dei risultati

1.3 L'inquinamento atmosferico da ossidi di azoto [2]

In virtù dei suoi possibili stati di ossidazione l'azoto forma ben sette ossidi e, tra questi, NO e NO_2 costituiscono la stragrande maggioranza dei così detti NO_x (90% circa il primo e 10% circa il secondo). Il primo è incolore e inodore, l'altro è bruno-rossastro con odore soffocante (la concentrazione minima per l'individuazione all'olfatto è comunque superiore a 1 ppm).

Come è noto, l'aria è composta approssimativamente per il 78% in volume da N_2 e per il 21% da O_2 . A temperatura ambiente, questi gas hanno scarsissima tendenza a reagire tra loro in conseguenza della loro inerzia chimica e dell'instabilità del prodotto (NO). L'intervento di condizioni tali da cedere sufficiente energia alla miscela, quali temperature al di sopra dei 1210 °C, ne provoca l'interazione, innescando la formazione di NO (Figura 1).

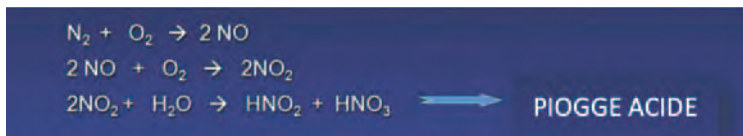


Figura 1. Formazione degli NO_x e rimozione con le piogge acide

Poiché temperature nel campo tra 1210 °C e 1765 °C sono comunemente raggiunte durante molti processi di combustione, questa reazione è un'importante sorgente di NO. L'80% di NO_x di origine non naturale deriva dalla reazione tra N_2 e O_2 dell'aria nel corso delle combustioni. Si può considerare che la formazione di essi sia un evento collaterale (sottoprodotto "involontario") di tutti i fenomeni di combustione, compresi quelli dei motori (in particolare a benzina) e degli impianti fissi (riscaldamento domestico, centrali termoelettriche, inceneritori di rifiuti, ecc.). La conseguenza ovvia è che la concentrazione di NO_x sulle città risulta 10-100 volte maggiore che al di fuori. Una volta immesso nell'atmosfera, l'NO (non solubile) può essere ossidato a NO_2 e quindi rimosso principalmente dalle precipitazioni (HNO_3) [3].

Questi composti interessano per la loro nocività nei confronti della salute umana (in particolare a livello respiratorio) e per le ripercussioni sulle piante. Più precisamente, sono tre i meccanismi di tossicità:

- a. esplicano un danno diretto solo se presenti in elevate concentrazioni, sebbene possano agire sinergicamente con altri gas;
- b. partecipano a quella catena di reazioni fotochimiche che porta alla formazione dei contaminanti secondari (O_3 e perossiacetilnitrato) nelle aree interessate da smog;
- c. costituiscono, insieme alla SO_2 , la principale causa dell'acidificazione delle precipitazioni.

Le concentrazioni di NO emesse liberamente dal motore di una automobile costituiscono un reale rischio di tossicità. L'NO può, infatti, direttamente legarsi all'emoglobina portando alla cianosi e addirittura alla morte. Studi a carattere epidemiologico hanno mostrato che le concentrazioni limite di ossidi d'azoto costituenti un rischio per persone in buona salute sono di 0,05 ppm, o superiori, per un'esposizione maggiore di 24 ore [4]. Questo valore è purtroppo spesso superato nelle città a traffico intenso durante le ore di punta o in estate.

A contatto con aria e luce l'NO si ossida facilmente a NO₂ attraverso una reazione fotochimica (Figura 1). Esposizioni acute all'NO₂ possono essere altresì dannose per la salute umana: questo composto agisce principalmente come sostanza ossidante che può danneggiare le membrane e le proteine cellulari. Per esposizioni acute a concentrazioni molto elevate si possono avere risposte infiammatorie delle vie aeree, anche in soggetti sani. Tuttavia, i soggetti asmatici o i pazienti con malattie polmonari croniche ostruttive sono senza dubbio più suscettibili alle basse concentrazioni.

Quadro normativo: Come riportato nel Decreto Ministeriale n.° 60 del 02/04/2002 il valore limite orario per la protezione della salute umana è fissato a 200 µg/m³ di concentrazione media oraria di NO₂, da non superare più di 18 volte per anno con un margine di tolleranza di 100 µg/m³. La soglia di allarme è pari a 400 µg/m³ misurati su tre ore consecutive.

Se nel 1992 la normativa imponeva un massimo di 0,97 g/km, nel 2014 il limite è stato fissato a 0,08 g/km. Il tempo di permanenza medio degli NO_x nell'atmosfera non risulta superare i 3-4 giorni; in aree altamente inquinate essi raggiungono concentrazioni di alcune decine di ppb, anche se si possono riscontrare punte eccezionali dell'ordine di 1 ppm.

2. Licheni come biomarcatori

2.1 Impiego dei licheni nel biomonitoraggio dell'aria

I licheni epifiti sono organismi che colonizzano i tronchi delle piante e che possono essere utilizzati con successo per il monitoraggio della qualità dell'aria dei centri urbani, come attestano i lavori in letteratura scientifica prodotti esponenzialmente negli ultimi venti anni (Figura 2).

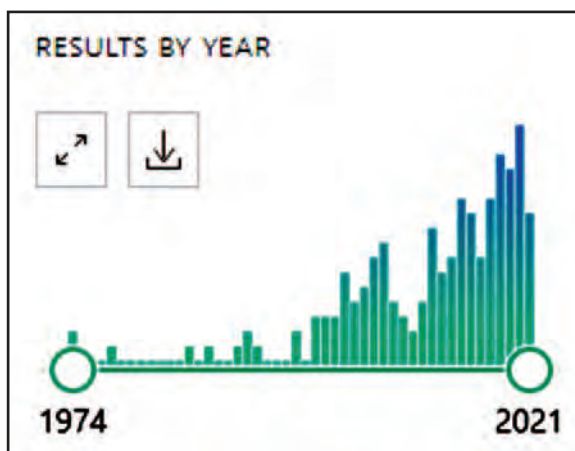


Figura 2. Licheni come bioindicatori: numero progressivo di pubblicazioni apparse su PubMed (search query: “lichens bioindicators”)

In presenza di agenti inquinanti quali ossidi di azoto, PM10 e metalli pesanti, i licheni reagiscono con alterazioni morfologiche, ecologiche e fisiologiche modificando il numero delle varie specie presenti (biodiversità) sulla pianta oggetto di indagine (stazione di rilevamento). L'esposizione prolungata agli inquinanti atmosferici determina una diminuzione della variabilità lichenica fino alla loro completa scomparsa. I licheni, infatti, a elevate concentrazioni di inquinamento ambientale, riducono la loro fertilità sessuale e la produzione di clorofilla (altera-

zioni fisiologiche), tendono a smorzare i loro colori e a staccarsi dai tronchi cui aderiscono (alterazioni morfologiche). Alcune specie di licheni sono tipicamente residenti nelle aree urbane e la conta in termini di frequenza della biodiversità può diventare un metodo analitico di facile utilizzo da affiancare alle indagini chimico-fisiche delle centraline automatiche di rilevamento.

2.2 La rete nazionale di biomonitoraggio e il progetto CSMON-LIFE

In Italia vale la pena menzionare due progetti pionieristici nell'uso dei licheni come bioindicatori: il progetto ANPAT [5] e il progetto CSMON-LIFE [6]. Il progetto ANPAT ha l'ambizioso obiettivo di monitorare l'intera penisola italiana e per questo è stata messa a punto una maglia geodetica con interasse di 18 km per collocare circa 301.249 stazioni di campionamento. In figura 3 vengono riportati gli enti che hanno aderito al progetto, applicandolo su scala regionale, e il relativo numero di stazioni di campionamento. Non vengono considerate le regioni nelle quali i monitoraggi sono ancora in corso.

ENTE	N. STAZIONI
ARPA FVG (Friuli Venezia Giulia)	38
ARPAM (Molise)	144
ARPAT (Toscana)	65
APPAT (Trentino)	191
ARPAV (Veneto)	54
ARPA VDA (Valle D'Aosta)	13

Figura 3. Enti e regioni che aderiscono al progetto ANPAT [5]

Accanto al progetto ANPAT che si avvale di una rete nazionale con stazioni fisse di monitoraggio, c'è il progetto CSMON-LIFE (Citizen Science MONitoring), ovvero il primo progetto italiano di "Citizen Science" sulla biodiversità, finanziato in Italia dalla Commissione Europea nell'ambito del programma LIFE+, e che vede la Direzione Ambiente e Sistemi Naturali della Regione Lazio svolgere attività pubbliche di sensibilizzazione per la conservazione del patrimonio naturale. Nell'ambito di questo progetto, grazie all'utilizzo di app scaricabili gratuitamente sullo smartphone, è stata messa a punto una serie di strumenti che vengono utilizzati dal pubblico per la raccolta dei dati scientifici. In questo senso i licheni costituiscono un eccellente "materiale biologico" da monitorare e osservare nei diversi ambienti fruibili dal grande pubblico.

2.3 Metodologia: il metodo IBL

Il biomonitoraggio è una valutazione ambientale condotta con l'utilizzo di bioindicatori, cioè attraverso organismi capaci di avvertire con certezza le alterazioni ecologiche dell'ambiente in cui vivono, alterazioni causate da vari tipi di inquinamento o da fattori di stress ambientale. Il biomonitoraggio non è alternativo alle tecniche analitiche tradizionali, ma è un campo di ricerca che può coadiuvare e ottimizzare la determinazione analitica classica, sia per il monitoraggio dell'inquinamento (individuando possibili zone a rischio), sia per evidenziare possibili correlazioni tra alterazioni di bioindicatori e patologie delle vie aeree superiori [7]. La metodologia utilizzata per l'espressione dell'IBL (Indice di Biodiversità Lichenica) è quella indicata nel manuale ANPA [8], pubblicata nel maggio 2001 con il titolo "IBL – Indice di Biodiversità Lichenica", liberamente scaricabile dal web e utilizzabile a scopi didattici. Il metodo IBL stima lo stato della diversità lichenica in condizioni standard dopo una lunga esposizione a inquinamento atmosfere-

rico o ad altri tipi di stress ambientali. I licheni utilizzati sono essenzialmente epifiti, il che consente di limitare la variabilità di parametri ecologici indipendenti dall'inquinamento, quali tenori in basi o capacità idrica, assai variabili nei substrati litici.

Il presente lavoro è stato eseguito per fornire un'indicazione a grandi linee sullo stato della qualità dell'aria nelle stazioni prese in esame. I rilevamenti sono stati effettuati su alcuni alberi presenti nelle sei stazioni scelte per lo studio del bioaccumulo; il principale scopo dello studio era indagare gli effetti dei contaminanti da traffico veicolare sulla diversità lichenica epifita, prendendo in considerazione come potenziale fonte di contaminazione la S.S. Cassia, che attraversa l'abitato del Comune di Acquapendente.

2.4 Scelta dei siti di monitoraggio

La scelta dei siti di monitoraggio si avvale del supporto dell'archivio storico dell'amministrazione comunale di Acquapendente e dei dati disponibili dell'ARPA, finalizzati a selezionare le aree a maggior tasso di sviluppo industriale e impostare un campionamento razionale. Costituirà inoltre un momento di riflessione sui cambiamenti rurali che hanno interessato nell'ultimo secolo il nostro territorio.

Sono stati quindi individuati sei siti le cui coordinate geografiche sono riportate nella Tabella 1, mentre la loro collocazione sul territorio è segnalata in figura 4.

Più in dettaglio, le sei stazioni di misura sono state collocate nel modo seguente:

- due stazioni in zone non interessate dalla ricaduta di eventuali inquinanti emessi (località "Cupellara", stazioni 1 e 2)
- due stazioni in zone intermedie dove esistono attività artigianali, impianti sportivi e nell'ultimo anno una postazione drive-in tamponi Covid (località "Campo Boario" stazioni 3 e 4)
- due stazioni potenzialmente interessate da ricaduta in quanto soggette ad intenso traffico veicolare (strada statale 2 *Via Cassia*, stazioni 5 e 6)

Per ciascuna stazione si è proceduto a effettuare un rilievo della biodiversità lichenica. I rilevamenti sono stati eseguiti utilizzando un reticolo orientabile costituito da 4 subunità, ciascuna formata da una serie lineare di 5 quadrati di dimensione 10 × 10 cm che devono essere disposte verticalmente sul tronco a un'altezza di un metro dal suolo. Le 4 subunità della griglia devono essere orientate sul tronco dell'albero in corrispondenza dei quattro punti cardinali. Inoltre, gli alberi devono rispondere a determinate caratteristiche affinché i rilievi possano avere i requisiti di validità, che sono:

- a. circonferenza minima di 60 cm, per evitare situazioni con flora lichenica pioniera;
- b. inclinazione del tronco non superiore ai 10°, per evitare effetti dovuti all'eccessiva eutrofizzazione di superfici troppo inclinate;
- c. assenza di evidenti fenomeni di disturbo sulla corteccia (incisioni, verniciature, gravi malattie della pianta ecc.);
- d. copertura di briofite inferiore al 25% della superficie campionabile, per evitare situazioni di forte competizione ecologica per lo stesso habitat.

Stazioni	Coordinate GPS		Quota (m slm)
stazione 1	42° 44' 26" N	11° 51' 34" E	425
stazione 2	42° 44' 27" N	11° 51' 33" E	424
stazione 3	42° 44' 30" N	11° 51' 44" E	395
stazione 4	42° 44' 31" N	11° 51' 43" E	393
stazione 5	42° 44' 39" N	11° 51' 47" E	389
stazione 6	42° 44' 45" N	11° 51' 46" E	378

Tabella 1. Coordinate geografiche delle stazioni di monitoraggio. Il sistema di riferimento geografico utilizzato per la mappa è basato sull'ellissoide WGS84



Figura 4. Stazioni di monitoraggio dell'aria nel Comune di Acquapendente: in alto le stazioni 1 e 2 in località "Cupellara" e le stazioni 3 e 4 in località "Campo Boario"; in basso le due stazioni lungo la strada statale 2 Via Cassia

Sono state annotate, su un'apposita scheda di lavoro, tutte le specie licheniche presenti all'interno di ciascuna unità e la loro frequenza, calcolata come numero di quadrati in cui è presente la specie. Il valore di biodiversità lichenica (IBL), relativo all'albero campionato, si ottiene facendo la somma delle frequenze rilevate per ciascuna subunità. Il valore di biodiversità

lichenica della stazione di campionamento è stimato statisticamente sulla base dei valori rilevati nella stazione stessa.

È prevedibile una sostanziale differenza di crescita sui diversi lati del tronco, le frequenze vanno tenute separate per ciascun punto cardinale: per ciascun albero si ottengono così quattro somme di frequenze (BLjN, BLjE, BLjW, BLjS).

Come previsto dalla normativa ANPA, sono state impiegate classi di naturalità/alterazione delle comunità licheniche per verificare la presenza o meno di pressioni antropiche in grado di interferire con il loro sviluppo. La scala utilizzata per l'interpretazione dei valori dell'IBL è quella proposta da Giordani et al. [9] per le querce caducifoglie della regione mediterranea e submediterranea (Tabella 2). Questa tabella è articolata in sette classi di Biodiversità Lichenica, che esprimono il grado di deviazione da condizioni ritenute "naturali" (zone prive di attività antropiche e lontane da rilevanti fenomeni di dispersione di gas fitotossici). Ad ogni colore corrisponde una precisa classe di qualità dell'aria, il cui valore è dato dalla media dei valori di IBL.

Valore	Classe di naturalità/alterazione	Colore
>186	Naturalità molto alta	Blu
156-186	Naturalità alta	Ciano
125-155	Naturalità media	Verde scuro
94-124	Naturalità bassa/ Alterazione bassa	Verde chiaro
63-93	Alterazione media	Giallo
32-62	Alterazione alta	Arancione
0-31	Alterazione molto alta	Rosso

Tabella 2. Tabella calibrata sulla *fascia tirrenica* [9]

Infine, per quanto riguarda i materiali per il trapianto lichenico, occorrono:

- sacchetti di plastica (quelli per il congelatore)
- guanti in lattice usa e getta
- mascherine usa e getta
- etichette adesive
- spago
- bussola e GPS

2.5 Discussione

Nel corso dei rilievi effettuati in sei stazioni differenti, simili per zona di campionamento a due a due, sono state individuate 16 specie di licheni epifiti, di cui per alcune si è arrivati alla definizione della specie, mentre per altri è stato più difficile completare la classificazione oltre il genere, per la ridotta quantità di materiale costituente i campioni o per mancanza di strumentazione adeguata.

Le stazioni in cui è stata rilevata la maggiore varietà floristica sono quelle site in località “Cupellara”, mentre le stazioni più povere in diversità lichenica sono quelle site lungo la strada statale 2 “Via Cassia”, dove sono state censite solo 8 specie (le tabelle specifiche per le sei stazioni sono riportate in appendice).

Nella Tabella 3 sono riassunti tutti i valori di biodiversità rilevati su ogni singolo forofita. Questi dati sono stati utilizzati per il calcolo dell’Indice di Biodiversità Lichenica della stazione (IBLs), ottenuto mediando i valori di biodiversità rilevati sui diversi forofiti.

