



Barbara Floris, Valeria Conte
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche
Università di Roma Tor Vergata
floris@uniroma2.it

CHIMICA CONSAPEVOLE, RESPONSABILE, SOSTENIBILE. LA SFIDA ENTRA NELLA SCUOLA

La green chemistry si sta affermando come un modo diverso di concepire la chimica, rendendola più responsabile e sostenibile. Questa diversa concezione dovrebbe entrare nella Scuola e permeare la società. Dopo aver illustrato brevemente i principi ispiratori, si riportano alcuni esempi di applicazioni pratiche.

Per accorgersi che la chimica abbia una cattiva fama, basta parlare con la gente, o leggere un giornale, oppure guardare un TG. La chimica è percepita come inquinante e pericolosa.

Non vogliamo discutere qui questo aspetto, né soffermarci a sottolineare tutti i vantaggi che la chimica ha portato nella nostra vita di tutti i giorni, anche se, considerando in modo oggettivo e non emotivo la questione, ci si rende conto che non è la chimica in sé ad essere pericolosa, ma l'ignoranza ed il cattivo uso della stessa, soprattutto causato dall'avidità umana.

È vero, d'altra parte, che fin dall'inizio della chimica moderna, non ci si è preoccupati delle conseguenze della dispersione nell'ambiente dei prodotti di scarto e dei solventi (e qui era un problema di ignoranza, in senso letterale: non conoscenza del risultato). Se si va a leggere che cosa faceva Perkin (uno dei pionieri dell'industria chimica, nella seconda metà dell'Ottocento), a casa sua, cercando di ottenere un colorante per tessuti, di tonalità malva [1], si inorridisce: tutto quello che non serviva più lo buttava nel ruscello che scorreva nelle vicinanze e si trattava di composti molto pericolosi! Questo atteggiamento è stato mante-

nuto in seguito, da quelle che sono diventate le industrie chimiche, anche per mancanza di una legislazione adeguata. Purtroppo ancora oggi, nonostante ci siano leggi stringenti, persiste la cattiva abitudine di disfarsi illegalmente degli scarti versandoli nei fiumi (è nota la vicenda della Valle del Sacco), o sotterrandoli nei campi (arricchendo la malavita organizzata) o nascondendoli nelle cave (Fig. 1). Qui entra non solo l'ignoranza, ma soprattutto l'avidità: smaltire correttamente gli scarti costa.

Per correre ai ripari, però, anche i chimici devono fare la loro parte, non

solo identificando le fonti di inquinamento, mettendo a punto metodi di rilevazione anche di piccolissime quantità di inquinanti, oppure metodi di risanamento delle zone inquinate (tutti compiti assolti dalla Chimica ambientale), ma anche progettando in modo nuovo le trasformazioni chimiche, così da risolvere a monte il problema dell'inquinamento e del pericolo chimico: invece di cercare di limitare l'esposizione di lavoratori e/o cittadini al pericolo e di ridurre la possibilità di inquinamento ambientale, si dovrebbe andare alla radice del problema, eliminando il pericolo e l'inquinamento. Questo è proprio il metodo della *green chemistry*. Parliamone.

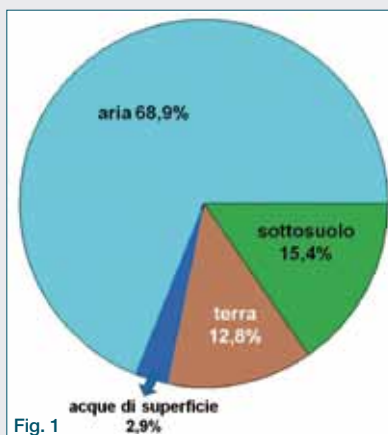


Fig. 1

Testo elaborato sulla base della lezione tenuta al TFA 2013, per la classe A013-Chimica, presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche, Università di Roma Tor Vergata.

La nascita della *green chemistry* come “pensiero chimico” o, se vogliamo, “filosofia chimica”, si fa risalire ad un libricino pubblicato nel 1998 [2], in cui venivano poste le basi del nuovo modo di “pensare” la chimica e ne venivano enunciati per la prima volta, in modo sistematico, i principi, che oggi si citano come “i dodici principi della *green chemistry*” (Fig. 2). La definizione che viene data è la seguente: la *green chemistry* è un insieme di principi che riduce o elimina l’uso o la formazione di sostanze pericolose nel progetto, nella produzione e nelle applicazioni dei composti chimici. Esaminiamo questi principi più da vicino.



