



ALCUNI RECENTI MESSAGGI DI PAUL ANASTAS, PADRE DELLA GREEN CHEMISTRY

In questa nota sono riportati cenni sulla lezione tenuta da Paul Anastas, fondatore della Green Chemistry, alla 14^a Scuola della Green Chemistry svoltasi lo scorso luglio a Venezia e organizzata da Pietro Tundo. Nella lezione Anastas ha ricordato 4 suoi recenti articoli che hanno trattato i seguenti aspetti della green chemistry: ossidazione di gruppi C-H con catalizzatori poco costosi a base di composti di cobalto; rappresentazione dell'albero della green chemistry, con i rami che ricordano i principi e con le foglie le loro diverse realizzazioni industriali; la sintesi di biopesticidi per reazione di metatesi e la rappresentazione simbolica delle diverse realizzazioni della green chemistry in una copia della tavola periodica di Mendeleev.



Introduzione

Lo scorso luglio si è svolta la 14^a Scuola sulla “Green Chemistry” [1]: la prima si era tenuta nel 1998, organizzate sempre a Venezia sotto la direzione di Pietro Tundo, prima come presidente del Consorzio Interuniversitario Nazionale “La Chimica per l’Ambiente” e poi come presidente di “Green Sciences for Sustainable Development Foundation” (GSSDF), entrambi gli enti con sede a Venezia [2]. Ricordiamo che P. Tundo ha scritto nel 1997 un articolo sulla nostra rivista dal titolo “La Chimica per l’ambiente”, uno dei primi su questa tematica [3], proprio poco prima di realizzare la prima scuola. La scuola è stata sponsorizzata da Associazioni Internazionali (OPCW, IUPAC, Commissione nazionale italiana dell’Unesco, ente “International Year of Basic Sciences and Sustainable Development”, Greenovator), Università (Ca’

Foscari Venezia, Yale University), enti italiani (Green Sciences for Sustainable Development Foundation, Regione Veneto, Ministero della Transizione Ecologica), industrie (Sasol, Bracco, Phosagro, NHU). Alla scuola hanno partecipato 161 studenti, 55 in presenza e 111 online di 45 Nazioni diverse di cui solo 8 italiani, e 24 docenti, 11 online e 13 in presenza; inoltre, 30 studenti di Paesi in via di sviluppo hanno avuto una borsa di studio per partecipare in presenza.

Le tematiche delle diverse lezioni della scuola sono state le seguenti: nuove vie di reazioni, sfruttamento delle risorse rinnovabili, risparmio energetico, salute, sicurezza degli alimenti, cambiamenti climatici ed educazione nel campo della green chemistry. Alcuni dei docenti della scuola sono stati Jean-Marie Lehn, premio Nobel per la chimica nel 1987, Paul Anastas, direttore della Yale University e fondatore della Green Chemistry, Michael Graetzel, della “Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne” (noto per la scoperta delle celle solari sensibilizzate con coloranti chiamate “Grätzel cell”); Natalia Tarasova, direttrice dell’“Institute of Chemistry and Problems of Sustainable Development” della Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (ex presidente della



IUPAC); Pietro Tundo, presidente e fondatore della prima menzionata GSSDF [4]. È possibile reperire tutti i nominativi dei presentatori ed i titoli delle lezioni tenute alla scuola di Venezia nel sito della IUPAC [5].

Green Sciences for Sustainable Development Foundation

La Fondazione, nata a Venezia nel 2019 sotto la presidenza di P. Tundo, ha come obiettivo la realizzazione delle seguenti attività [4]: promuovere e gestire servizi complementari e accessori alla Fondazione attraverso l'erogazione di borse di studio e il finanziamento di progetti, in particolare sovvenzioni internazionali con un'attenzione particolare riservata al Continente dell'Africa Subsahariana; organizzare conferenze e convegni nazionali ed internazionali per una formazione avanzata come Summer School, Forum e Workshop tematici internazionali, anche in collaborazione con altre istituzioni private e pubbliche; pubblicare libri e riviste con un proprio codice ISBN; realizzare attraverso la Fondazione progetti di ricerca finalizzati con l'industria; fare e coordinare consultazioni e accordi con organizzazioni governative e non governative; costituire e gestire laboratori o centri di ricerca anche insieme ad altri enti pubblici o privati; favorire l'internazionalizzazione delle attività educative e di ricerca attraverso la gestione di servizi adeguati e la partecipazione ad iniziative congiunte con altri stakeholder pubblici o privati, nazionali, comunitari o internazionali. Quindi, la Fondazione ha l'obiettivo di facilitare la partecipazione sia di amministrazioni pubbliche sia di enti privati allo sviluppo di attività sulla green chemistry, accrescendo la rete di relazioni nazionali ed internazionali necessaria per il raggiungimento dei diversi suoi obiettivi.