Stazione 1-2 Località Cupellara					
<i>Forofita</i>	N	E	S	W	IBL
1	9	12	15	19	
2	22	27	22	23	
3	25	27	16	26	
totale					243
media	18,67	22	17,67	22,67	81
Stazione 3-4 Località Campo Boario					
<i>Forofita</i>	N	E	S	W	IBL
1	24	14	21	12	
2	9	8	11	10	
3	11	8	13	15	
totale					156
media	14,67	10	15	12,34	52
Stazione 5-6 S.S. Cassia					
<i>Forofita</i>	N	E	S	W	IBL
1	5	3	6	9	
2	10	7	8	5	
3	10	10	8	8	
totale					89
media	8,34	6,67	7,34	7,34	29,67

Tabella 3. Valori di biodiversità, tramite IBL totale e IBL medio, rilevata su ogni forofita

Infine, in Tabella 4 sono riassunti i valori totali di IBL riscontrati nelle stazioni prese in esame.

Stazioni	Comune	Distanza dalla S.S. Cassia	Ambiente	IBLm	Alterazione (da Tabella 2)
1 e 2	Acquapendente	0,600 km	Piazzale antistante l'Istituto Omnicomprensivo "Leonardo da Vinci" in località "Cupellara" (alberi di tiglio)	81	Media
3 e 4	Acquapendente	0,390 km	Piazzale del parcheggio in località "Campo Boario" (alberi di tiglio)	52	Alta
5 e 6	Acquapendente	0 km	Margine della strada adiacente alla statale "Via Cassia" (alberi di tiglio)	29,67	Molto alta

Tabella 4. Tabella riassuntiva valori medi di IBL

Concludendo, è possibile riscontrare una correlazione tra i valori medi di IBL (indice biodiversità lichenica) calcolati nelle stazioni prese in esame e la distanza dalla strada statale *Cassia* che attraversa l'abitato di Acquapendente. Più ci si allontana dalla *Via Cassia* (potenziale fonte di contaminazione) e più il valore dell'IBL aumenta.

Utilizzando la scala Giordani (Tabella 2) per l'interpretazione dei valori dell'IBL possiamo farci un'idea della qualità dell'aria nelle tre diverse località sotto studio.

- La fascia di *colore rosso* corrisponde alle zone con i valori di IBL delle stazioni inferiori a 30. Questa fascia coincide in parte con il "deserto lichenico" e, quindi, a una situazione di *alterazione molto alta* della comunità lichenica, a cui si fa corrispondere il peggior livello di qualità dell'aria rilevabile con l'indice di Biodiversità Lichenica (qualità dell'aria pessima). Questo è il dato riscontrato lungo la strada statale Cassia.
- La fascia di *colore arancio* individua zone con un grado di *alterazione alta* delle comunità licheniche a cui corrispondono valori di IBL delle stazioni compresi tra 30 e 60. A queste zone si attribuisce una qualità dell'aria molto scarsa. Questa è la situazione riscontrata per la postazione in località "Campo Boario" che, rispetto a studi condotti negli anni precedenti nell'ambito dello stesso progetto, mostra un deciso peggioramento. Negli ultimi due anni si è infatti passati da un'alterazione media a una alta, situazione probabilmente accentuata dalla presenza in loco di una postazione di Drive-in per Covid-19 e dall'intenso traffico veicolare dovuto al proliferare delle attività dell'adiacente centro sportivo che, per almeno due giorni alla settimana, catalizza l'attenzione della popolazione di Acquapendente e dintorni.
- La fascia di *colore giallo* corrisponde a zone con valori di IBL delle stazioni compresi tra 60 e 90, ossia a situazioni di *alterazione media* delle comunità licheniche. A tali zone si attribuisce una qualità dell'aria scarsa, ma non eccessivamente. Questa è la situazione riscontrata per la postazione in località "Cupellara", dove la qualità dell'aria è in parte compromessa dal traffico veicolare dovuto ai mezzi degli studenti parcheggiati in prossimità delle due stazioni nel parcheggio antistante il nostro Istituto.

I risultati del modello categorizzato sulla base della scala di naturalità/alterazione rispecchiano quanto si poteva prevedere sulla base degli studi degli anni scorsi e delle statistiche descrittive; mostrano, infatti, un quadro non del tutto positivo dello stato di salute delle comunità licheniche epifite e, quindi, dell'aria che respiriamo.

Tale risultato porta a ipotizzare la presenza di considerevoli pressioni antropiche sul territorio nella zona prossima al centro abitato, ovvero lungo la strada statale 2 “Via Cassia” e in zona “Campo Boario”, e una situazione molto meno a rischio a mano a mano che ci si allontana da tali postazioni.

3. Licheni come bioaccumulatori

3.1 Metodologia e innovazione

Tradizionalmente la misurazione delle emissioni atmosferiche viene effettuata tramite analisi chimiche realizzate con centraline fisse o mobili e, in questo campo, l’Istituto “Leonardo da Vinci” di Acquapendente si è già occupato in passato del monitoraggio dell’aria del territorio aquesiano. Le limitazioni di tali tecniche sono legate soprattutto ai seguenti fattori: durata del campionamento e strumentazione più o meno complessa che comporta elevati costi di acquisto ed esercizio. La difficoltà oggettiva di predisporre una rete di controllo con i sistemi chimici convenzionali, per i tempi e i costi che richiederebbe, può essere risolta attraverso l’utilizzo dei licheni come bioaccumulatori, in considerazione della capacità di questi organismi di assorbire e accumulare i contaminanti persistenti, generalmente presenti nell’atmosfera in bassissime concentrazioni. Negli ultimi anni i licheni sono stati ampiamente impiegati come bioaccumulatori di metalli pesanti, di radionuclidi, di non metalli, come lo zolfo e il fluoro, di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Più recentemente sono comparsi in letteratura lavori che utilizzano i licheni come bioaccumulatori di policlorobifenili (PCBs), diossine (TCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF). In questo progetto ci proponiamo di utilizzare i licheni per la determinazione delle emissioni inquinanti di ossidi di azoto (NO_x), attraverso una metodica analitica messa a punto per la prima volta presso i nostri laboratori.

3.2 Scelta della specie lichenica

La specie selezionata per questo studio è stata ampiamente utilizzata nei lavori di biomonitoraggio ambientale, mostrando correlazioni significative tra le concentrazioni di contaminanti presenti nell’aria (metalli pesanti) e il loro accumulo nei talli trapiantati. Si tratta di *Evernia prunastri* (Figura 5), che è stata scelta per la facilità di reperimento, di crescita, di prelievo e di manipolazione, per la resistenza a malattie e parassiti, per la relativa sensibilità nei confronti degli inquinanti tradizionali (ad es. SO_2) e, infine, per la sua capacità di concentrare rilevanti quantità di alcuni inquinanti senza subire alterazioni morfo-strutturali [10].



Figura 5. *Evernia prunastri*

3.3 Raccolta, preparazione e trapianto dei campioni per l'indagine di bioaccumulo

I talli di *Evernia prunastri* utilizzati per il trapianto sono stati raccolti sulla corteccia di alberi quali roverella (*Quercus pubescens*), cerro (*Quercus cerris*), olmo comune (*Ulmus minor*), acero campestre (*Acer campestre*), a un'altezza di circa un metro dal suolo. Il prelievo è stato effettuato nel bosco adiacente il museo del Fiore, un piccolo museo interattivo e multimediale immerso nei boschi della Riserva naturale di Monte Rufeno a 10 km dal centro abitato di Acquapendente e a 2 km dal borgo medievale di Torre Alfina. Tale area è lontana da rilevanti fonti di inquinamento atmosferico, la vegetazione lichenica è molto abbondante e, per questo, è stata considerata come *stazione di controllo*. Il prelievo è stato eseguito in novembre 2020.

In laboratorio sono state eliminate le parti morte e il materiale estraneo (ad es., foglie, terriccio, talli di altri licheni, ecc.); il tallo di riferimento è stato opportunamente essiccato determinando immediatamente l'azoto totale secondo la metodica messa a punto nei nostri laboratori.

I restanti talli di *Evernia prunastri* sono stati, quindi, inseriti nelle cosiddette "lichen bags", ossia supporti costituiti da un telaio di legno con reti di plastica (Figura 6), per permettere il contatto con l'aria; successivamente questi supporti sono stati fissati a un'altezza di circa due metri dal suolo, su appositi sostegni, nelle stazioni scelte per lo studio. Dopo tre mesi, nel febbraio 2021, è stata ritirata una parte di campione per ogni stazione e su di essa è stata di nuovo eseguita la determinazione dell'azoto totale. Dopo altri tre mesi, a maggio 2021, sono state ritirate le restanti parti di campioni ed eseguite nuovamente le analisi. La scelta di effettuare due campionamenti è dovuta alla necessità di dare più tempo ai licheni di aumentare la quantità di NO_x assorbita, nel caso in cui la metodica non fosse così sensibile da rilevare la quantità dopo soli tre mesi di esposizione. In ogni caso, la replicazione dell'analisi dopo altri tre mesi offre di certo maggiori dati e una maggiore attendibilità statistica.



Figura 6. Lichen bags

3.4 Analisi dei campioni trapiantati: metodi

Il bioaccumulo degli ossidi di azoto (NO_x) è stato stimato attraverso una metodica analitica, messa a punto nei laboratori dell'ITT Chimico di Acquapendente dai docenti di indirizzo (D. Bellocchi e G. Battellocchi), che presuppone la determinazione dell'azoto totale attraverso un'estrazione in controcorrente con il metodo di Kjeldahl e successiva retrotitolazione. Una volta determinato l'azoto nel lichene innestato sulle sei stazioni di controllo, l'azoto accumulato nel periodo di esposizione (presumibilmente sotto forma di NO_x) viene trovato per differenza con l'azoto del campione di controllo. Di seguito riportiamo la metodica che consta delle fasi sotto riportate.

1) *Preparazione campione*: 5 g di *Evernia prunastri* vengono pesati, accuratamente sminuzzati con minipimer e, successivamente, inseriti in un provettone da digestione (Figura 7).

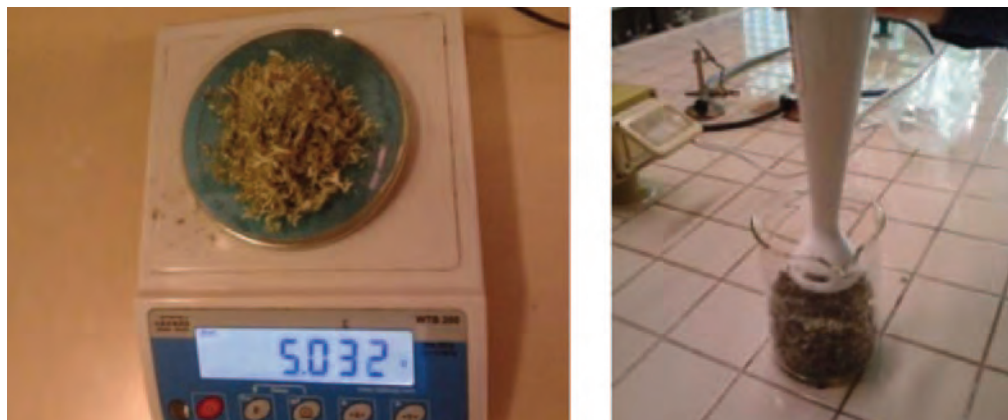


Figura 7. Preparazione del campione

2) *Digestione*: questo processo viene effettuato a 420 °C per 1h, inserendo nel provettone contenente il campione i seguenti reattivi:

- 7 g di K_2SO_4
- 0,6 g di $CuSO_4$ (rapporto 9:1)
- 5 ml H_2O_2 al 35% (130 vol)
- 7 ml H_2SO_4 concentrato
- 2-3 ebollitori

Facendo bollire (Figura 8) il campione di lichene in acido solforico concentrato (miscela di digestione), il risultato è la conversione di tutto l'azoto organico (proteico) in azoto inorganico, cioè $(NH_4)_2SO_4$.

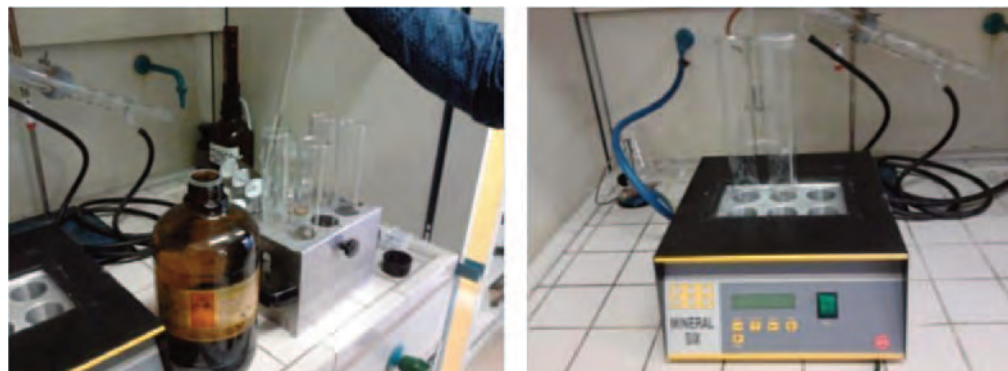


Figura 8. Digestione del campione

3) *Raffreddamento*: i provettoni vengono fatti raffreddare fino alla temperatura di 50 - 60 °C.

4) *Distillazione*: il provettone con il campione digerito viene montato sull'apparato di distillazione; si introducono quindi 50 ml di una soluzione concentrata (30-50% p/v) di NaOH e 50 ml di H_2O . Si effettua la distillazione in corrente di vapore e si raccolgono circa 200 ml di distillato in una beuta contenente già 25 ml di acido bórico (adsorbente); l'aggiunta di una base alla mi-

scelta di digestione acida serve a convertire lo ione ammonio in ammoniaca che viene poi condensata e trattenuta dall'acido borico presente nella beuta (Figura 9).



Figura 9. Distillazione in controcorrente

5) *Titolazione*: si titola il campione nella beuta (200 ml) con HCl 0,1 N e indicatore Tashiro (10 gocce); il *setup* della metodica, effettuato con un campione di lichene prelevato *da bosco* (stazione di controllo museo del Fiore), fornisce un valore di 4,75 mg/200 ml di distillato (5 g di campione), pari a 95 mg di azoto/100 g di lichene, valori in linea con una determinazione di azoto standard su 100 g di prodotto alimentare (Figura 10).



Figura 10. Retrotitolazione

3.5 Risultati

Per prima cosa è stata determinata la quantità di azoto totale del campione di riferimento (bianco), prelevato da un'area ad alta naturalità (museo del Fiore, Torre Alfina). A questo proposito abbiamo ritenuto opportuno effettuare la determinazione del bianco in concomitanza

con le analisi sui campioni per eliminare variabili di accumulo legate alla stagionalità. Vengono, quindi, determinate le quantità di *azoto totale* dopo 6 mesi di esposizione e le quantità di azoto parziali dopo 3 mesi di esposizione, ovvero *trimestre 1* (dicembre 2020 – febbraio 2021) e *trimestre 2* (marzo 2021 – maggio 2021). Si determina infine, per differenza con il bianco, l’azoto accumulato dal tallo che è presumibilmente quello derivante dall’inquinamento veicolare (NO_x).

Per descrivere più chiaramente il livello di accumulo o perdita di NO_x è stato calcolato il rapporto fra la quantità di azoto parziale in ciascun tallo dopo l’esposizione in ogni trimestre e la quantità di esso nel campione di controllo (*EC ratio*) per ogni stazione in studio [11, 12]. I valori derivanti dalle analisi degli *EC ratio* parziali a 3 mesi e 6 mesi di esposizione, sono stati interpretati attraverso la scala a cinque classi riportata in Tabella 5. Tale scala è stata elaborata tenendo in considerazione il fatto che, in assenza di accumulo, il rapporto fra la concentrazione di ogni elemento dopo l’esposizione e quella nel campione di controllo è uguale a 1 (condizione normale). Nel caso in cui *EC ratio* <1 (**perdita**), si ipotizza che non ci sia bioaccumulo di azoto nel tallo, in virtù della necessità del lichene di utilizzare l’azoto per la sua sopravvivenza e riproduzione. Questa situazione in effetti si realizza in zone caratterizzate da condizioni ambientali ottimali, dove i licheni crescono numerosi. Il caso con *EC ratio* >1 (**accumulo**) si ha invece nelle situazioni di bioaccumulo di azoto sotto forma di composti tossici (NO_x) che portano il lichene alla morte. In effetti, avvicinandosi ad aree più inquinate come i centri urbani, i licheni divengono più rari e crescono sempre più lentamente, fino ad arrivare, nelle zone ad alto inquinamento, al cosiddetto “deserto lichenico”.

Scala EC ratio	Livello di accumulo/perdita
0 – 0,25	forte perdita
0,25 – 0,75	perdita
0,75 – 1,25	condizione normale
1,25 – 1,75	accumulo
>1,75	forte accumulo

Tabella 5. Scala utilizzata per l’interpretazione del rapporto fra la concentrazione di ogni elemento dopo l’esposizione e la concentrazione del campione di controllo

Di seguito, e in riferimento alla Tabella 5, vengono riportati in Tabella 6 i risultati sul biomonitoraggio condotto da dicembre 2020 a maggio 2021 degli ossidi di azoto (NO_x): NO , NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_5 .