1. Evitare gli scarti

Questo principio è quasi ovvio: è meglio prevenire che rimediare dopo che il danno è stato fatto. Anche da un punto di vista puramente economico, il che non guasta, visto che ci si preoccupa sempre dei costi di qualsiasi iniziativa.

2. Atom Economy

È un principio più strettamente chimico. Per fare i materiali che usiamo servono delle molecole e per fare le molecole si mettono insieme atomi, a partire da altre molecole che si trovano pronte. Il principio dell'*atom economy* spinge ad utilizzare tutti gli atomi (o almeno il maggior numero possibile) delle molecole iniziali nelle molecole finali. Infatti gli atomi che non vengono utilizzati costituiscono gli scarti del processo, che potrebbero essere tossici, inquinanti o, nella migliore delle ipotesi, costituire un costo aggiuntivo per lo smaltimento.

3. Sintesi meno pericolose

Questo principio va ad incidere sul modo con cui molecole e materiali vengono preparati. Finora, nel progettare una reazione o un processo industriale, si tendeva solo all’ottenimento del risultato. Con la mentalità della *green chemistry* si cerca invece di mettere a punto reazioni e processi che usino i reagenti meno pericolosi possibile e che magari funzionino anche meglio di quelli attualmente in uso.

4. Progettazione di composti più sicuri

Questo principio riguarda le caratteristiche del composto che si vuole ottenere: bisogna progettare un composto che, pur svolgendo le funzioni desiderate (di farmaco, di insetticida, di cosmetico, ecc.), sia non tossico.

5. Solventi ed additivi più sicuri

Le reazioni, di solito, si fanno sciogliendo i reagenti in un solvente che, il più delle volte, è volatile (e quindi finisce nell’aria che respiriamo) e/o infiammabile, con evidente pericolosità. Questo principio mira allo sviluppo e quindi all’uso di solventi che non siano né volatili, né infiammabili e che si possano smaltire con impatto ambientale minimo.

6. Efficienza energetica

I problemi dell’energia sono familiari a tutti: la bolletta della luce o il prezzo della benzina crescono in continuazione. Il costo dell’energia si riflette sul costo di qualsiasi bene di consumo e su quello di ciascun prodotto chimico. È perciò evidente che avere metodi di produzione più efficienti aiuta a ridurre il consumo di energia, con conseguente diminuzione dei costi, per non parlare dell’inquinamento legato alla stessa produzione di energia.

7. Materie prime rinnovabili

Questo principio è strettamente legato al precedente. Oggi, la maggior parte dei prodotti che usiamo deriva, più o meno direttamente, dal petrolio. Sappiamo tutti che le scorte di petrolio prima o poi finiranno (ce lo ripetono in continuazione), anche se speriamo che sia... il più “poi” possibile. Usare materie prime rinnovabili permetterebbe di ridurre di molto il consumo di petrolio e la dipendenza dell’economia da questa fonte di energia. Inoltre l’uso di materie prime rinnovabili potrebbe anche permettere sintesi più pulite e prodotti con prestazioni migliori e di più facile reintroduzione nell’ambiente.

8. Diminuzione dei passaggi sintetici

Questo principio è un po’ meno intuitivo per un lettore non “addetto ai lavori”, ma in fondo non è difficile capirlo. Per ottenere, per esempio, un farmaco, che di solito è una molecola piuttosto complessa, si deve eseguire un certo numero di reazioni, perché è molto raro che siano disponibili molecole di partenza che si trasformino direttamente in quella desiderata. Ogni “passaggio” è una reazione, per la quale servono reagenti, solventi, energia e manodopera.

Ogni “passaggio” richiede poi una lavorazione (con relativo consumo di solventi ed energia ed uso di manodopera) e provoca scarti. È allora evidente che, se si riesce a mettere a punto un processo che riduca il numero di reazioni, se ne migliora l’aspetto green.

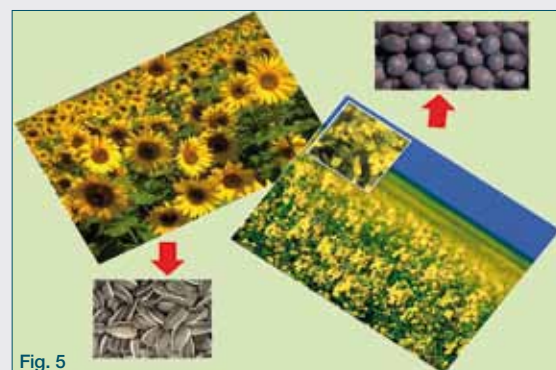
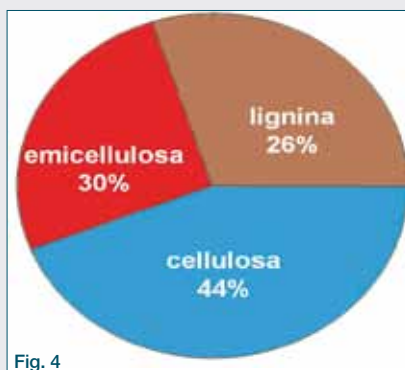
9. Processi catalitici