Alcuni contenuti della lezione di Paul Anastas

Prima di parlare degli argomenti trattati da Paul Anastas nella sua lezione, vorrei spiegare perché si parlerà solo della sua lezione: primo perché non è reperibile nel web, poi perché P. Anastas è padre della Green Chemistry, quindi una figura storica dello sviluppo sostenibile, e ha partecipato a quasi tutte le scuole sulla Green Chemistry organizzate nel corso degli anni a Venezia. Infine, la scelta è dovuta anche al fatto che nel 1998 P. Anastas ha scritto un articolo sulla nostra rivista [6], proprio lo stesso anno in cui ha pubblicato il suo primo famoso libro sulla Green

Chemistry [7]. Anastas ha pubblicato un secondo articolo sulla Green Chemistry sulla nostra rivista nel 1999 [8]. Nel primo articolo, dal titolo "Green Chemistry Program in USA", [6] Anastas riportò che i programmi di green chemistry continuavano a promuovere la prevenzione dell'inquinamento negli USA attraverso attività di riconoscimento della comunità, assegni di ricerca accademica, attività educative, partenariati industriali e governativi e sensibilizzazione nella comunità scientifica. Nel secondo articolo dal titolo "The United States Green Chemistry Challenge" [8] trattò dei premi elargiti dall'Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti sulla Green Chemistry che hanno continuato a fare conoscere i risultati eccezionali nel campo della green chemistry realizzati negli USA da parte dell'accademia, dell'industria e dello stesso governo.

A Venezia quest'anno P. Anastas ha iniziato la sua lezione con queste parole: "quando si parla di green chemistry non si tratta solo di cosa fai con la chimica, ma riguarda anche come fai la chimica e il motivo per cui fai la chimica". Poi ha citato il libro che scrisse con P. Tundo dal titolo "Green Chemistry Challenging Perspectives", pubblicato dall'Oxford University Press il 21 dicembre del 2000, solo due anni dopo che aveva pubblicato il suo primo libro sulla green chemistry.

Sono riportati qui di seguito cenni sui 4 articoli pubblicati recentemente da Anastas su alcuni aspetti della green chemistry e che sono stati ricordati nella sua lezione. Nel primo articolo, "Advancing Sustainable Manufacturing through a Heterogeneous cobalt catalyst for selective C-H oxidation" [9], è stato trattato l'utilizzo di catalizzatori poco costosi per l'ossidazione di legami C-H (Fig. 1). Per Ana-

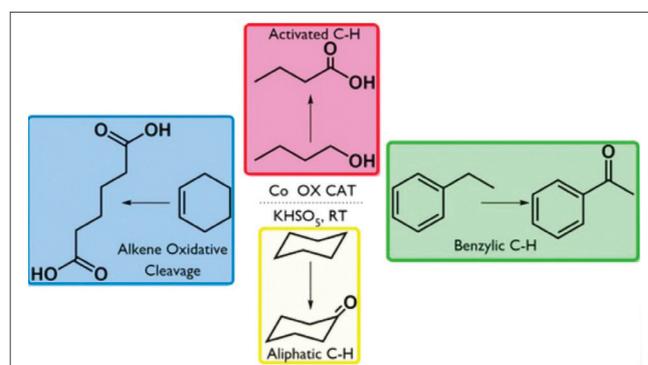


Fig. 1 - Ossidazione dei gruppi C-H con catalizzatori a base di cobalto

stas, l'attivazione del legame C-H è di fondamentale importanza nel campo della green chemistry e della green engineering e permette la facile funzionalizzazione di molecole organiche complesse. Poiché molti dei catalizzatori utilizzati per attivare il gruppo C-H utilizzano metalli rari e/o molto costosi, Anastas ha studiato catalizzatori a base di cobalto per l'attivazione per ossidazione di legami C-H in diverse molecole. Tali catalizzatori sono capaci di ossidare legami C-H difficili da ossidare, come il cicloesano a cicloesano-2-one, il cicloesano-1-one e il 2-esanone a 2,5-esandione, inoltre ha riportato nell'articolo l'ossidazione di alcoli, di cicloesene ad acido adipico e di stirene ad acido benzoico. Uno dei catalizzatori impiegati è stato il dicobalto ottacarbonile [10].