	Bianco	Stazioni					
		1 Pergola	2 Torre	3 Campo Boario (drive-in)	4 Campo Boario	5 Cupellara	6* Cupellara
Azoto totale Trimestri 1 + 2		32,94	35,74	21,44	11,08	13,88	29,99
Azoto parziale Trimestre 1	4,75	16,5	10,1	4,31	3,93	2,9	4,36
NO_x accumulato Trimestre 1	/	11,75	5,35	-0,44	-0,82	-1,85	-0,39
EC ratio Trimestre 1		3,47	2,12	0,90	0,82	0,61	0,91
Azoto parziale Trimestre 2	7,30	16,44	25,64	17,13	7,15	10,98	25,63
NO_x accumulato Trimestre 2	/	11,69	20,89	12,38	2,4	6,23	20,88
EC ratio Trimestre 2		2,25	3,51	2,34	0,97	1,50	3,51

Tabella 6. Concentrazioni (mg/5g) di azoto totale e parziale in talli di licheni *Evernia prunastri* nei sei siti esaminati; vengono riportati anche i relativi EC ratio (Trimestre 1: dicembre 2020 – febbraio 2021; Trimestre 2: marzo 2021 – maggio 2021; *campione ritrovato a terra)

3.6 Discussione

Per descrivere più chiaramente il livello di accumulo di ogni inquinante viene riportato, in figura 11, l'EC ratio per ogni stazione di controllo dopo il trimestre 1e il trimestre 2 di esposizione. I

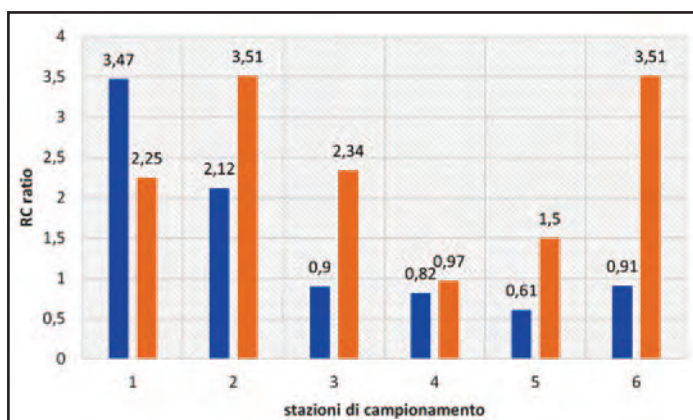


Figura 11. Valori di EC ratio riscontrati nelle sei stazioni dopo il primo trimestre (dati in azzurro) e dopo il secondo semestre (dati in arancione)

risultati evidenziano un accumulo di azoto proporzionale al tasso di viabilità delle zone oggetto di studio, confermando, da un lato, l'ideoneità di tale specie lichenica a essere utilizzata come bioaccumulatore, e, dall'altro, la presenza di NO_x in aree a tasso di viabilità elevato e la loro assenza in aree non esposte a emissioni inquinanti.

Lo studio mette altresì in evidenza due importanti anomalie di seguito riportate.

Campo Boario: valutando le differenze nei profili EC ratio delle stazioni 3 e 4 a sei mesi di esposizione (Figura 11), si può constatare come solo la stazione 3 risulti interessata da un considerevole aumento delle concentrazioni di NO_x . Tale anomalia può essere spiegata con il fatto che, a partire dal dicembre 2020, in prossimità della stazione 3 è stato istituito un "Drive-in test point" per i tamponi nasofaringei standard e antigenici SARS-CoV2 (Figura 12) [13]. Si può, quindi, ipotizzare che il considerevole aumento di NO_x nella sola stazione 3 sia da imputare all'aumento del traffico veicolare in piena emergenza CoVID (auto in fila con motore acceso). Nella stazione 4, distante dal Drive-in, permangono invece condizioni di bioaccumulo costanti e normali.



Figura 12. Ingresso al Drive-in test point di Acquapendente; in fondo si scorge il gazebo per accettazione, proprio davanti l'albero dove era posizionata la "lichen bag" (stazione di controllo 3)

Cupellara: questa zona, stazione 6, rappresenta quella meno interessata dal traffico veicolare e, come ci si aspettava, in generale permangono condizioni di accumulo normali di NO_x almeno fino al primo trimestre (Figura 11). Nel secondo trimestre, invece, si evidenzia un accumulo di NO_x attribuibile, si ipotizza, all'arrivo della bella stagione e all'evidente aumento del traffico motorizzato nel piazzale della scuola. L'aumento consistente che si osserva in questa stazione durante il secondo trimestre è ragionevolmente dovuto all'inquinamento del campione in seguito al suo distacco dall'albero: il campione è stato infatti ritrovato a terra.

4. Conclusioni

In questo lavoro viene monitorata per la prima volta la qualità dell'aria del comune di Acquapendente attraverso il metodo IBL. Contestualmente vengono determinate anche le emissioni di NO_x attraverso una metodica analitica messa a punto nei nostri laboratori. I risultati mettono in evidenza come la qualità dell'aria della zona "Campo Boario" si sia nel tempo rapidamente deteriorata. Questa zona negli anni è stata oggetto di una profonda trasformazione urbanistica che

l'ha portata a divenire uno dei principali poli sportivi dell'Alta Tuscia, con la presenza di un palazzetto dello sport, impianti di tennis e campi di calcio. In questa zona si riversano settimanalmente dai paesi limitrofi intere famiglie per frequentare le numerose attività organizzate dalla polisportiva che gestisce gli impianti. In questo contesto, la messa in essere di un drive-in COVID ha di fatto esacerbato una condizione di inquinamento già di per sé critica. I risultati di questa analisi dell'aria verranno divulgati sul portale del nostro Istituto dedicato al monitoraggio ambientale del territorio aquesiano "Scuola.Lab" [1]. La metodica analitica di determinazione del bioaccumulo di NO_x verrà utilizzata dai nostri studenti per indagini future sulla qualità dell'aria del territorio di Acquapendente.

Da un punto di vista civico, il presente lavoro ci ha permesso di realizzare i seguenti obiettivi:

- Conoscere le specie autoctone e ruolo ecologico degli ecosistemi di riferimento.
- Conoscere e applicare metodiche proprie dell'analisi chimica e dei censimenti biologici, anche con l'uso di strumenti specifici e il potenziamento dei laboratori scientifici.
- Favorire e promuovere la *Citizen Science*, (scienza dei cittadini) ovvero un approccio civico e di comunità alla scienza a cui partecipano semplici cittadini.
- Sviluppare una piattaforma (database) di raccolta dati e implementare il sito web di presentazione dati istituzionale.
- Conoscere ed essere consapevoli dell'importanza della biodiversità e della sua conservazione.
- Promuovere la partecipazione consapevole, responsabile e autonoma degli studenti in attività di controllo e salvaguardia dell'ambiente, con l'individuazione dei comportamenti collettivi e personali da tenere per la sua conservazione.
- Promuovere la cultura tecnico-scientifica sul territorio attraverso la diffusione delle attività svolte e dei risultati ottenuti.

Riferimenti

- [1] "Scuola.Lab" ITT Chimico "Leonardo da Vinci" (<https://www.scuolalab.com/>)
- [2] M. Livi, *Sviluppi di catalizzatori per l'abbattimento di NO_x in presenza di ossigeno*, Tesi di dottorato in chimica industriale (XX Ciclo).
- [3] H. S. Stoker, S. L. Seager, *Inquinamento dell'aria e dell'acqua*, ISEDI, 1974.
- [4] M. Chiron, *Studies in Surface Science and Catalysis*, 1997, **30**, 1.
- [5] <https://www.architetturaecosostenibile.it/green-life/curiosita-ecosostenibili/bioindicatori-valutare-qualita-aria-licheni-804>
- [6] CSMON-Life <http://www.csmon-life.eu/>
- [7] P. L. Nimis, C. Cislighi, *Nature*, 1997, **387**, 463.
- [8] Manuale IBL (Indice di Biodiversità Lichenica) on line, ANPA, 2009 (http://sira.arpat.toscana.it/sira/documenti/manuale_ibl.pdf)
- [9] P. Giordani, *Journal of Vegetation Science*, 2006, **17**, 195.
- [10] P. Giordani, et al., *Linee guida per l'uso dei licheni come bioaccumulatori*, ISPRA, Manuali e Linee Guida 189, 2019.
- [11] L. Frati, G. Brunialti, S. Loppi, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2005, **52**, 221.
- [12] M. Guidotti, et al., *Studio della qualità dell'aria mediante licheni nella zona del termovalorizzatore di San Vittore*, ARPA Lazio, Sezione provinciale di Rieti, Divisione atmosfera e impianti 2014.

[13] <http://www.amiatanews.it/acquapendente-coronavirus-attivo-dal-primo-dicembre-il-drive-in-test-point-il-comune-importante-per-tutta-lalta-tuscia/>

APPENDICE

Tabelle della frequenza di specie di lichene per albero nelle sei stazioni monitorate

Stazione	n. 1 e 2 - località "Cupellara"											
Data	21 marzo											
Specie arborea	<i>Prunus Cerasifera</i>				Tiglio				Tiglio			
Circonferenza (cm)	100				90				105			
Specie di lichene	1° albero				2° albero				3° albero			
	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Physcia tenella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leprocaulon quisquillare</i>	0	0	0	0	1	2	3	1	1	1	0	2
<i>Phlyctis argena</i>	0	0	0	0	5	4	5	4	5	5	5	3
lichene nero (specie non identificata)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Physconia servitii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xanthoria parietina</i>	5	5	5	5	2	3	2	3	5	5	4	5
<i>Punctelia borreri</i>	0	1	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0
<i>Flavoparmelia spp</i>	1	0	2	1	2	3	1	1	0	3	1	2
<i>Evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypogimnia tubulosa</i>	0	0	1	2	1	4	0	2	0	0	0	0
<i>Parmelina spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amandinea punctata</i>	0	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<i>Candelariella spp</i>	0	2	1	0	0	0	1	0	4	3	1	3
<i>Lecanora</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Collema spp</i>	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
specie non identificata	3	2	0	5	5	5	5	5	5	5	0	5

Biomonitoraggio e determinazione delle emissioni inquinanti di NO_x tramite licheni

Stazione	n. 3 e 4 – località "Campo Boario"											
Data	21 marzo											
Specie arborea	Acero campestre				Quercia				Quercia			
Circonferenza (cm)	80				105				75			
Specie di lichene	1° albero				2° albero				3° albero			
	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Physcia tenella</i>	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	3
<i>Leprocaulon quisquillare</i>	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phlyctis argena</i>	4	0	0	0	0	1	3	0	0	1	0	2
lichene nero (specie non identificata)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Physconia servitii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xanthoria parietina</i>	3	1	3	2	2	2	2	1	3	2	2	3
<i>Punctelia borrieri</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Flavoparmelia spp</i>	4	1	5	1	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Evernia prunastri</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hypogimnia tubulosa</i>	2	0	3	3	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Parmelina spp</i>	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Amandinea punctata</i>	3	4	3	0	0	0	1	0	0	0	2	3
<i>Candelariella spp</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lecanora</i>	0	0	0	0	2	1	0	5	4	0	2	1
<i>Collema spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2

Stazione	n. 5 e 6 - località "Via Cassia"											
Data	21 marzo											
Specie arborea	Tiglia				Tiglia				Tiglia			
Circonferenza (cm)	180				165				193			
Specie di lichene	1° albero				2° albero				3° albero			
	N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
<i>Physcia tenella</i>	2	0	5	5	2	5	4	2	5	3	5	5
<i>Leprocaulon quisquillare</i>	3	1	0	3	5	0	0	1	5	4	0	3
<i>Phlyctis argena</i>	0	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
lichene nero (specie non identificata)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	3	0
<i>Physconia servitii</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Xanthoria parietina</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Punctelia borrieri</i>	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0
<i>Flavoparmelia spp</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Materiali omogenei ed eterogenei alla scuola dell'infanzia

Karol Vernassa

Studente in Scienze della Formazione Primaria
e-mail: karolvernassa1@gmail.com

Francesca Turco

Dipartimento di Chimica, Università di Torino
e-mail: francesca.turco@unito.it

Abstract. The following manuscript reports a didactical unit aimed to lead kindergarten and primary school children in the exploration of some characteristics of materials. In particular, by means of an inductive approach and thanks to laboratory didactics, the children explore the homogeneity and the heterogeneity of materials starting from perceptions during their handling.

Keywords: scuola dell'Infanzia; scuola primaria; didattica laboratoriale, materiali omogenei ed eterogenei, miscugli e separazioni

1. Introduzione al percorso

L'unità didattica intende lavorare sul riconoscimento dell'esistenza di fasi diverse in alcuni materiali di uso quotidiano, nonché sulla constatazione dell'omogeneità propria di altri. L'impostazione di una didattica laboratoriale consente di pervenire a tali caratteristiche attraverso l'osservazione e la percezione sensoriale. Il bambino è, dunque, accompagnato nell'esplorazione di materiali omogenei, siano essi sostanze pure o soluzioni, e di sistemi materiali composti da più fasi per riuscire a cogliere e descrivere in termini semplici, che fanno diretto riferimento alla sua esperienza percettiva, l'omogeneità o l'eterogeneità.

Le sostanze e i materiali che i bambini potranno esplorare nell'unità didattica saranno in particolare l'acqua, il sale, sia fino che grosso, le farine, integrale e di tipo 00, e l'amido di grano.

Al fine di sollecitare una maggiore motivazione nei bambini, sin dall'inizio del percorso è loro anticipata l'attività conclusiva, ossia la realizzazione di manufatti in pasta di sale. Per coinvolgere ulteriormente gli alunni nell'esplorazione dei diversi materiali, si spiega loro che, per una buona riuscita della ricetta, è importante conoscerne bene gli ingredienti. La preparazione della pasta di sale, tuttavia, è di fatto intesa dall'insegnante quale pretesto per far manipolare ulteriormente ai bambini i materiali esplorati e prendere consapevolezza circa la natura eterogenea del miscuglio.

Ulteriore attenzione durante il percorso è data anche alla separazione meccanica delle fasi dei sistemi eterogenei. L'impiego nell'unità didattica delle farine, in particolare, consente di avviare anche una riflessione sui loro processi produttivi e rendere i bambini maggiormente consapevoli a riguardo.

Le preconoscenze considerate utili al fine della comprensione e dello svolgimento delle attività previste riguardano fundamentalmente una rappresentazione dell'uso dei cinque sensi, conoscenze lessicali necessarie alla descrizione delle proprie percezioni, una minima familiarità con i cicli dei vegetali ed eventuali esperienze esplorative precedenti inerenti i passaggi di stato.

Il percorso didattico è costituito da quattro lezioni, della durata di due ore ciascuna, ed è pensato per l'ultimo anno della scuola dell'infanzia, ma si presta a essere facilmente adattato per proporlo nei primi anni della scuola primaria.

2. Il percorso sperimentale

2.1 Sistemi omogenei

La prima lezione è dedicata all'esplorazione di sistemi omogenei, nello specifico l'acqua, il sale e la loro soluzione.

Occorrente: acqua, sale fino, sale grosso, cucchiaini, ciotole, bicchieri.

Prima di avviare le attività, l'insegnante mostra ai bambini dei lavori realizzati con pasta di sale e spiega molto in breve di cosa si tratti. Anticipa agli alunni che avranno l'opportunità di realizzare dei loro prodotti; innanzitutto, però, sarà importante conoscere gli ingredienti della pasta di sale, per poterli successivamente manipolare meglio.

I bambini sono dunque divisi a coppie, a ciascuna delle quali sono messi a disposizione una ciotola di acqua, una di sale fino, una di sale grosso e un cucchiaino. L'insegnante dà il tempo ai bambini per esplorare le sostanze. Non è ancora permesso mescolarle tra loro, ma è possibile assaggiarle in piccole quantità (a ogni bambino è dato un bicchiere), oltre che osservarle, toccarle e annusarle. Si richiede anche di rompere dei cristalli di sale grosso, eventualmente con l'aiuto dell'insegnante. Segue una prima discussione in cui si vuole far emergere quanto osservato e percepito dai bambini. Per distinguere caratteristiche visive, olfattive, gustative e tattili si domandano ai bambini le parti del corpo con le quali sono state percepite. Si vuole portare così i bambini ad acquisire consapevolezza circa l'omogeneità delle sostanze fino a qui esplorate. Questa può essere resa, per esempio, facendo riferimento alla presenza delle stesse caratteristiche visive, olfattive, tattili e gustative in ogni loro punto.

Nella seconda parte della lezione, ai bambini, sempre divisi a coppie, è chiesto di mescolare in una ciotola d'acqua un cucchiaino di sale fino e in un'altra un cucchiaino di sale grosso. Si lascia il tempo perché i bambini osservino cosa accade. Successivamente, l'insegnante avvia una nuova discussione per far emergere le diverse idee dei bambini riguardo a cosa sia successo al sale. Si propongono parole quali *mescolare* e *sciogliere* qualora non emergano spontaneamente dai bambini. A questo punto è dato loro il permesso di assaggiare sia dell'acqua in cui è stato sciolto del sale fino sia di quella in cui è stato sciolto del sale grosso. Questa prova risulta importante per rendere consapevoli i bambini della presenza del sale in soluzione, nonostante non sia più visibile. Infine, una seconda discussione è portata avanti con l'intento di far giungere i bambini all'idea di omogeneità anche delle soluzioni da loro prodotte. A seconda del livello del gruppo classe è possibile inserire riflessioni ulteriori all'interno della discussione come, per esempio, il fatto che la dimensione del cristallo di sale non ha influenza sul gusto della sostanza.