Anche questo è un principio non intuitivo, per chi non sia un chimico. Proviamo a spiegarlo. Un catalizzatore è un composto che rende possibile (o più facile) una reazione, ma che si ritrova inalterato alla fine della reazione. In altre parole, senza catalizzatore non succede niente (o è molto difficile avere prodotto), però quando ha finito il suo “lavoro” si può recuperare ed usare di nuovo. Anche nella chimica industriale che possiamo chiamare “tradizionale” i processi catalitici sono i preferiti, perché di minor costo. Per essere anche green, un catalizzatore dovrebbe essere non tossico, molto efficiente e non stancarsi di “lavorare”. La Natura è stata capace di ottenere molti di questi catalizzatori, che sono gli enzimi, responsabili per esempio, di tutte le reazioni chimiche del nostro corpo, che ci tengono in vita.

10. Progettazione della degradazione

Siamo tutti consapevoli dell’accumulo della plastica, abbiamo sentito par-

CHIMICA & GREEN CHEMISTRY



lare di isole di plastica in navigazione nell'oceano, vediamo con i nostri occhi mari, spiagge e montagne rovinare dai sacchetti di plastica. La plastica è stata fatta per essere resistente, ma lo è anche troppo! I materiali *green* dovrebbero essere resistenti per il tempo in cui serve usarli, ma poi facilmente degradabili in composti innocui, quando non servono più. È quello che si sta facendo, per fortuna, con i sacchetti biodegradabili, diventati obbligatori nel 2012.

11. Analisi in tempo reale

Di solito le analisi si effettuano dopo aver ottenuto il composto desiderato, per valutarne la purezza. È però auspicabile, dal punto di vista *green*, poter avere una specie di "radiocronaca minuto per minuto" di quello che sta succedendo nella reazione, in modo da sapere con esattezza quando è finita, se tutto stia procedendo correttamente, o se ci sono imprevisti, in modo da segnalarli tempestivamente e poter intervenire.

12. Sicurezza

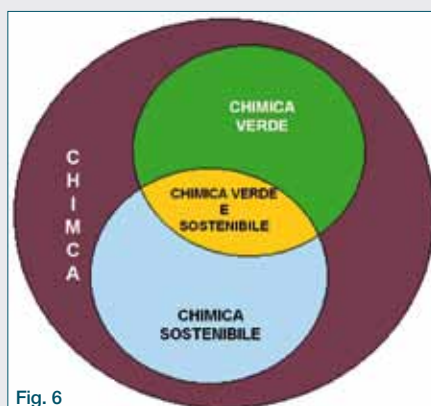
Questo principio è evidente: la sicurezza dei lavoratori in un impianto o in un laboratorio e degli abitanti dei dintorni è una priorità assoluta. L'uso più diffuso possibile di composti chimici sicuri (non infiammabili, non esplosivi, ecc.) è il modo più semplice per aumentare la sicurezza delle lavorazioni.

A dire il vero, questi elencati e brevemente discussi, più che principi di chimica, sembrano "principi di buon senso". Tra l'altro, la maggior parte di essi è applicabile a qualsiasi lavorazione, non solo a quella chimica. Però, un conto è enunciare dei principi, un conto è metterli in pratica. Ci sembra già di sentire qualcuno che dice: "Allora, in pratica, che cosa avete fatto?" La risposta più corretta è: "Certamente non si sono risolti tutti i problemi, ma si è lavorato molto e qualche risultato è stato raggiunto". Anche se con errori di percorso. Prima di fare qualche esempio, va detto che la ricerca in campo di *green chemistry* ha avuto un notevole sviluppo. Sono nate riviste dedicate esclusivamente alla pubblicazione di articoli di *green chemistry*, ma anche altre riviste chimiche hanno pubblicato interi fascicoli dedicati all'argomento. Per chi volesse approfondire l'aspetto chimico si rimanda a questi [3, 4]. Nel mondo ci sono molte attività a