Nel secondo articolo "The Green ChemsTREE: 20 years after taking root with the 12 principles" [11] viene ricordato che nel campo della green chemistry, nei vent'anni dalla sua fondazione, ci sono stati molti esempi di scoperte scientifiche per ogni principio e nella Fig. 2 viene raffigurato l'albero della Green Chemistry, dove i 12 rami sono i diversi principi mentre le foglie indicano le diverse scoperte realizzate nell'applicazione del singolo principio. Nell'articolo sono ricordati i 12 principi della green chemistry, descritti da Anastas nel suo primo libro sulla green chemistry nel 1998, ma diversamente da quel libro e da altri articoli scritti nel corso degli anni, non vi è solo la lista dei principi, ma per ogni principio sono riportati diversi esempi di realizzazioni industriali, riportate anche nelle foglie dell'albero della green chemistry. Sono qui di seguito ricordati i 12 principi storici della green chemistry: 1) progettare sintesi chimiche per evitare sprechi senza lasciare rifiuti da trattare o pulire; 2) progettare sintesi in modo che il prodotto finale contenga la percentuale massima dei materiali di partenza in modo che pochi o nessun atomo vengono sprecati; 3) progettare sintesi che utilizzino o generino sostanze con tossicità minima o nulla per l'uomo o l'ambiente; 4) progettare prodotti chimici che siano completamente efficaci, ma che abbiano una tossicità minima o nulla; 5) evitare l'uso di solventi, agenti di separazione o altri prodotti chimici ausiliari e, se è neces-

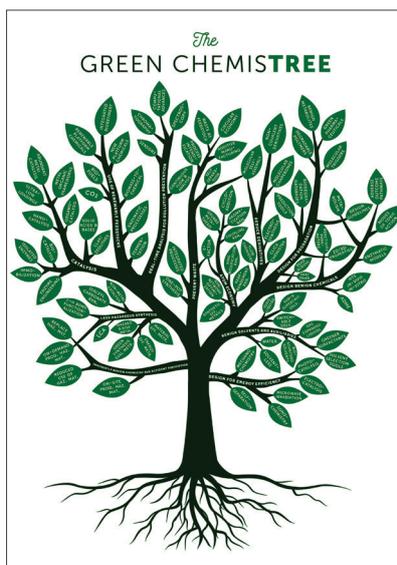


Fig. 2 - L'albero della Green Chemistry

sario utilizzarli, scegliere quelli più sicuri; 6) eseguire reazioni chimiche a temperatura ambiente e a bassa pressione quando è possibile per aumentare l'efficienza energetica; 7) utilizzare materiali di partenza che siano rinnovabili anziché fossili, ossia prodotti agricoli o rifiuti di altri processi; 8) evitare l'uso di derivati, ossia l'uso di gruppi protettori o eventuali modifiche temporanee, che utilizzano reagenti aggiuntivi e generano rifiuti; 9) ridurre al minimo gli scarti utilizzando reazioni catalitiche, o catalizzatori efficaci in piccole quantità che possono eseguire una singola reazione molte volte e sono preferibili ai reagenti stechiometrici, che sono usati in eccesso e svolgono una reazione solo una volta; 10) utilizzare prodotti che degradano facilmente dopo l'uso e quindi progettare prodotti chimici che riducano le sostanze non innocue dopo l'uso in modo che non si accumulino nell'ambiente; 11) prevenire durante le sintesi l'inquinamento in tempo reale monitorando e controllando per minimizzare o eliminare la formazione di sottoprodotti; 12) impiegare una chimica più sicura per evitare incidenti progettando prodotti chimici e le loro forme fisiche (solide, liquide o gassose) per minimizzare il potenziale di incidenti chimici tra cui esplosioni, incendi e rilasci nell'ambiente. Quindi la green chemistry ha proposto di ricercare nuove metodologie che possano permettere di realizzare processi industriali con il minor impatto ambientale, un risparmio energetico e quindi economico, e per questo maggiormente apprezzati da parte dell'opinione pubblica.