2.2 Materiali omogenei ed eterogenei

La seconda lezione vede i bambini sempre divisi a coppie e le attività si concentrano sulla distinzione tra materiali omogenei ed eterogenei.

Occorrente: acqua, sale fino, sale grosso, farina integrale, farina di tipo 00, amido di grano, piattini, bicchieri, cucchiaini.

L'insegnante predispone per ciascuna coppia ciotole di acqua, di sale grosso, di sale fino, di farina integrale, di farina di tipo 00 e di amido di grano. Nel caso delle farine ai bambini non è anticipato di cosa si tratti. Si dà il tempo di osservare e toccare gli ingredienti esplorati la lezione precedente (acqua, sale fino e sale grosso). Segue una breve discussione in cui si cerca di far riemergere quanto già scoperto sui sistemi omogenei.

In seguito, si prosegue con la libera esplorazione della farina integrale, della farina di tipo 00 e dell'amido di grano (Figura 1).



Figura 1. Materiali usati nella seconda lezione

Al termine dell'esplorazione, l'insegnante avvia una discussione con lo scopo di giungere innanzitutto all'identificazione degli ingredienti (sotto il nome generico di farine) e per rilevare quanto percepito e osservato dai bambini riguardo alle loro caratteristiche. Durante la discussione l'insegnante focalizza l'attenzione sulle parole usate dai bambini (eventualmente scandendole lui stesso ad alta voce) per descrivere le percezioni relative ai tre ingredienti. Al fine di discriminare le sensazioni percepite con il tatto e quelle percepite con la vista, l'insegnante chiede ai bambini di riferire anche la parte del corpo con la quale sono state rilevate.

La distinzione delle sensazioni in tattili e visive non è di per sé indispensabile per il proseguimento delle attività, ma è funzionale sia a uno sforzo di discernimento dei due tipi di percezione da parte dei bambini, sia a una migliore sistematizzazione della successiva fase della discussione. Il docente, infatti, può indirizzare a questo punto la discussione dapprima sulle percezioni visive emerse e in una seconda fase su quelle tattili. Si chiede in particolare di giustificare ciascuna percezione con le caratteristiche della sostanza. Sia durante la discussione sulle percezioni visive, sia durante quella relativa alle percezioni tattili, l'insegnante passa ai bambini le tre ciotole, contenenti rispettivamente farina integrale, farina di tipo 00 e amido di grano, per riproporre le sensazioni tattili e visive associate ai tre ingredienti. Si vuole portare così i bambini alla constatazione dell'eterogeneità del sistema farina

integrale, dell'omogeneità della farina di tipo 00 e di una omogeneità maggiore dell'amido di grano.¹

In fase conclusiva, si può provvedere a un confronto di tutti gli ingredienti (acqua, sale fino, sale grosso, farina integrale, farina di tipo 00 e amido di grano) dal punto di vista della loro omogeneità ed eventualmente impiegare la parola «puro» nel caso dell'amido di grano e del sale. Infine, si propone ai bambini di mescolare in un bicchiere d'acqua un cucchiaino di sale e in un altro un cucchiaino di farina di tipo 00. La lezione termina con una discussione che guidi i bambini al rilevamento dell'omogeneità della soluzione salina e dell'eterogeneità del miscuglio di acqua e farina.

2.3 Separazione di materiali eterogenei

La terza lezione prevede un'esperienza di separazione delle fasi di materiali eterogenei, nella fattispecie la farina integrale e la cariosside di grano.

Occorrente: farina integrale, farina di tipo 00, amido di grano, setacci a maglie piccole, piatti, campione di *Triticum aestivum*, cariossidi di grano.

A scopo rievocativo delle esperienze precedenti, ai bambini è innanzitutto riproposta un'esplorazione visiva e tattile della farina integrale, di quella di tipo 00 e dell'amido di grano; si avvia quindi una discussione di ripasso.

In seguito, l'insegnante mostra alla classe un campione di pianta di grano (*T. aestivum*) e delle cariossidi del cereale (Figura 2).



Figura 2. Cariossidi di grano

Prova anche a mostrare come sia possibile separare da una cariosside gli involucri esterni. A questo riguardo si precisa che, per permettere una più semplice decorticazione delle cariossidi, è necessario lasciarle in ammollo per 12 ore, in modo da ammorbidire la crusca. Sono dunque consegnate ai bambini delle cariossidi di grano ancora rivestite e si lascia del tempo affinché ognuno di loro possa esplorarle individualmente e anche provare a decorticarle (Figura 3). In una breve discussione, si constata l'eterogeneità della cariosside di grano, la quale è poi messa in relazione con quella della farina integrale. L'insegnante spiega quindi cosa distingue a livello produttivo la farina di tipo 00 da quella integrale.

¹ A questo riguardo occorre sottolineare che non è facile giustificare l'esistenza di qualcosa di più omogeneo della farina di tipo 00. Si propone dunque di sorvolare sulla questione, lasciando semplicemente che la locuzione "più omogenea" sedimenti, senza diventare un focus di ragionamento. Nella scuola primaria, invece, è possibile prevedere un'ulteriore lezione nella quale realizzare la separazione del glutine dall'amido (vedi oltre, "Estensioni per la scuola primaria").

A questo punto il docente chiede ai bambini come si potrebbero separare le due fasi visibili a occhio nudo della farina integrale (cruschello e farina) e la discussione è guidata affinché le proposte degli alunni si focalizzino sui processi di separazione meccanica.

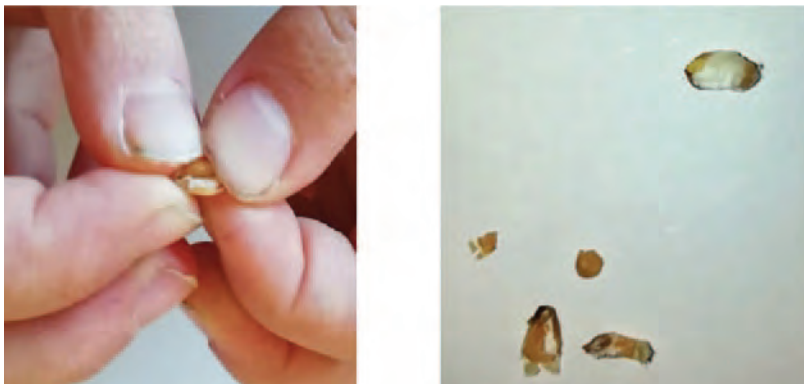


Figura 3. Esplorazione delle cariossidi e loro decorticazione

Una volta pervenuti a soluzioni possibili, l'insegnante fornisce alle coppie di studenti dei colini a maglie molto fini perché possano setacciare la farina (Figura 4). I bambini sono dunque lasciati a esplorare le due fasi della farina integrale, una volta separate (Figura 5). Infine, è anticipato loro che, avendo ora esplorato i diversi ingredienti della pasta di sale, nella lezione successiva proveranno a prepararne un poco per realizzare dei loro lavori.



Figura 4. Fase di separazione dei componenti della farina integrale



Figura 5. I componenti separati della farina integrale

2.4 Pasta di sale

L'ultima lezione è dedicata alla preparazione della pasta di sale. A tale riguardo si rileva che l'esperienza può essere occasione per esercitare i bambini alle operazioni di dosaggio: nella scuola dell'infanzia le quantità possono essere espresse riferendosi a bicchieri e cucchiaini quali unità di misura; nella scuola primaria, invece, è possibile ricorrere ai grammi, ai litri e ai loro multipli e sottomultipli.

Occorrente: farina di tipo 00, acqua, sale fino, bicchieri, cucchiaini, piattini ed eventualmente bilance e dosatori.

Gli ingredienti per la preparazione della pasta di sale sono disposti sui banchi di lavoro e ai bambini è data la possibilità di dosarli sotto la guida dell'insegnante che dà loro le istruzioni.

Ogni bambino produce la propria pasta di sale e realizza un proprio manufatto. Nel corso delle operazioni di manipolazione si ricorre al lessico introdotto nell'unità didattica (sciogliere, mescolare, ecc., e parole che facciano riferimento a percezioni tattili e visive utili per comprendere la natura del miscuglio che si sta producendo).

Al termine del lavoro si avvia una discussione riguardo alle caratteristiche della pasta di sale, facendo riferimento alle esperienze precedenti, alcune delle quali, come il miscuglio di acqua e farina in un bicchiere, possono essere riproposte.

3. Estensioni per la scuola primaria

Nella scuola primaria è possibile approfondire la distinzione tra miscugli omogenei e sostanze pure. In particolare, dopo la terza lezione, incentrata sulla separazione delle fasi di sistemi materiali eterogenei (farina integrale e cariossidi di grano), si può prevederne una nella quale si indaghi in modo circostanziato la natura della farina di tipo 00 e dell'acqua. Si può dunque riproporre, a scopo rievocativo di quanto già constatato nella seconda lezione, un'esplorazione dell'amido di grano e della farina di tipo 00. Si guidano quindi i bambini in una discussione nella quale, riflettendo sulla locuzione "più omogeneo" riferita all'amido, si vuole far loro ipotizzare la natura di miscuglio omogeneo della farina di tipo 00.

La separazione del glutine dall'amido della farina può essere proposta in classe, per esempio dividendo i bambini in coppie, per ciascuna delle quali si dispongono una bacinella e un colino

a maglie fini e di ampio diametro. Ad ogni coppia sono dati circa 100 g di impasto di farina e acqua che l'insegnante avrà preparato prima della lezione. In classe potrà tutt'al più proporre una dimostrazione della sua preparazione, in quanto l'impasto deve essere lasciato riposare 30 minuti prima di procedere alla successiva lavorazione.

Nella bacinella a sua disposizione ogni coppia lavorerà in acqua i suoi 100 g di impasto, il quale rilascerà così l'amido (Figura 6). Durante questa fase, si può portare l'attenzione degli studenti sul colore che l'acqua di lavaggio assume durante la lavorazione, per far loro constatare che dall'impasto qualcosa si stia effettivamente liberando.



Figura 6. L'impasto fornito agli studenti e sua manipolazione in acqua

Quando l'impasto rimasto assumerà una consistenza gommosa, si provvederà a porlo nel colino per procedere al suo risciacquo e ulteriore lavorazione (Figura 7).



Figura 7. Eliminazione del glutine dall'impasto

La discussione conclusiva che segue l'attività deve portare a riflettere su cosa sia accaduto durante la lavorazione dell'impasto di farina e mettere in luce la presenza di composti distinti nella farina di tipo 00 che in acqua si comportano in modo diverso. Si può ulteriormente approfondire la questione proponendo la lettura di etichette di alimenti senza glutine e del seitan.

Infine, merita un approfondimento anche il discorso relativo alle caratteristiche dell'acqua di fonte. Aver avuto esperienza dei passaggi di stato e compresa la loro natura permette, inoltre, di condurre alcuni esperimenti volti alla separazione di soluto e solvente, al fine di rendere visibili i sali disciolti nell'acqua. Un eventuale confronto può essere posto, nel corso dell'esecuzione dell'esperimento, con l'acqua distillata. Poi, per mettere in luce la natura di miscuglio dell'ac-

qua di fonte, si può integrare l'attività con la lettura delle etichette delle bottiglie e con riferimenti all'ampio argomento del ciclo dell'acqua.

4. Conclusione e valutazione

L'unità didattica prevede un approccio induttivo al tema trattato, valorizzando intuizione e osservazione. L'attenzione va posta, dunque, sul collegamento tra la percezione (visiva, tattile, gustativa) e le proprietà della materia che a essa corrispondono.

Conclusa l'unità didattica, si potrà tenere conto, nel corso di attività manipolative successive, della consapevolezza raggiunta da ciascun bambino in merito all'eterogeneità e omogeneità dei materiali e anche alla capacità di saperle descrivere, facendo diretto ricorso alla sua esperienza percettiva.

Riferimenti e sitografia

- [1] G. Ladetto, *Nutrizione ed alimentazione animale*, CUSL, Facoltà di Medicina Veterinaria di Torino, 2002.
- [2] R. Carpignano et al., *La Chimica Maestra*, Baobab L'Albero della Ricerca, 2013.
- [3] M. Mucciarelli, Marco, M. Maffei, *Piante foraggere alimentari e medicinali: Atlante iconografico*. Levrotto & Bella, 2011.
- [4] *How to separate gluten from starch in wheat flour to make Chinese street food "niang pi"* (YouTube, Live Learn Love, 23 settembre, 2013, <https://www.youtube.com/watch?v=7MZkxGUAous>)

‘Catalyst’ un museo a tutto tondo, dedicato alla chimica e all’industria chimica

Valentina Domenici

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell’Università di Pisa
e-mail: valentina.domenici@unipi.it

Abstract. This brief contribution aims to describe my visit to the science center ‘Catalyst’, the first interactive science museum dedicated to Chemistry in Europe. The museum is located in the suburb of Liverpool in UK. Thanks to the various interactive hands-on exhibits and to the laboratory areas at the second floor, Catalyst is visited by many school classes and families from UK every year.

Keywords: musei scientifici; divulgazione; didattica museale; science center

L’occasione di visitare il primo museo interamente dedicato alla chimica in Europa è finalmente arrivata nel 2018, durante il congresso di chimica dell’EuChemS (la Società Europea di Chimica [1]) organizzato nel centro di Liverpool.

Situato nella periferia est della città affacciata sul mar d’Irlanda, il museo, chiamato ‘Catalyst’, nasce sulle rive del fiume Mersey e occupa uno degli edifici più imponenti della cittadina di Widnes, dalla vocazione industriale (Figura 1). In questa area, infatti, nella seconda metà del XIX secolo nacque un distretto industriale inizialmente dedicato alla produzione della soda, in seguito ampliato per produrre saponi. La società che la gestiva, legata alla famiglia *Gossage*, fu per molto tempo una delle principali produttrici di saponi al mondo ed ha influenzato molto l’area della periferia di Liverpool.



Figura 1. Posizione geografica di Catalyst nella periferia di Liverpool

Il legame tra il museo e l’industria chimica non è solo da attribuirsi al luogo, e in particolare al fatto che gran parte degli spazi si trovano nella *Tower Building* (Figura 2), sede del centro am-

ministrativo della società chimica, costruita nel 1860, ma soprattutto perché il museo nacque nel 1982 a partire da un'esposizione dedicata al centenario della *Society of Chemical Industry* e il suo primo nome fu *The Museum of the Chemical Industry* [2].



Figura 2. Foto dell'entrata del museo (sinistra) e immagine dell'edificio che ospita il museo vista dal fiume Mersey (destra)

Appena superata l'entrata del museo il visitatore viene immediatamente catapultato in uno spazio pieno di colori, molto irregolare, dove tante piccole 'isole' ospitano circa ottanta tra exhibit e vetrine dedicate a qualche aspetto della chimica di tutti i giorni e in particolare ai materiali e alle loro proprietà (Figura 3).



Figura 3. Fotografie eseguite da Valentina Domenici al primo piano del museo: alcuni exhibit interattivi dedicati alle plastiche (in alto) e vetrine contenenti oggetti o materiali di uso comune, come i pigmenti per colorare i tessuti (in basso a sinistra) e il sale comune (in basso a destra)

Non c'è un percorso obbligato, ma è possibile muoversi liberamente, ritornare a vedere e soprattutto a utilizzare oggetti, muovere marchingegni, provare e sperimentare, in una parola ad interagire. È questa l'anima interattiva di 'Catalyst', quella dove gli adulti tornano un po' bambini mossi dalla pura curiosità e i bambini imparano sperimentando. Un aspetto interessante riguarda anche i diversi livelli di lettura delle esposizioni e gli stratagemmi utilizzati dai curatori del museo per favorire l'interazione e il coinvolgimento. Qua e là lungo il percorso, ad esempio, il visitatore incontra delle 'molecole misteriose' e deve quindi raccogliere degli indizi utili per indovinare la loro origine e il loro nome!

Passando al piano superiore, l'atmosfera cambia radicalmente: si passa dai colori vivaci degli exhibit e dagli spazi aperti tipici del piano terra ai corridoi labirintici e alla quasi totale assenza di luce naturale. Il percorso qui è obbligato e segue la cronologia della storia dell'industria chimica a partire dalla metà del XIX secolo fino ad oggi. Le sale, strette, sono ricche di oggetti di valore storico, reagenti, manifesti e locandine antiche, oggetti prodotti dall'industria chimica e tante tante fotografie storiche [3]. Una sezione particolarmente ricca di documenti e oggetti scientifici storici è dedicata all'industria della soda e all'industria dei saponi (Figura 4, in alto); in questa sezione è anche presente un mezzo busto di Ernest Solvay (Figura 4, in alto a sinistra).



Figura 4. Fotografie eseguite da Valentina Domenici al secondo e terzo piano del museo: in alto, la sezione del museo dedicata all'industria chimica e alla storia di alcune industrie, come quella della soda e dei saponi; in basso, uno dei tanti spazi dedicati ai laboratori tematici e la sezione dedicata ai rifiuti, una delle esposizioni relative agli aspetti più problematici della nostra società

Uscendo da questo tuffo nella storia dell'industria chimica, ci avviciniamo agli altri due volti del museo Catalyst: la parte dedicata ai laboratori didattici e quella, all'ultimo piano, dedicata alle problematiche del rapporto tra chimica, industria chimica e società dei nostri giorni. I laboratori sono molto grandi e adatti ad accogliere numeri significativi di visitatori, che possono scegliere tra varie proposte e partecipare ad attività della durata media di un'ora. Giovani animatori accompagnano le famiglie alla scoperta della chimica dei recettori, dei colori e dei nutrienti. Microscopi (Figura 4, in basso a sinistra) e altri strumenti sono a disposizione dei bambini per osservare il mondo microscopico e scoprire le rugosità dei materiali, le forme delle cellule e alcune sostanze chimiche al loro interno, grazie all'utilizzo di reattivi colorati.