sostegno della diffusione della *green chemistry* nella comunità scientifica: l'American Chemical Society ha istituito il Green Chemistry Institute, dove trovare informazioni on-line [5], la Royal Society of Chemistry inglese nel suo sito dà molto rilievo alla *green chemistry* [6] ed anche in Italia c'è un attivo gruppo interdivisionale di *Green Chemistry*, nell'ambito della Società Chimica Italiana. Molte università in tutto il mondo offrono curricula in *Green Chemistry* o almeno corsi ad essa dedicati. Però ancora non basta: quello che serve è la diffusione della mentalità *green*, anche nell'opinione pubblica ed il luogo dove questa diffusione può avvenire meglio è proprio nella scuola, dove può essere trasmessa alle nuove generazioni e, attraverso gli studenti, anche alle famiglie. Questo significa che i primi "diffusori" dell'idea di chimica pulita sono gli insegnanti. Ci sono siti dedicati all'insegnamento della *Green Chemistry* per gli insegnanti delle scuole e per gli studenti delle scuole secondarie [7]. In particolare, il primo di quelli citati offre materiale didattico scaricabile, mentre il secondo rappresenta un consorzio, Green Chemistry Education Network (GC Ed Net) (Fig. 3), volto a promuovere l'integrazione della *green chemistry* nell'insegnamento della chimica a tutti i livelli.

Vediamo ora qualche esempio di applicazione pratica dei principi della *green chemistry*. I principi che dovrebbero portare ai cambiamenti più significativi nella società sono quelli che suggeriscono l'uso di materie prime e fonti energetiche rinnovabili (principi 6 e 7). Se si considera che la fotosintesi naturale (che sfrutta in modo efficiente l'energia solare) produce 200 miliardi di tonnellate all'anno di biomassa (Fig. 4), delle quali solo il 3-4% viene utilizzato per uso alimentare (o altro), è evidente che abbiamo a disposizione una grande quantità di materiale rinnovabile.

La prima applicazione delle biomasse è stata, non a caso, il biodiesel, ma



va citato anche il bioetanolo. L'aspetto *green* è evidente: la lavorazione dei grassi vegetali e dei semi da cui si ottengono è meno dannosa per l'ambiente e meno pericolosa rispetto alla lavorazione del petrolio o del carbone.

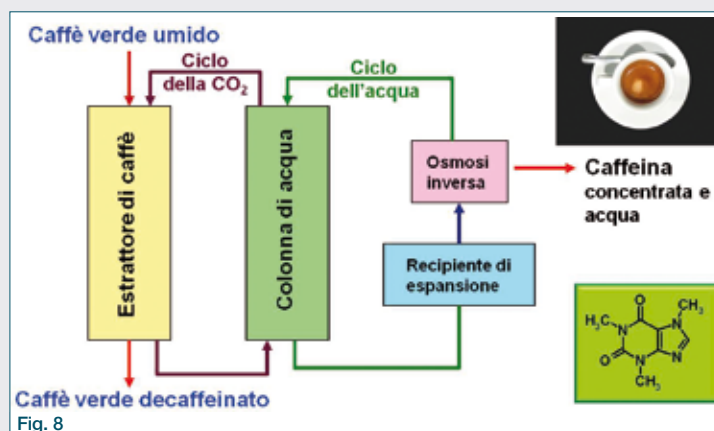
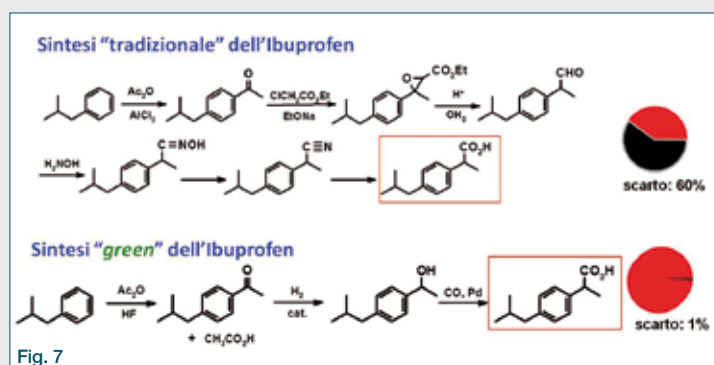
Però ci sono stati inconvenienti gravi: non solo deforestazione selvaggia della foresta amazzonica, ma anche aumento del prezzo dei cereali. Infatti nel 2007 il *Financial Times* scriveva: "L'aumento della produzione di biocarburanti derivanti dal mais, dal grano e dalla soia contribuisce a spingere verso l'alto i prezzi degli alimenti così pesantemente che il