L'ultimo piano è uno spazio unico, circondato su tutti i lati da vetrate che permettono di capire meglio la geografia del territorio e la posizione strategica scelta dai padri dell'industria chimica che ha occupato questi spazi per più di cento anni. Qui, osservando il panorama, il visitatore incontra delle vetrine che contengono tanti oggetti di uso quotidiano, volutamente accatastati e disposti in modo disordinato, raggruppati per tipologie di materiale (Figura 4, in basso a destra). L'immagine immediata è di un luogo quasi abbandonato, un po' disarmante, ma è quello che effettivamente l'uomo lascia nell'ambiente: sono i nostri rifiuti. È forse questo un monito, un po' inquietante, che dovrebbe stimolare una riflessione più profonda sul nostro futuro e sul futuro del pianeta.

Chiunque volesse approfondire e conoscere meglio il patrimonio di Catalyst, il primo museo interattivo dedicato interamente alla chimica, può visitare il sito web [4] e seguire attraverso i social le tante iniziative organizzate da questo museo: un museo a tutto tondo, dedicato alla chimica e all'industria chimica.

Riferimenti

- [1] Link al sito dell'EUCHEMS: <https://www.euchems.eu/>
- [2] J. Emsley, The wonderful world of Widnes: Catalyst, the museum of the chemicals industry, Widnes, Cheshire, *New Scientist*, 19 August 1989.
- [3] Link all'archivio delle fotografie storiche del Museo Catalyst: <https://www.catalyst.org.uk/museum/about-our-collections/>
- [4] Link al sito web del Museo Catalyst: <https://www.catalyst.org.uk/>

M'illumino d'immenso

L'uomo e la luce: un rapporto da studiare

Giovanni Pellegrino¹

Studente del quarto anno di Medicina e Chirurgia presso l'Università di Bari
e-mail: g.pellegrino21@studenti.uniba.it

Abstract. The man is lost without light. The relationship between man and light reveals many hints for teaching in terms of physics, chemistry and preventive medicine.

Keywords: luce; radiazioni UV benefiche; radiazioni UV dannose; creme solari

1. Cos'è la luce?

In ogni momento della nostra esistenza, interagiamo con radiazioni elettromagnetiche dalla natura più disparata laddove ognuna di esse rappresenta, secondo la fisica, *la propagazione nello spazio dell'energia del campo elettromagnetico*. In questi termini, una radiazione può essere intesa come una perturbazione del campo elettromagnetico dall'andamento periodico nel tempo e nello spazio, nella quale si possono individuare due grandezze (Figura 1):

- La lunghezza d'onda, λ , intesa come la distanza minima fra due punti caratterizzati dallo stesso valore di campo elettrico (\vec{E}) e di campo magnetico (\vec{B}); in altri termini, può essere descritta come la distanza fra due creste o due gole e si misura in metri, [m], secondo il S.I.;
- La frequenza, f , intesa come il numero di cicli compiuto nell'unità di tempo; si misura in Hertz, [Hz], con $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

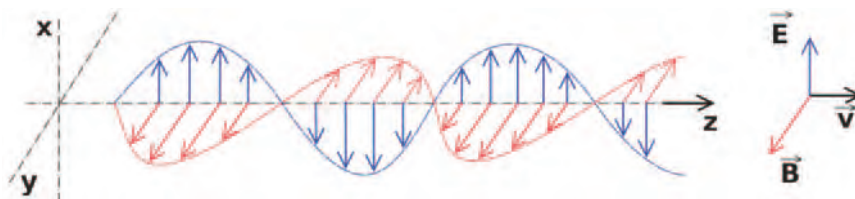


Figura 1. Rappresentazione schematica di una radiazione elettromagnetica, valida sia nel tempo che nello spazio (variabile z)

Queste due grandezze sono unite dalla relazione $\lambda \times f = v$ dove v rappresenta la velocità di propagazione della radiazione elettromagnetica; nel vuoto; v è uguale per tutte le radiazioni elettromagnetiche ed è indicata, convenzionalmente, come c con valore pari a $299.792.458 \text{ m s}^{-1}$.

¹ Medaglia d'Argento alle Olimpiadi Internazionali della Chimica, Parigi 2019.

A seconda delle lunghezze d'onda, o delle frequenze, si definisce lo spettro elettromagnetico. Ciò che il nostro occhio può apprezzare, ossia la *luce visibile*, rappresenta una minuta frazione dello spettro che va da 380 nm a 780 nm: il minimo corrisponde a quello che chiamiamo viola, mentre il massimo si riferisce al rosso. Le radiazioni con $\lambda < 380$ nm costituiscono la zona dell'*ultravioletto*, mentre le radiazioni con $\lambda > 780$ nm definiscono la zona dell'*infrarosso*.

La luce ultravioletta, o semplicemente UV, ha un rapporto conflittuale con l'essere umano, da nemico-amico; tale *zona* dello spettro elettromagnetico può essere ulteriormente distinta in tre *regioni* che sono UV-A (380-315 nm), UV-B (315-280 nm) e UV-C (280-100 nm).

2. UV amico: la fotosintesi della vitamina D

Per *fotosintesi* si intende un qualsiasi processo chimico finalizzato alla produzione di una sostanza che sia dipendente dalla luce. Quando se ne parla, si pensa subito alle piante con la ben nota *fotosintesi clorofilliana*, dimenticando che anche l'uomo è in grado di esplicare un tale fenomeno nell'ambito del metabolismo della vitamina D.

Per poter comprendere ciò, bisogna ricordare cos'è esattamente la cute. La *cute*, o più volgarmente la pelle, è l'organo di rivestimento dell'essere umano ed è il più esteso che possa essere descritto; essa, infatti, copre una superficie di circa 1,73 m² e prevede una struttura trilaminare, formata da *epidermide*, *derma* e *ipoderma*, procedendo dall'esterno verso l'interno. L'epidermide è lo strato più superficiale della cute ed è ulteriormente distinguibile in strati (Figura 2); essa è distinta dal derma grazie a una regione di confine ondulata che descrive *creste epidermiche* e *papille dermiche*.

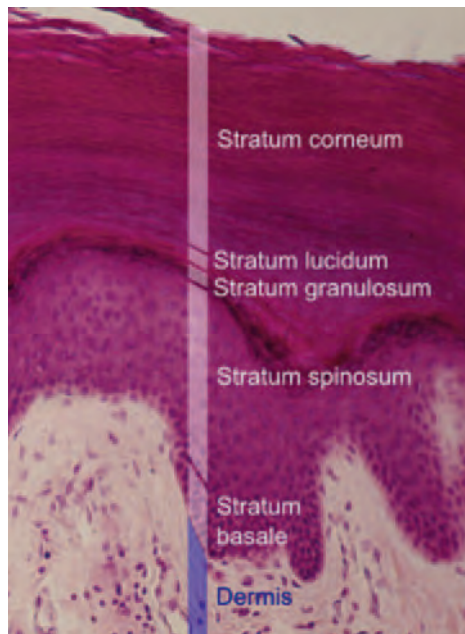


Figura 2. Struttura laminare dell'epidermide: lo strato più profondo, lo strato basale, è formato da cellule cubiche attivamente proliferanti che vanno in superficie, divenendo cellule squamose ossia piatte; così, si descrivono lo strato spinoso, lo strato granuloso, lo strato lucido e, infine, lo strato corneo; in quest'ultimo, le cellule perdono il nucleo e desquamano

L'epidermide è formata da più cellule di tipi diversi di cui, il tipo più rappresentato è quello dei *cheratinociti*: si tratta di cellule cubiche e nucleate nello strato basale per poi divenire squamose e anucleate nello strato corneo, che sono la struttura dell'epidermide stessa e accumulano al proprio interno una proteina detta *cheratina*; inoltre, essi possiedono un'attività steroidogenica importante, ossia sono in grado di produrre colesterolo e i suoi derivati, fra cui il 7-deidrocolesterolo.

Il 7-deidrocolesterolo è un composto instabile che in presenza di luce ultravioletta si trasforma in colecalciferolo attraverso due reazioni *pericicliche*. Per la precisione la prima di queste è una reazione *elettrociclica* in cui si rompe un legame π per formare un legame σ , mentre la seconda è una reazione *sigmatropica*, in cui si rompe un legame σ per formare un nuovo legame σ , come illustrato nella figura 3.

Il colecalciferolo è definito pro-vitamina D in quanto necessita di una serie di trasformazioni affinché passi dalla forma inattiva a quella attiva, la vitamina D propriamente detta: la prima trasformazione avviene nel fegato grazie all'enzima *25-idrossilasi* il quale converte il colecalciferolo a 25-idrossicolecalciferolo; la seconda riguarda il rene che esprime due enzimi differenti che sono la *1 α -idrossilasi*, che porta al 1 α ,25-diidrossicolecalciferolo, la forma attiva della vitamina D, e la *24-idrossilasi*, che inattiva la vitamina D e ne permette l'eliminazione con le urine dando il 24,25-diidrossicolecalciferolo o, addirittura, il 1 α ,24,25-triidrossicolecalciferolo.

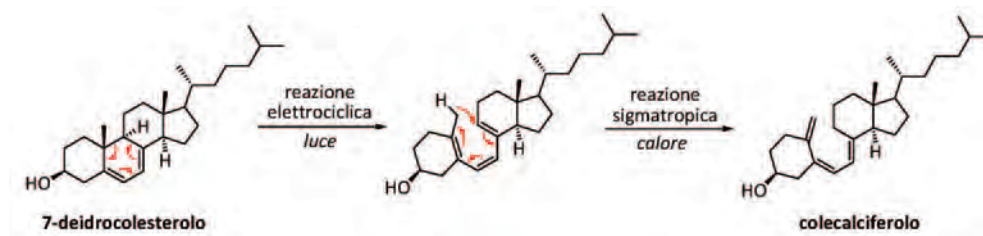


Figura 3. Fotosintesi del colecalciferolo: avviene in due stadi, il primo è una reazione elettrociclica fotomediata, mentre il secondo riguarda una reazione sigmatropica termo-mediata

Come vitamina D attiva, essa permette un maggior assorbimento intestinale di Ca^{2+} e un miglior riassorbimento renale di Ca^{2+} , promuovendo la formazione di ossa ben mineralizzate e forti, giacché quando la vitamina D manca, per esempio per una insufficiente esposizione alla luce solare, le ossa divengono più fragili e tendono a incurvarsi sotto il carico del peso corporeo. Si parla, così, di *osteomalacia*.

3. UV nemico: nevi e melanomi

Ad accompagnare i cheratinociti, ci sono tante altre strutture anatomiche, fra le quali i *melanociti*: si tratta di cellule presenti nello stato basale e spinoso dell'epidermide, famose perché attrici dell'abbronzatura grazie alla loro intensa produzione di *melanina*. La melanina è un composto polimerico derivato dalla tirosina, descrivibile in due forme quali la *eumelanina* e la *feomelanina* (Figura 4), entrambe capaci di schermare buona parte delle radiazioni elettromagnetiche emesse dal Sole, sebbene una parte di queste, specie gli UV-B e gli UV-C, rimangono in grado di penetrare la cute ed esplicare ivi danno.

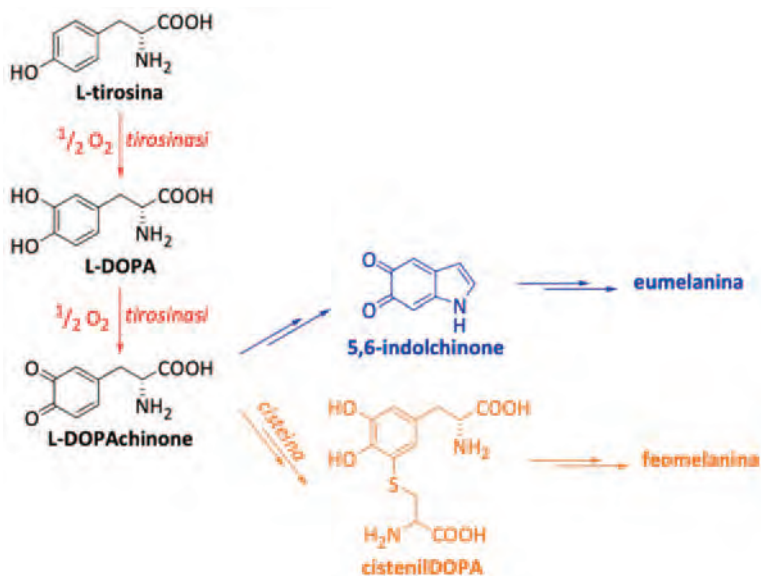


Figura 4. Ruolo biosintetico della tirosinasi nella sintesi dell'eumelanina e della feomelanina

In particolare, la produzione di melanina avviene in appositi organelli subcellulari, i *melanosomi*, i quali la accumulano, si organizzano intorno al nucleo per proteggere il DNA che è sensibile alla luce UV e, in parte, sono donati ai cheratinociti per il tramite dei *pedicelli melanocitari*. La sintesi della melanina potrebbe essere considerata una vera e propria fotosintesi anche se l'effetto della luce è indiretto: i cheratinociti producono normalmente una sostanza chiamata *prooppiomelanocortina*, o più semplicemente POMC, che rimane intrasformata; in presenza di raggi ultravioletti, il DNA dei cheratinociti viene gravemente danneggiato e questo attiva il sistema di controllo del DNA più potente in biologia, la proteina *p53*, che ha numerose funzioni fra cui ridurre POMC in vari frammenti polipeptidici come gli *ormoni stimolanti i melanociti*, MSH; questi ultimi inducono l'attività dell'enzima *tirosinasi* che è il punto chiave della sintesi della melanina.

In rari casi, il gene *TYR* che codifica per la tirosinasi è mutato al che cute e capelli sono candidissimi e si parla di *albinismo*; tale condizione è una malattia rara e costringe i soggetti affetti a limitare al minimo l'esposizione al Sole per evitare ustioni o, peggio, tumori.

I raggi UV della luce solare possono agire da radiazioni ionizzanti e danneggiare le molecole biologiche come il DNA. In genere, le cellule danneggiate seguono dei percorsi che le portano a morire; talora, però, possono deviare da tale cammino e diventare cellule tumorali.

I tumori della cute sono molto frequenti e spesso coinvolgono i melanociti che danno sia lesioni neoplastiche benigne, i *nevi* (o *nei*), sia lesioni neoplastiche maligne, i *melanomi*. La prevenzione di questi tumori è molto semplice perché basta avere un'esposizione adeguata alla luce solare, prediligendo le prime ore del mattino e le ultime del pomeriggio e avendo cura di usare, sempre e comunque, dei filtri o delle creme solari. Inoltre, sarebbe opportuno rivolgersi a un dermatologo ogni anno per la *mappatura dei nevi* al fine di evidenziare, controllare ed eventualmente rimuovere lesioni sospette; in tale ambito, c'è molto da lavorare per il Sistema Sanitario Nazionale affinché queste visite specialistiche vengano offerte a prezzi calmierati o, quantome-

no, ridotti perché il fattore economico fa sì che molte persone trascurino quest'aspetto importante della propria salute. Poi, va ricordato l'auto-controllo che ognuno di noi può svolgere periodicamente su sé stessi e che si basa sulla *regola ABCDE* della dermatologia: è una procedura molto semplice da applicare, abbastanza precisa e che permette evidenziare lesioni *sui generis* a priori (Figura 5).

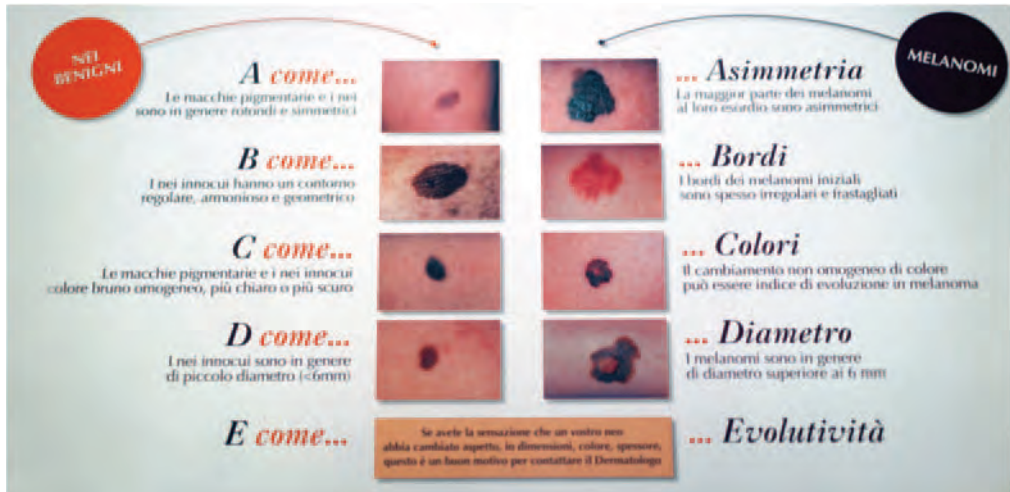


Figura 5. Regola ABCDE della dermatologia: principali caratteristiche e differenze fra nei e melanomi (<https://blog.prevenzioneatavola.it/>)

4. Attenzione alle creme solari!

Le creme solari sono il dispositivo di protezione solare più utilizzato assieme agli indumenti e agli occhiali da Sole. La loro bontà può essere valutata in base all'SPF, cioè il *fattore di protezione solare* che va inteso come l'inverso della frazione di luce che attraversa uno strato omogeneo di protezione: tanto più alto è l'SPF, tanto migliore è la protezione offerta, per cui creme con SPF pari a 50+ vanno preferite rispetto alle altre. Occorre sottolineare che l'SPF dipende solo dalla crema impiegata per cui, applicando due creme con SPF diverso, *non* si ottiene la somma degli SPF bensì, al massimo, un valor medio.

L'applicazione delle creme solari è importante; tuttavia, è anche opportuno scegliere la propria protezione non solo in base all'SPF, ma anche agli ingredienti utilizzati: tra i tanti, uno da considerare con attenzione è l'*octinoxate* il quale, in presenza di luce solare, dà reazioni di cicloaddizione (Figura 6) che liberano specie tossiche per la vita marina e che causano l'irreversibile sbiancamento della barriera corallina.

Ancora una volta, la luce innesca reazioni al limite della magia, assolutamente da considerare per avere un impatto migliore sulla natura e, comunque, proteggere sé stessi.

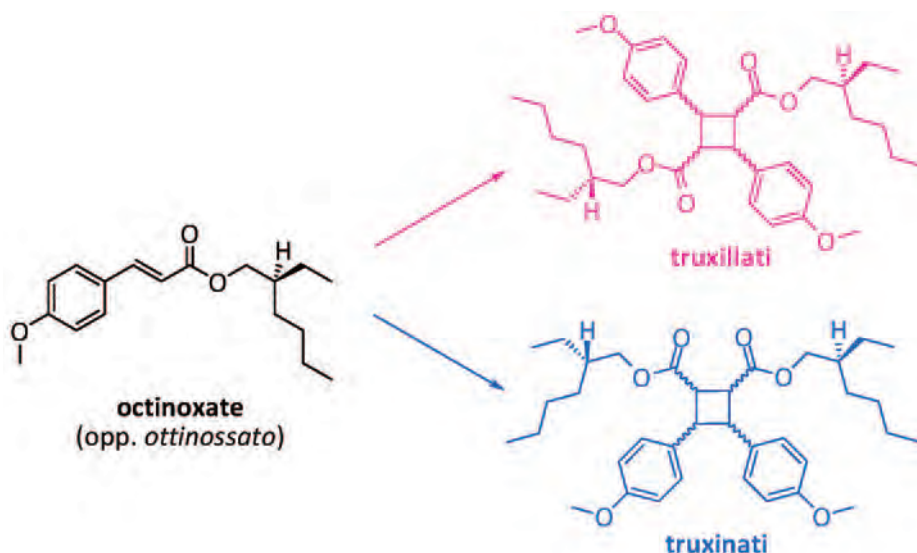


Figura 6. La cicloaddizione[2+2] fra due molecole di octinoxate causa la formazione di dimeri pericolosi per l'ambiente marino quali dimeri testa-coda (truxillati) e testa-testa (truxinati)

Altri composti a cui è bene porre attenzione sono l'*oxybenzone*, l'*homosalate* e l'*octocrylene*, che danno reazioni chimiche molto simili a quelle dell'octinoxate, producendo sostanze che possono procurare danno all'ambiente; ben più sicuri, invece, risultano essere il diossido di titanio, TiO_2 , e l'ossido di zinco, ZnO , che sono bio-compatibili e offrono un'ottima protezione, malgrado sia stata ipotizzata una loro possibile cancerogenicità.

5. L'uomo e la luce

La luce, nella sua natura più intima, rappresenta costituente di vita e di morte per l'uomo, fonte di salvezza e sorgente di perdizione. Lo sapeva bene *Alda Merini* che ne *La Presenza di Orfeo* (1949) scriveva:

*Chi ti scriverà, luce divina
che procedi immutata ed immutabile
dal mio sguardo redento?
Io no: perché l'essenza del possesso
di te è "segreto" eterno e inafferrabile;
io no perché col solo nominarti
ti nego e ti smarrisco;
tu, strana verità che mi richiami
il vagheggiato tono del mio essere.
Beata somiglianza,
beatissimo insistere sul giuoco
semplice e affascinante e misterioso
d'essere in due e diverse eppure
tanto somiglianti; ma in questo*

Giovanni Pellegrino

*è la chiave incredibile e fatale
del nostro "poter essere" e la mente
che ti raggiunge ove si domandasse
perché non ti rapisce all'Universo
per innalzare meglio il proprio corpo,
immantamente ti dissolverebbe.
Si ripete per me l'antica fiaba
d'Amore e Psiche in questo possederci
in modo tanto tenebrosamente
luminoso, ma, Dea,
non si sa mai che io levi nella notte
della mia vita la lanterna vile
per misurarti coi presentimenti
emananti dei fiori e da ogni grazia.*

Afferrare l'essenza della luce è difficile, sia come uomini che come anime. Tuttavia, è fondamentale ricordare che bisogna essere fonte di luce in un mondo di tenebre, cioè essere il verbo della verità scientificamente determinabile, in un mondo che sa sempre di più, ma più ignora.

Arte della guerra nel Rinascimento. Esempi di ricette di polvere da sparo all'ombra del Palazzo Ducale di Urbino*

Enrico Gamba

Centro Interdipartimentale di Studi Urbino e la Prospettiva
e-mail: gamba.enrico2@gmail.com

Davide Pietrini

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo
e-mail: davide.pietrini@uniurb.it

Abstract. The essay analyses the theme of the art of war in the Renaissance with a multidisciplinary approach, paying particular attention to the diversity of firearms and to the methods of preparing gunpowder, both described by Francesco di Giorgio Martini.

Keywords: polvere da sparo; Francesco di Giorgio Martini; arte della guerra; Rinascimento; formelle

1. Federico da Montefeltro e l'arte della guerra

Nel 2022 si sono celebrati i seicento anni dalla nascita del Duca urbinato Federico da Montefeltro (1422-1482). Federico da Montefeltro, prima di essere Duca e mecenate, era un condottiero militare: bocche di fuoco, cannoni e bombarde erano strumenti che conosceva benissimo e che sapeva impiegare in battaglia molto bene. Già negli assedi di Fano e Volterra, Federico aveva unito le sue competenze da stratega militare alla forza delle armi da fuoco. Queste nuove armi, che avevano fatto il loro ingresso nella scena bellica europea nel Trecento, utilizzavano la forza propulsiva della polvere da sparo, al tempo chiamata polvere pirica. Essa è una miscela chimica esplosiva fatta di salnitro, zolfo e carbone. Nel Rinascimento non esisteva una ricetta unica per realizzare questa particolare polvere. Ad esempio, le proporzioni dei tre componenti fondamentali variavano a seconda di numerosi fattori, tra le quali la forza propulsiva di cui si aveva bisogno e l'umidità atmosferica. Inoltre, come si evince dai trattati militari dell'epoca, alla composizione standard venivano aggiunti ulteriori elementi, che a noi possono sembrare a dir poco fantasiosi. In ogni caso, la padronanza di queste ricette era necessariamente parte del bagaglio culturale degli esperti di arte militare dell'epoca.¹

*Questo lavoro è stato svolto nell'ambito del Progetto PANN20_00029: *Alle radici dell'umanesimo scientifico. Valorizzazione con le tecnologie della realtà virtuale e aumentata delle macchine rappresentate nelle formelle del Palazzo Ducale di Urbino*. Progetto realizzato con il parziale contributo dal MUR: legge 28 marzo 1991 n. 113, "Iniziativa per la diffusione della cultura scientifica".

¹ Vannoccio Biringuccio nel Libro X del *De Pirotechnia*, pubblicato nel 1540, spiega come produrre la polvere pirica (edizione consultata V. Biringuccio, *De la pirotechnia*, appresso Gironimo Giglio, Venetia, 1559). Il rinomato maestro d'abaco Niccolò Tartaglia dedica una parte dell'opera *Quesiti et inventioni diverse* alle varie composizioni e alle proprietà

Federico da Montefeltro era probabilmente a conoscenza della letteratura sul tema. D'altronde era di suo interesse realizzare il più correttamente possibile e nel modo più opportuno la polvere da sparo, in modo da far funzionare al meglio la sua artiglieria. Strategia militare e conoscenze tecniche erano alla base della sua concezione di arte della guerra: quell'arte che Federico volle rappresentare sulla facciata del Palazzo Ducale di Urbino tra gli anni Settanta e Ottanta del Quattrocento. In questo lasso di tempo furono scolpite sulla spalliera del Palazzo 72 bassorilievi in pietra, le cosiddette formelle, raffiguranti macchine di guerra e di pace, artiglierie, armamenti e trofei. Questa mostra a cielo aperto, ideata da Federico da Montefeltro e in gran parte realizzata sotto la supervisione dell'architetto senese Francesco di Giorgio Martini (1439-1502), è attualmente conosciuta come *fregio dell'arte della guerra*. Tale esposizione simbolico-celebrativa della guerra rappresenta il legame che allora si stava velocemente delineando tra potere, scienza e tecnica. Tra i congegni rappresentati, ci sono bombarde, spingarde, cannoni o altre macchine da fuoco, come la famosa, quanto portentosa, macchina araba (Figura 1, formella n. 13).² Quest'ultima formella rappresenta una macchina da guerra all'insegna del verosimile. D'altronde sono numerosi i disegni del tempo che ritraggono macchine fantasiose e incredibili, segno che spesso l'immaginazione e la voglia di stupire il committente e i colleghi architetti fossero ben più importanti della realizzabilità pratica delle invenzioni.



Figura 1. Formella n. 13 (G. Bernini Pezzini, *Il fregio dell'arte della guerra nel Palazzo ducale di Urbino. Catalogo dei rilievi*, op. cit., p. 85)

della polvere pirica (N. Tartaglia, *Quesiti et inventioni diverse*, I edizione 1546, riproduzione in facsimile dell'edizione del 1554, a cura di A. Masotti, Brescia, 1959, Libro III). Sul tema si possono consultare l'introduzione di Aldo Mieli all'edizione critica del *De Pirotechnia* (V. Biringuccio, *De la pirotechnia* [1540], a cura di A. Mieli, Società Tipografica Barese, Bari, 1914, vol. I, Prologo, pp. XXVII-XLV), F. Ansani, «Tra necessità bellica ed innovazione tecnologica. La formazione dei «maestri di polvere» fiorentini nel Quattrocento», in *Mélanges de l'École française de Rome - Italie et Méditerranée modernes et contemporaines*, 131-2, 2019 (<http://journals.openedition.org/mefrim/6535>) e C. Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall e T. I. Williams (a cura di), *A History of Technology, Volume II, The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages c. 700 B.C. to c. A.D. 1500*, Clarendon Press, Oxford, 1972, vol. II, pp. 374-382.

² Attualmente i lavori più completi sulle 72 formelle del Palazzo Ducale di Urbino sono i seguenti: G. Bernini Pezzini, *Il fregio dell'arte della guerra nel Palazzo ducale di Urbino. Catalogo dei rilievi*, Galleria nazionale delle Marche, Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma, 1985; L. Molari, P. G. Molari, *Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del Palazzo ducale d'Urbino*, ETS, Pisa, 2006.

Attualmente i bassorilievi realizzati sotto l'egida di Federico da Montefeltro, insieme ad altri bassorilievi ottocenteschi, sono conservati in una sala al piano terra del Palazzo Ducale di Urbino della Galleria Nazionale delle Marche (un occhio attento noterà che le formelle rinascimentali sono 71 e non 72, in quanto una formella è andata distrutta probabilmente nel 1756, durante il distacco dalla spalliera esterna).

2. Le armi da fuoco nel Rinascimento

L'arma da fuoco si inseriva in un quadro geopolitico estremamente fragile e instabile, dove spesso gli scontri avvenivano per futili motivi. Inizialmente le armi da fuoco influirono in maniera molto marginale sullo svolgimento delle guerre. Rispetto alle silenziose armi da lancio medievali, il vantaggio delle armi da fuoco era soprattutto scenografico e psicologico: il boato, il fuoco e il fumo esaltavano gli assalitori e spaventavano i difensori.³

Le bocche da fuoco, chiamate generalmente cannoni, avevano un nome diverso a seconda dei calibri e delle forme. Le prime bocche da fuoco erano chiamate bombarde. Per bombarda si intendeva una bocca da fuoco generalmente di grosso calibro e di limitata lunghezza. Essa era costruita in ferro o in bronzo e sparava proiettili di pietra. La bombarda più grande arrivava a pesare anche 19 tonnellate e per trainarla occorreivano 60 buoi. Questa veniva caricata con proiettili sferici di pietra che pesavano intorno ai 100 kg. È facile pensare che non fosse semplice spostare queste enormi armi durante la preparazione delle campagne militari e le offensive belliche. Gli informati del tempo dicono inoltre che le bombarde di grandi dimensioni dopo aver sparato tre colpi andavano in frantumi e che, quindi, fosse necessario sparare un colpo ogni tre ore per farle raffreddare. Un altro esempio di artiglieria è il passavolante: una bocca da fuoco di piccolo calibro a lunga gittata che sparava proiettili in ferro. Il vantaggio di questa tipologia di arma è che aveva lo stesso effetto distruttivo delle altre con calibro più grosso, nonostante fosse più leggera.

Uno dei più importanti architetti militari del tempo era senza dubbio Francesco di Giorgio Martini, il quale alle corti urbinatesi di Federico da Montefeltro raggiunse il massimo della notorietà grazie ai suoi lavori alle fortezze nel Ducato. Nella versione del *Trattato di architettura civile e militare* del codice Magliabechiano II. I. 141 (conservato presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze) Francesco di Giorgio Martini presenta un elenco dettagliato dei tipi di bombarde, affinché la conoscenza di queste potesse essere utile per progettare edifici e sistemi di difesa (Figura 2).

³ Per una descrizione dell'uso delle armi da fuoco nel Rinascimento e in particolare nell'ambiente urbinatese si veda E. Gamba, *Uomini e cannoni a Urbino nel Rinascimento. Storie di architetti e ingegneri militari*, Quaderni del Centro di Studi "Urbino e la prospettiva", Urbino, 2008.



Figura 2. Codice Magliabechiano II. I. 141, Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., tavole non numerate, f. 48 tav. 241

Francesco di Giorgio ricorda che la Bombarda comune ha una lunghezza di circa 15-20 piedi (5-7 m) e che la pietra pesa circa 300 libbre (100 kg); il Mortaro diritto o campanuto è lungo circa 5-6 piedi (2 m) e la pietra pesa 200-300 libbre (circa 67-100 kg); il Comune o Mezzana è lungo circa 10 piedi (3,5 m) e la pietra pesa circa 50 libbre (17 kg); la Cortana ha una lunghezza di circa 8 piedi (3 m) con la coda di circa 4 piedi (1,5 m) e la pietra pesa circa 70-100 libbre (23-30 kg); il Passavolante è lungo circa 18 piedi (6 m) e la pietra (con una parte in ferro) pesa circa 16 libbre (5 kg); il Basalisco è lungo circa 22-25 piedi (8 m) e la pietra di metallo pesa circa 20 libbre (7 kg); la Carbuttana è lunga circa 8-10 piedi (3,5 m) e la pietra di piombo pesa circa 2-3 libbre (0,6-1 kg); la Spingarda è lunga circa 8 piedi (3 m) e la palla pesa circa 10-15 libbre (3-5 kg); l'Arco Buso è lungo circa 3-4 piedi (1,5 m) e la palla (di piombo) pesa 6 oncie (circa 0,18 kg); lo Scoppietto è invece lungo circa 2-5 piedi (1-1,5 m) e la pallotta (di piombo) pesa circa 4-6 dramme (0,0072-0,0108 kg).⁴

⁴ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, a cura di C. Maltese e L. Degrassi Maltese, 2 voll., Edizioni il Polifilo, Milano, 1967, Quinto Trattato, pp. 417-420; Francesco di Giorgio Martini, *Trattato di architettura civile e militare, con dissertazione e note per servire alla storia militare italiana*, a cura di C. Saluzzo e P. Promis, Tipografia Chirio e Mina, Torino, 1841; risorsa parzialmente disponibile online: https://it.wikisource.org/wiki/Trattato_di_architettura_civile_e_militare_I (Libro V, Capo 1 e Capo 2).

3. Esempi di ricette di polvere da sparo

Alcune bocche da fuoco sono le protagoniste delle già citate formelle del *fregio dell'arte della guerra* (come nel caso delle formelle n. 20, n. 22, n. 30 e n. 37). Una delle più interessanti è la formella n. 55 (Figura 3). Quest'ultima rappresenta al centro una bombarda con accanto un barile di polvere da sparo, mentre in basso a sinistra possiamo notare una “cucchiara” per il caricamento della polvere.