World Food Programme (WFP), l'agenzia delle Nazioni Unite che si occupa della lotta alla fame, incontra notevoli difficoltà ad occuparsi dello stesso numero di persone seguite nel passato". L'allarme è stato lanciato abbastanza presto e due dei pionieri della *green chemistry* hanno affermato che "... Sebbene siano stati ottenuti interessanti risultati nell'utilizzo di biomateriali a base di zuccheri e amidi quali materiali di partenza di base per la sintesi di diversi composti chimici... è necessario tenere a mente che tali materie prime si dovranno ottenere in modi che non competano con la produzione agricola degli alimenti e dei mangimi..." [4]. Oggi la maggior parte dei semi oleosi viene da coltivazioni di girasole e di colza (Fig. 5), oltre alla palma. Questo però non ha impedito la conversione di terreni agricoli da colture destinate all'alimentazione alle più remunerative colture destinate al carburante.

È perciò importante introdurre il concetto di sostenibilità di un processo o di una reazione. Se la *green chemistry* si può descrivere come l'utilizzo efficiente di materiale rinnovabile, l'eliminazione o, almeno, la riduzione delle scorie, il non uso di solventi e reagenti tossici o pericolosi nella produzione e preparazione dei prodotti chimici, la sostenibilità di un processo tiene conto del fatto che la soddisfazione delle necessità delle generazioni presenti non deve compromettere quelle delle generazioni successive. La sostenibilità si misura sulla eco-efficienza, sulla crescita economica e sulla qualità della vita, analizzando attentamente il bilancio costi/benefici. In altre parole, la produzione di biodiesel è *green*, ma può essere non sostenibile. D'altra parte ci possono essere processi sostenibili, ma non *green*. La soluzione ideale è avere processi *green* e sostenibili (Fig. 6).

Un esempio di applicazione riuscita dei principi n. 8 e 9 è la sintesi del farmaco Ibuprofen che la Basf è riuscita a portare dai sei passaggi del suo metodo "tradizionale", con 60% di scarto ai soli tre passaggi dell'attuale metodo *green* con solo l'1% di scarto, usando reagenti meno tossici e reazioni catalitiche [3] (Fig. 7).

Anche se l'esempio non uno dei più recenti, è interessante riportarlo, perché se l'industria farmaceutica cambia la sua procedura, quella nuova deve essere realmente vantaggiosa, anche economicamente, perché valga la pena di riaffrontare tutti i passaggi necessari per l'approvazione del metodo. Forse alcuni reagenti non sono proprio *green* (CO, HF), ma



l'*atom economy* è elevata: spesso bisogna accontentarsi di una soluzione parzialmente soddisfacente. Infine, è il caso di citare l'uso di solventi alternativi, come la CO₂ supercritica (cioè in uno stato fluido, che si raggiunge alla temperatura di 31 °C ed alla pressione di 72,9 atmosfere) e l'acqua (il solvente più *green* possibile) per ottenere caffè decaffeinato. Il procedimento tradizionale richiedeva solventi organici volatili (Fig. 8). Dai pochi esempi riportati si vede che qualche progresso in direzione *green* è stato fatto, ma molto ancora resta da fare. Se però vogliamo che ci sia un futuro e che il futuro non abbia uno scenario apocalittico [8], l'approccio della *Green chemistry* è l'unico praticabile ed è importante che la mentalità *green* raggiunga il più possibile la società e le nuove generazioni.

Bibliografia

- [1] S. Garfield, Il malva di Perkin. Storia del colore che ha cambiato il mondo, Garzanti Libri, 2002.
- [2] P.T. Anastas, J.C. Warner, Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, 1998.
- [3] I.T. Horváth, *Acc. Chem. Res.*, 2002, **35**, 685 (editorial) e tutti gli articoli del fascicolo.
- [4] I.T. Horváth, P.T. Anastas, *Chem. Rev.*, 2007, **107**, 2167 (editorial) e tutti gli articoli del fascicolo.
- [5] www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry.html
- [6] www.rsc.org/learn-chemistry/resource/
- [7] Per esempio: a) www.beyondbenign.org/; b) cmetim.ning.com/; c) www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/education/; d) advancinggreenchemistry.org/.
- [8] B. Sterling, Tomorrow Now, Mondadori, 2004.

ABSTRACT

Conscious, Responsible, Sustainable Chemistry. The Challenge Goes to School

Green chemistry is more and more diffuse in academics, its principles are gaining favor and followers among scientists, aware of the huge problems related to environment depletion and not renewable energetic sources. It is time that green chemistry principles enter the school and thereby the society. After a brief presentation and explanation of green chemistry principles, a number of successful practical applications is reported.