Figura 3. Formella n. 55 (Bernini Pezzini, *Il fregio dell'arte della guerra nel Palazzo ducale di Urbino. Catalogo dei rilievi*, op. cit., p. 183)

È chiaro che un elemento essenziale per la riuscita di una campagna militare con armi da fuoco era l'impiego ottimale della polvere. La polvere pirica, chiamata anche polvere nera, è una miscela di carbone, zolfo e nitrato di potassio o salnitro. Questi elementi potevano essere ottenuti secondo diverse modalità. Lo zolfo c'era in abbondanza nella miniera di Perticara di Novafeltria, situata in provincia di Rimini,⁵ il carbone veniva prodotto dal legno di salice con un procedimento analogo a quello della carbonella,⁶ mentre il nitrato di potassio era ottenuto da ammassi di terriccio mescolati a residui organici, letame e urina.⁷

Ora sappiamo che per ottenere una buona polvere da sparo è necessario che gli elementi siano nelle giuste proporzioni: il carbone 15 per cento, il nitrato di potassio o salnitro (KNO_3) 75 per cento e lo zolfo 10 per cento. Lo zolfo e il carbone fungono da combustibile, invece il salnitro è il comburente. La polvere per esplodere deve entrare in contatto con una fiamma o con una

⁵ A. Quartaroli, C. Rodano, F. Millosevich, A. Benedicenti, L. Manfredi, Zolfo, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani, 1937; [https://www.treccani.it/enciclopedia/zolfo_%28Enciclopedia-Italiana%29/#:~:text=Elemento%20metalloideico%2C%20simbolo%20S%2C%20peso,16\)%2C%20numero%20atomico%2016](https://www.treccani.it/enciclopedia/zolfo_%28Enciclopedia-Italiana%29/#:~:text=Elemento%20metalloideico%2C%20simbolo%20S%2C%20peso,16)%2C%20numero%20atomico%2016).

⁶ ZonWu, Salnitro, zolfo e carbone: la polvere nera nell' antichità, in *VitAntica.net*, 2019; <https://www.vitantica.net/2019/09/23/salnitro-zolfo-carbone-polvere-nera/>.

⁷ U. Sborgi, Salnitro, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani, 1936; https://www.treccani.it/enciclopedia/salnitro_%28Enciclopedia-Italiana%29/.

fonte di calore, è sufficiente anche una piccola scintilla.⁸ Prima non si possedevano queste conoscenze e al tempo non era facile realizzare una buona polvere da sparo. Si procedeva per tentativi e, soprattutto, ci si affidava alle conoscenze alchemiche, ovvero alla chimica di allora. Anche se spesso i metodi di preparazione erano diversi tra loro, in generale essi avevano in comune alcuni inevitabili passaggi. Il carbone veniva triturato all'interno di mortai; una volta polverizzato, si aggiungevano gli altri componenti (zolfo e salnitro) e si continuava a pestare fino ad ottenere una miscela il più omogenea possibile. La mistura poi veniva bagnata per ottenere composti più stabili e più efficaci. Quindi, la polvere nera veniva modellata in pani e lasciata seccare, fino alla perdita totale di acqua. Questo accorgimento era necessario per far fronte a un salnitro che all'epoca era prevalentemente disponibile nelle sue forme impure e più igroscopiche (come il salnitro costituito da nitrato di sodio – NaNO_3 – o il salnitro costituito da nitrato di calcio – $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Per purificare il salnitro, nel 1606 l'ingegnere Luigi Colliado suggeriva di metterlo sopra una brace di fuoco per eliminare le impurità e per far fuoriuscire l'acqua.⁹ Nel tempo ci si accorse che se il composto fosse rimasto in grani, anziché polverizzato, allora si sarebbe potuto controllare meglio la velocità di combustione della polvere, avendo così dei vantaggi nella fase di detonazione.

La polvere da sparo aveva fatto la sua comparsa probabilmente in Cina tra il 900 d.C. e 1100 d.C. ed era utilizzata principalmente per feste e scopi religiosi. Tuttavia, ben presto si intuirono le possibilità di applicazioni in ambito prima civile e poi militare. Il passo dalle feste alle guerre fu breve. Con rapidità la fabbricazione e l'utilizzo della polvere da sparo arrivarono in Occidente, grazie soprattutto alle attività mercantili che rendevano estremamente facili i contatti del mondo cinese con quello arabo, e di quello arabo con l'Occidente.

Nella versione del *Trattato di architettura civile e militare* del codice Senese S. IV. 4 (conservato presso la Biblioteca Comunale degli Intronati di Siena), Francesco di Giorgio Martini inserisce una parte in cui si dilunga sia sulla composizione della polvere pirica, che deve essere modulata a seconda del tipo di bombarda, sia sul modo di conservarla. La corretta composizione della polvere era rilevante affinché l'arma da fuoco potesse svolgere efficacemente il suo compito. Per questo motivo Francesco di Giorgio elenca le proporzioni che devono esserci tra la quantità della polvere da sparo e il peso del proiettile. Ad esempio, ogni 100 libbre di pietra si devono impiegare 16 libbre di polvere da sparo:¹⁰

Per le ragioni antidette è conveniente trattare delle polveri, diverse secondo che varie forme di bombarde si trovano. Per questo è da sapere che la polvere da bombarda o mortaro che porti pietra da libbre 250 in su, ricerca 7 parti di nitro, 4 di zolfo [e] 2 di

⁸ F. Grottanelli, G. Pannoncini, Polveri piriche, in *Enciclopedia Italiana*, Treccani, 1935; https://www.treccani.it/enciclopedia/polveri-piriche_%28Enciclopedia-Italiana%29/.

⁹ L. Colliado, *Prattica manuale dell'artiglieria dove si tratta dell'eccellenza, e origine dell'arte militare, e delle macchine usate dagli antichi*, per Girolamo Bordoni e Pietromartire Locarni, Milano, 1606, p. 262 e anche G. Lionetti, M. Pelosi, I "salnitriari" e la produzione della polvere da sparo a Matera, in *Mathera. Rivista trimestrale di storia e cultura del territorio*, pp. 8-14; <http://www.rivistamathera.it/wp-content/uploads/2021/03/Lionetti-Pelosi-I-salnitriari-e-la-produzione-della-polvere-da-sparo-a-Matera-min.pdf>.

¹⁰ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., Quinto Trattato, p. 420. Una libbra corrisponde a circa 300 gr. Tuttavia, al tempo di Francesco di Giorgio Martini la stessa unità di misura variava di città in città. Per fare un esempio a Pesaro una Libbra anconitana equivaleva a circa 0,3296 kg.; a Urbino una libbra equivaleva a circa 0,3255 kg.; a Siena una libbra equivaleva a circa 0,3395 kg.; a Roma una libbra equivaleva a circa 0,3390 kg. Sul tema si veda il fondamentale lavoro di Martini (A. Martini, *Manuale di metrologia ossia misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*, Ermanno Loescher, Torino, 1883).

carbone a peso. La polvere per altre bombarde minori, mortari, cortane, comune, mezzane o spingarde, richiede 4 di nitro, 2 di zolfo et una di carbone. Per li passavolanti, cerbottane et archibusi 8 di nitro, 3 di zolfo e 2 di carbone; per li scoppietti 14 di nitro, 3 di zolfo e 3 di carbone. [...] La polvere eziandio con arte e si può lungo tempo preservare in questa forma: piglisi aceto fortissimo e c[h]iario e con esso si facci pasta della polvere, dipoi se ne facci pani dalle quattro alle otto libbre, et all'ombra si faccino disseccare, overo non possendo al sole o nel forno, et in questo modo si manterrà nella sua prima perfezione non piccolo tempo.¹¹

Nella versione saluzziana (Torinese Saluzziano 148, conservato presso la Biblioteca Reale di Torino) del *Trattato di architettura civile e militare*, Francesco di Giorgio precisa come devono essere fatte le bombarde per resistere all'impeto dell'esplosione. L'architetto senese suggerisce il ferro o il rame come materiali adatti alla costruzione, perché sono più resistenti del bronzo.¹²

Da buon architetto militare, Francesco di Giorgio sa bene che il dosaggio dei componenti della polvere pirica è in grado di condizionare l'efficacia delle bombarde e, quindi, può influenzare la capacità di difendersi dal nemico o di vincere la guerra. In appendice al *Trattato di architettura civile e militare* nella versione saluzziana, Francesco di Giorgio inserisce una sua libera traduzione di *Liber ignium ad comburendos hostes* di Marco Greco, un testo molto importante in cui vengono descritte le "ricette" per produrre la polvere da sparo.¹³ Benché attualmente sappiamo pochissimo della vita di questo autore, è noto che questa operetta fosse conosciuta sin dal Medioevo: essa era letta e studiata dagli alchimisti, soprattutto perché contiene una delle prime descrizioni della polvere da sparo, dei suoi componenti e dei suoi usi.¹⁴ Riportiamo ora alcune ricette proposte da Marco Greco per realizzare miscele esplosive e trascritte da Francesco di Giorgio.

La prima consiste nel pestare insieme una libbra di «sandarac pura» (resina di ginepro comune) e una libbra di «ammoniaco liquidissimo» (probabilmente ottenuto dal sale ammoniaco); quindi riporre il tutto in un contenitore di vetro e scaldarlo sul fuoco in modo che si possa liquefare; infine aggiungere quattro libbre di catrame.

Un altro modo è mettere insieme in un recipiente olio di «etiopia» (estratto da salvia argentea), catrame e olio di zolfo (olio ottenuto da polvere di zolfo e olio di ginepro). Il composto così ottenuto deve poi essere riposto sotto il letame di pecora per quindici giorni. Trascorso il tempo necessario per la maturazione, la miscela può essere utilizzata per riempire dei corni cavi da tirare ai nemici. I corni non prenderanno subito fuoco ma si incendieranno con il calore del Sole.

Francesco di Giorgio riporta anche la "ricetta" del fuoco greco, una miscela esplosiva utilizzata dai bizantini per incendiare le navi avversarie e così composta: zolfo, colofonia grassa (resina vegetale), «sterco vecchissimo di colombo», asfalto (probabilmente una miscela di idrocarburi) e tre libbre di nafta chiara. Dopo aver macinato il composto, spiega l'architetto senese, bisogna aggiungere olio di lino e trementina (resina vegetale) in un'ampolla piena di loto. A

¹¹ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., Quinto Trattato, pp. 420-422, seguiamo la versione del codice Senese S. IV. 4 (Biblioteca Comunale degli Intronati di Siena).

¹² Ivi, *Arte militari e machine belliche antiche e moderne*, pp. 220-221.

¹³ G. Giorgetti, Gli albori delle armi da fuoco, dalle antiche miscele incendiarie alle bombarde europee, *Rivista "Etnie"*, 11/03/2017; <https://www.rivistaetnie.com/armi-da-fuoco-antiche-79772/>.

¹⁴ E. Mori (a cura di), Marchus Graecus - Liber ignium - Testo latino e traduzione in lingua italiana, in *Enciclopedia delle armi*, 1997-2003; <https://www.earmi.it/varie/marco%20greco.htm>.

questo punto è necessario far maturare la miscela ottenuta in «sterco» di cavallo per un mese, avendo l'accortezza di cambiare lo sterco ogni sette giorni. Tale polvere diventerà liquida e dovrà essere versata in una cucurbita cava (ad esempio in una zucca). Infine, si procede con la distillazione.¹⁵ Con il termine cucurbita si indicava anche un vaso di vetro, terracotta o metallo, dal fondo piatto, che faceva parte dell'alambicco ed era, appunto, usato nelle distillazioni.

Un altro modo per produrre il fuoco greco è fondere insieme pece greca (un tipo di resina), «galbarun» (galbano, una gomma resina ottenuta per incisione del fusto delle piante del genere *ferula*) e zolfo pestato; al termine si doveva aggiungere un quarto di cera rispetto al peso del composto ottenuto.¹⁶

Il fuoco greco, può essere realizzato, riporta Francesco di Giorgio, anche facendo bollire insieme zolfo, feccia indurita del vino, «sercocolla» (una specie di gomma resina), «sal petroso» (sale minerale, più verosimilmente salpetre o salpietra, nitrato di potassio) e olio comune.

Francesco di Giorgio traduce anche la ricetta di un fuoco molto potente, in grado di distruggere la città sui monti. Si mescoli una libbra di balsamo, cinque libbre di pece liquida, olio di uova e calcina viva (calce viva). Con questo composto si possono ungere pietre, legna ed erba, tutto ciò che si vuole bruciare: la prima pioggia autunnale l'accenderà e farà bruciare tutto.¹⁷ La calce viva, per la sua particolare caratteristica di accendere la miscela con il calore che sviluppava a contatto con l'acqua, era spesso impiegata nelle battaglie navali. Ovviamente, il tentativo di spegnere l'incendio con l'acqua non faceva altro che produrre altro calore e prolungare la combustione della miscela.

4. Dal Rinascimento ai giorni nostri. Alcune valutazioni sull'arte della guerra

La polvere pirica rimase l'unico esplosivo fino a metà Ottocento, quando fu soppiantata dalle cosiddette "polveri senza fumo", come la balistite e la cordite.¹⁸ La principale novità di queste polveri è nel loro epiteto: la balistite e la cordite sviluppavano molto meno fumo rispetto alla polvere pirica. Meno fumo significa migliore visibilità del tiratore e minore probabilità di essere individuati dai nemici. A differenza della polvere pirica, le "nuove" polveri sono a base di nitrocellulosa, ottenuta dalla nitratazione di cellulose, e di nitroglicerina, ottenuta gelatinizzando la nitrocellulosa con la nitroglicerina. La balistite (costituita da nitrocellulosa e da nitroglicerina in parti uguali) è stata brevettata da Alfred Nobel sulla base delle ricerche di Paul Marie Eugène Vieille.¹⁹ La cordite, inizialmente costituita dal 57% di nitroglicerina, fino al 5% di vasellina e il resto di nitrocellulosa, fu inventata da chimici inglesi e venne largamente utilizzata nella Se-

¹⁵ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., Dal «Libro dei fuochi» di Marco Greco, pp. 247-250.

¹⁶ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., *Arte militari e machine belliche antiche e moderne*, p. 207.

¹⁷ *Ibidem*.

¹⁸ F. Grottanelli, G. Pannoncini, *Polveri piriche*, op. cit.

¹⁹ P. Cardillo, Paul Vieille vs Marcellin Berthelot: chi ha davvero inventato la bomba calorimetrica?, in *La chimica e l'industria*, anno XCVII, n° 2, marzo/aprile 2015, pp. 56-58; https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2015_2_56_ca.pdf.

conda Guerra Mondiale.²⁰ Attualmente la tradizionale polvere da sparo è prevalentemente usata per realizzare i fuochi d'artificio.

Le diverse soluzioni rinascimentali per realizzare la polvere da sparo, qui brevemente elencate, ci permettono di capire quanto nel tempo le nostre conoscenze tecnico-scientifiche si siano evolute. Tuttavia, come la storia insegna e come il presente continua a farci ricordare, l'evoluzione delle conoscenze tecnico-scientifiche non implica una progressiva maturazione del nostro essere uomini o del nostro senso civico. Le numerose guerre continuano a dilaniare il mondo in cui viviamo, producendo sofferenza, morte e paura. La materializzazione di un rischio bellico nella pancia del continente europeo potrebbe finalmente far riflettere sul fatto che accanto al progresso tecnologico e scientifico sia da affiancare anche un progresso civile e umano. Non per caso, nel componimento poetico dedicato all'artiglieria, il poliedrico urbinato Bernardino Baldi (1553-1617) esprimeva la sua valutazione sull'impatto delle armi da fuoco utilizzando queste parole:

Dopo mille anni e mill'anni, al secol nostro;/ già per mille cagion nimico al cielo,/ venisse à noi lo spaventoso ordigno,/ dalle mani di Pluton.²¹

Tuttavia, il progresso tecnologico e scientifico non può e non deve arrestarsi, anche se lo spettro di un uso improprio delle innovazioni tecniche sembra essere sempre dietro l'angolo. Nella parte finale del *Discorso di chi traduce sopra le machine se moventi*, un'introduzione posta in apertura della traduzione in volgare dell'opera *De gli automati ovvero macchine semoventi* di Erone, sempre il già citato Bernardino Baldi riflette sul valore morale della tecnica.²² In questa introduzione Baldi allude al fatto che la tecnica non deve essere considerata né buona né cattiva: le valutazioni morali possono essere attribuite solamente all'uso che l'uomo fa della tecnica. Anche Francesco di Giorgio Martini era rimasto stupito dalla violenza sprigionata dalle armi da fuoco, le quali però, secondo il suo punto di vista, sono necessarie per difendersi dagli aggressori.

Ma li moderni ultimamente hanno trovato uno strumento di tanta violenza, che contro a quello non vale gagliardia, non scudi, non fortezze di muri, peroché con quello ogni grossa torre in piccolo tempo è necessario si consumi.²³

In questa breve ricostruzione abbiamo voluto porre l'attenzione sull'importanza storica dell'evoluzione dell'arte della guerra in epoca rinascimentale, prendendo come esempio i riferimenti alla polvere da sparo nel *fregio dell'arte della guerra* del Palazzo Ducale di Urbino e nei *Trattati di architettura civile e militare* di Francesco di Giorgio Martini. Sebbene il nostro ripudio per ogni genere di violenza sia totale, riconosciamo, e in fondo è un dato di fatto, che nell'arte militare tipica del periodo rinascimentale, come anche in quella che contraddistingue la nostra epoca, convergono i saperi e le innovazioni chimiche e tecniche del tempo.

²⁰ Britannica, The Editors of Encyclopaedia, «Cordite», in *Encyclopedia Britannica*, 13 Apr. 2017; <https://www.britannica.com/technology/cordite> (Accessed 20 December 2022).

²¹ Bernardino Baldi, Biblioteca Nazionale di Napoli, ms XIII D. 38, c. 196r, in A. Serrai, *Bernardino Baldi. La vita, le opere. La biblioteca*, Edizioni Sylvestre Bonnard, Milano, 2002, pp. 184-186.

²² B. Baldi, *Di Herone Alessandrino, De Gli Automati, ovvero Machine Se Moventi, Libri due*, appresso Girolamo Porro, Venetia, 1589, *Discorso di chi traduce sopra le machine se moventi*.

²³ Francesco di Giorgio Martini, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*, op. cit., Quinto Trattato, pp. 417-418.

News

Il “Mu-Ch”, museo della chimica di Settimo Torinese

Silvano Fuso

e-mail: silvanofuso@tin.it

Secondo una vecchia massima, attribuita a Confucio: “Se ascolto dimentico, se vedo ricordo, se faccio imparo”. La didattica museale [1] cerca proprio di mettere in pratica questa massima, mostrando al pubblico oggetti reali e, nel caso di musei interattivi, coinvolgendo i visitatori in attività pratiche. Un significativo esempio di questo tipo di didattica è nato recentemente a Settimo Torinese (TO) e riguarda proprio la Chimica. Ci riferiamo al Mu-Ch, ovvero Museo della Chimica [2], inaugurato il 29 giugno 2022 e aperto al pubblico il 1° luglio.



Ricca di significato e di storia è anche la sede dove il museo è collocato. Si tratta, infatti, di una palazzina di via Leinì n. 84, che ospitò in passato la fabbrica di vernici Siva. In essa, nel 1948, fu assunto Primo Levi (1919 - 1987), dopo il suo ritorno da Auschwitz. Il chimico scrittore vi rimase fino alla pensione, nel 1974, con la qualifica di direttore generale.

Come si legge nella presentazione sul sito, il MUCH è “il primo museo d’Europa a proporre un percorso interattivo dedicato alla Chimica. Un luogo d’incontro e scoperta, dove tutti possono fare un’esperienza immersiva e coinvolgente nel mondo della scienza. Abbiamo sviluppato le attività con metodi e approcci innovativi e siamo felici di darvi il benvenuto in un ambiente coloratissimo e di design”.

Punto di forza del Mu-Ch è proprio la sua interattività e, quindi, la messa in pratica dell’ultima parte della massima di Confucio: se faccio imparo. Nel Mu-Ch, infatti, sono in vigore tre regole ferree che non si possono disattendere: 1) sperimentare, 2) essere curiose e curiosi, 3) vietato non toccare.

Queste tre regole valgono durante tutto il percorso di visita che comprende ben 16 laboratori, 28 semplici esperimenti in cui il pubblico viene coinvolto, una tavola periodica degli elementi che tappezza un’intera parete, una saletta per le conferenze, un bar-chimico e un planetario.

Come viene dichiarato espressamente nel sito: “Il Mu-Ch è un museo aperto a tutte le età. Uno dei nostri obiettivi è quello di stimolare la curiosità e la conoscenza della chimica e della scienza nelle nuove generazioni, attraverso un luogo dove l’apprendimento diventa interazione con i fenomeni scientifici che ci circondano. Questo processo interessa i più piccoli, ma può coinvolgere direttamente tutta la famiglia! Genitori e figli possono apprendere insieme in maniera innovativa, in un ambiente informale e coinvolgente dove poter sperimentare, scoprire e giocare”.

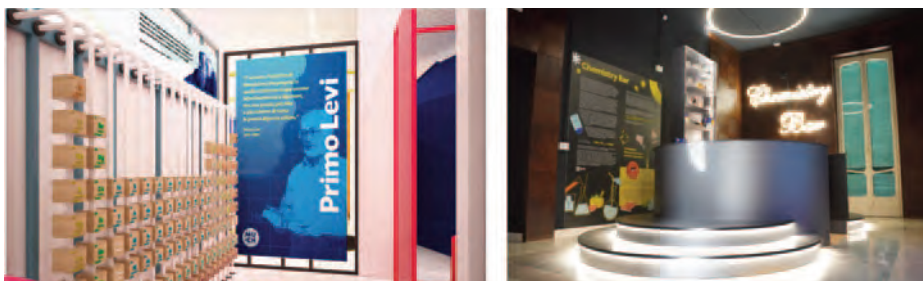
Se il target di pubblico preferenziale è costituito dai bambini dai 6 ai 12 anni, la visita è altamente consigliabile ai visitatori di qualsiasi età, purché curiosi e disposti a divertirsi in modo intelligente.

Il piano terra della palazzina ospita uno spazio chiamato C-Lab: si tratta di una stanza-laboratorio in cui i bambini (ma non solo) possono eseguire in prima persona gli esperimenti chimici, guidati da animatori esperti. Gli accompagnatori, che non vogliono sporcarsi le mani, possono accomodarsi in una stanza, usufruire del planetario, o leggere qualche libro comodamente seduti.

Sulle pareti del piano superiore si possono osservare alcune delle tappe più significative della storia della Chimica. Sullo stesso piano si trovano poi gli *exhibit* e le installazioni del museo che consentono di partecipare in prima persona a esperimenti che riguardano diversi aspetti legati al comportamento e alle proprietà della materia (dagli stati di aggregazione alle proprietà magnetiche, dalla tensione superficiale all'elettrochimica, ecc.) e assistere a veri e propri show scientifici, tenuti nella Sala Convegni, con un susseguirsi di reazioni chimiche spettacolari, in un crescendo dinamico e divertente.

Non poteva poi mancare una stanza dedicata proprio a Primo Levi con una mostra che ripercorre la sua vita con testimonianze di chi lo ha conosciuto da vicino. Ricordiamo che alla realizzazione del Mu-Ch ha contribuito anche il Centro Internazionale di Studi Primo Levi [3] (gli altri artefici sono il Gruppo Pleiadi, l'azienda ETT e il finanziamento è stato ottenuto nell'ambito del Piano nazionale per la riqualificazione sociale e culturale delle aree urbane).

Nel *chemistry bar*, infine, un American-bar anni '80, al posto di cocktail vengono servite reazioni chimiche, piacevoli intrugli e cocktail molecolari.



Il Mu-Ch di Settimo Torinese è solo l'ultimo arrivato di una “Rete dei musei di chimica” [4] istituita nel 2010 nell'ambito della Società Chimica Italiana, con l'intento di censire e promuovere le piccole realtà museali e le collezioni scientifiche dedicate alla chimica in Italia. Alla rete appartengono attualmente più di una ventina di realtà tra musei, collezioni di strumenti storici e collezioni di vetreria scientifica in tutto il territorio nazionale. Sono state inoltre organizzate diverse iniziative per mettere, appunto, in rete questi musei e, tra queste, anche convegni specialistici.

Le realtà museali distribuite sul territorio, oltre a rappresentare un ingente valore storico e scientifico, svolgono importanti attività divulgative rivolte all'esterno, quali mostre, eventi, festival scientifici e attività didattiche per le scuole: occasioni preziose per fare buona comunicazione della Chimica e in generale della scienza.

Riferimenti

- [1] Si veda: V. Domenici, L. Campanella (a cura di), *La chimica nei musei. Creatività e conoscenza*, University Press, Pisa, 2020.
- [2] <https://www.mu-ch.it/>.
- [3] <https://www.primolevi.it/it>.
- [4] <https://www.reteissa.it/chimica/museo/musei.htm>.

News

Alessandro Volta e l'elettrochimica come volano per un futuro sostenibile: un evento IUPAC italiano per l'*International Year of Basic Sciences for Sustainable Development*

Silvia Borsacchi

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM) del CNR, Pisa e Commissione Nazionale del CNR per IUPAC (2019-2022)
e-mail: silvia.borsacchi@pi.iccom.cnr.it

Matteo Guidotti

Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche "Giulio Natta" (SCITEC) del CNR, Milano e Commissione Nazionale del CNR per IUPAC (2019-2022)

Alessandra Sanson

Istituto di Scienza, Tecnologia e Sostenibilità per lo Sviluppo dei Materiali Ceramici (ISSMC) del CNR, Faenza e Commissione Nazionale del CNR per IUPAC (2019-2022)

Alessandro Minguzzi

Dipartimento di Chimica dell'Università di Milano e IUPAC Young Observer per l'Italia

Andrea Pozzi

Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria, Como

Augusta Maria Paci

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM) del CNR, Sesto Fiorentino e Commissione Nazionale del CNR per IUPAC (2019-2022)

Maurizio Peruzzini

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM) del CNR, Sesto Fiorentino e International Science Council (ISC)

Il 24 ottobre 2022, nell'ambito degli eventi organizzati in tutto il mondo per celebrare l'*International Year of Basic Sciences for Sustainable Development* (<https://www.iybssd2022.org/en/home/>), la Commissione Italiana del CNR per IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), che rappresenta l'Italia nella più grande unione internazionale di chimica (<https://www.iupac.cnr.it/it/>), ha organizzato per studenti universitari e di scuole secondarie, docenti, ricercatori e grande pubblico, una mattina dedicata all'elettrochimica, importantissima branca della chimica, nata alla fine del 1700 dal genio italiano di Alessandro Volta e oggi di grande attualità per rispondere alle più urgenti sfide ambientali. L'evento è stato ospitato dall'Università dell'Insubria nel bellissimo complesso della Basilica romanica di Sant'Abbondio a Como, città natale di Volta.



La mattina è stata aperta dai videomessaggi dei presidenti di IUPAC, Prof. Javier Garcia Martinez, e di ISC (International Science Council), Prof. Peter Gluckman, che, nel salutare calorosamente l'iniziativa italiana, hanno fortemente sottolineato l'importanza delle scienze di base e di eventi come questo, che permettono di comunicare, soprattutto ai giovani, il ruolo fondamentale delle scienze. Celebrando le scoperte scientifiche più antiche si possono, infatti, affrontare in continuità temi attuali in cui il progresso scientifico riveste un ruolo chiave, quali la costruzione del futuro della società e, in particolare, del futuro sostenibile che tutti, ma soprattutto i giovani studenti, sono chiamati a realizzare.



I presidenti di IUPAC, Prof. J. Garcia Martinez, e di ISC, Prof. Peter Gluckman, durante il loro video-messaggio

Il cuore dell'evento ha visto, quindi, tre seminari che hanno permesso ai partecipanti di ripercorrere l'importante storia dell'elettrochimica, dalle scoperte di Volta, fino al presente e al futuro, illustrando il ruolo chiave che l'elettrochimica può giocare nella transizione energetica e nella decarbonizzazione. Il Prof. Luigi Fabbri (Università di Pavia) ha raccontato in modo avvincente e divertente, il percorso umano e scientifico di Volta, uomo e scienziato moderno, internazionale e multidisciplinare, che, con curiosità, genio e fantasia, ideò e costruì la prima pila

tracciando così i primi passi dello straordinario percorso dell'elettrochimica. La Prof.ssa Catia Arbizzani (Università di Bologna) ha condotto con chiarezza e passione gli ascoltatori nel mondo delle batterie che rappresentano la frontiera più attuale degli sviluppi che derivano dalla scoperta di Volta, illustrandone le sfide più urgenti e attuali, quali l'efficienza, il riciclo e il riuso, legandoli alla sostituzione dei materiali più critici, e sensibilizzando fortemente i giovani sulla necessità di un approccio sempre più consapevole e responsabile all'uso dell'energia.

Infine, il Prof. Federico Bella (Politecnico di Torino) ha illustrato, con una visione internazionale e multidisciplinare, i molti strumenti della chimica per realizzare la transizione energetica con cui raggiungere la completa decarbonizzazione della nostra economia. In questa visione affascinante una varietà di approcci, soluzioni e mezzi, *in primis* il fotovoltaico e l'elettrochimica, dovranno integrarsi e completarsi al meglio.

Nella seconda parte della mattina si è tenuta una tavola rotonda in lingua inglese, trasmessa anche in streaming e coordinata dalla Dott.ssa Alessandra Sanson, direttrice dell'Istituto di Scienza, Tecnologia e Sostenibilità per lo Sviluppo dei Materiali Ceramici (ISSMC) del CNR, a cui, oltre ai tre relatori dei seminari, hanno partecipato la direttrice del Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali (DSCTM) del CNR, Prof.ssa Lidia Armelao, e la presidente del comitato IUPAC CHEMRAWN (*CHEMical Research Applied to World Needs*), Prof.ssa Francesca Kerton (Memorial University of Newfoundland, Canada). Il tema al centro di una vivace discussione è stato il ruolo della chimica per raggiungere i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile fissati dalle Nazioni Unite (SDGs, <https://sdgs.un.org>), tema molto ampio e ricchissimo di spunti. La chimica, infatti, può dare e sta già fornendo un grande e molteplice contributo per costruire una società più equa e sostenibile, alimentando innovazione e circolarità nel campo dei materiali e dei processi per le energie rinnovabili, per la salute, per l'accesso equo e sicuro a risorse idriche e per la salvaguardia del territorio dallo sfruttamento non sostenibile. Dalla discussione è, inoltre, emersa la necessità di formare delle figure professionali esperte nel campo delle batterie, tema cruciale per la prossima transizione energetica, che richiede di essere maggiormente presente nei corsi universitari del nostro paese.

La partecipazione all'evento è stata numerosa e vivace, con circa 70 partecipanti presenti in aula, prevalentemente studenti universitari e di scuole secondarie del territorio di Como e docenti, che hanno rivolto domande agli oratori, e più di 30 persone collegate online. Tutto l'evento è stato registrato e il video è disponibile online (video evento IUPAC Volta).

Come organizzatori di questo evento e autori di questo contributo desideriamo ringraziare sentitamente le istituzioni il cui supporto è stato fondamentale: IUPAC CHEMRAWN (progetto IUPAC #2022-018-1-021), ISC, Università dell'Insubria, CNR, Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici del CNR (ICCOM-CNR), la sezione Lombardia della Società Chimica Italiana, l'International Society of Electrochemistry, la sezione italiana della Royal Society of Chemistry, la Fondazione Oronzio e Niccolò De Nora e la Fondazione Sacconi.

L'auspicio è di aver ancora una volta mostrato, soprattutto ai giovani, quanto la chimica, insieme a tutte le scienze di base, indissolubilmente legate le une alle altre, rappresentino una grandissima risorsa a disposizione della società per costruire un presente più sostenibile e un futuro migliore per il nostro pianeta.



I partecipanti in aula e nel chiostro di Sant'Abbondio



Gli organizzatori e i relatori dell'evento; da sinistra a destra: Alessandro Minguzzi, Matteo Guidotti, Federico Bella, Andrea Pozzi, Augusta Maria Paci, Maurizio Peruzzini, Luigi Fabbrizzi, Catia Arbizzani, Silvia Borsacchi

News

Educazione per le materie STEM: un contributo al femminile

Fare Rete tra scienziate/i, Enti, Università, associazioni, media e portatori d'interesse



In occasione della Giornata Internazionale delle Donne e delle Ragazze nella Scienza, che si celebra 11 febbraio 2023, diffondiamo il lavoro “Contributo al femminile all’educazione tecnica e scientifica per le materie STEM”, che è stato pubblicato nel novembre 2022 sulla rivista “Quaderni di Comunicazione Scientifica” (<http://www.rosenbergesellier.it/ita/scheda-libro?aaref=1556>).

L’articolo è destinato a donne, uomini, ragazze/i, bambine/i con l’obiettivo di valorizzare potenzialità, differenze, specificità di vita e professionali e favorire la diffusione delle discipline STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) e la parità di genere. Studi e ricerche internazionali dimostrano lo sviluppo di nuove prospettive e contributi alla ricerca scientifica, in particolare negli ambiti di ricerca più complessi e interdisciplinari. La presenza delle donne nelle STEM, oltre alla parità, contribuisce ad ampliare ulteriormente le prospettive nella ricerca scientifica.

Al fine di promuovere la diffusione delle discipline STEM, l’equità di genere, un’educazione equa e inclusiva, con interesse per la sostenibilità ambientale, è nata una “rete per educazione STEM” con attenzione alla parità di genere e ai temi dell’Agenda 2030. La rete, sviluppata in periodo pre-pandemico, pandemico e post, è promossa dall’Associazione Donne e Scienza, dalla Città metropolitana di Bologna, da Enti di Ricerca CNR, INAF e Università di Bologna, Associazione Nuova Civiltà delle Macchine, Radioimmaginario e Lepida TV. La rete, anche se già organizzata, è aperta ad altre realtà, percorsi e progetti. Può essere attuata in molteplici contesti e amministrazioni pubbliche, esportando le esperienze fatte in altre realtà. La rete, i prodotti e il percorso che hanno creato l’articolo sono risultati finalisti salendo sul podio del Premio “PA Sostenibile e Resiliente 2022”, promosso da FPA e ASviS (<https://www.forumpachallenge.it/soluzioni/genere-scienza-e-societa'-nel-territorio>). Si ricorda, inoltre, che il Presidente della Repubblica ha premiato con la targa di “Alfieri della Repubblica” Radioimmaginario, proprio per la sua attività nell’ambito della rete.



Rete per la parità di genere, la formazione di qualità e l'educazione STEM

Per contatti: Mila D'Angelantonio, Isf-CNR (mila.dangelantonio@isf.cnr.it), Mariangela Ravaioli, Ismar-CNR (mariangela.ravaioli@bo.ismar.cnr.it)