Il terzo articolo citato nella lezione, "Synthesis of Semiochemicals via Olefin Metathesis" [12], dove la parola 'semiochimico' indica composti chimici che regolano le interazioni fra gli organismi viventi e in grado di determinare modificazioni di carattere entomologico, fisiologico o anatomico [13]. Nell'articolo viene ricordato che i pesticidi convenzionali, che sono derivati sintetici, inattivano o uccidono i parassiti, mentre i biopesticidi sono composti naturali che attirano gli insetti in una trappola o interferiscono con la loro riproduzione. Ci sono diversi vantaggi nell'uso dei biopesticidi che sono spesso meno tossici dei pesticidi convenzionali e sono se-

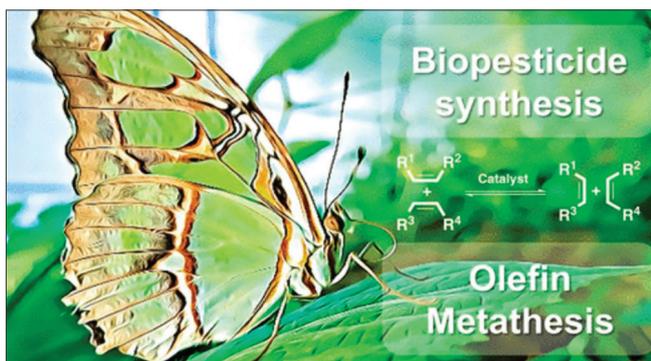


Fig. 3 - La sintesi di pesticidi per metatesi di olefine

lettivi verso i parassiti e, in quanto tali, non hanno un impatto negativo su altri organismi come insetti, mammiferi o uccelli. Altri vantaggi dei biopesticidi sono la loro elevata attività che permette l'uso di minori quantità e di una minore resistenza da parte degli organismi bersaglio e la capacità di degradarsi più rapidamente rispetto ai pesticidi tradizionali. Nell'articolo si parla dell'utilizzo della reazione di metatesi delle olefine per la sintesi di biopesticidi, ecologicamente benigna ed economicamente vantaggiosa. Tra i pesticidi più usati ci sono i feromoni, ma poiché la loro preparazione è costosa, Anastas ha iniziato a studiare la loro sintesi per reazione di metatesi di olefine (Fig. 3). Nel quarto articolo ricordato nella sua lezione "The Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry" [14], Anastas ha riportato una lista di innovazioni realizzate nel corso degli anni e da realizzare nel prossimo futuro, nel campo della green chemistry e della green engineering, presentate ognuna con simboli simili a quelli degli elementi e riportate in una copia della tavola periodica di Mendeleev, come se fossero elementi - tutte queste innovazioni sono state spiegate in dettaglio nell'articolo (Fig. 4). Per P. Anastas questa tavola periodica, alternativa a quella di Mendeleev, ha il compito di delineare la gamma di aspetti e strumenti disponibili e necessari per muoversi verso un domani sostenibile.

Fig. 4 - La tavola periodica degli elementi della chimica sostenibile

BIBLIOGRAFIA

- [1] Home - Green Chemistry Summer School
- [2] P. Zanirato, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, 2021, **8**(1), 15.
- [3] P. Tundo, *La Chimica e l'Industria*, 1997, **79**(1), 15.
- [4] GSSD Activities – gssd (gssd-foundation.org)
- [5] Brief from the 2022 Summer School on Green Chemistry - IUPAC | International Union of Pure and Applied Chemistry
- [6] P.T. Anastas, T. Williamson, *La Chimica e l'Industria*, 1998, **80**(6), 721.
- [7] P.T. Anastas, J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York, 1998.
- [8] P.T. Anastas, T. Williamson, *La Chimica e l'Industria*, 1999, **81**(1), 21.
- [9] S.L. Collom, P.T. Anastas *et al.*, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 2016, **55**, 3308.
- [10] A.J. Bloomfield, P.T. Anastas *et al.*, *New Journal of Chemistry*, 2014, **38**(4) 1540.
- [11] H.C. Erythroel, P.T. Anastas *et al.*, *Green Chem.*, 2018, **20**, 1929.
- [12] G. Truczel, P.T. Anastas *et al.*, *ACS Sustainable Chemistry Engineering*, 2019, **7**, 33.
- [13] L. Masutti, S. Zangheri, *Entomologia generale e applicata*, Padova, CEDAM, 2001.
- [14] P.T. Anastas, J.B. Zimmerman, *Green Chem.*, 2019, **21**, 6545.

Some Recent Messages from Paul Anastas, Father of Green Chemistry

This article contains notes on the lesson held by Paul Anastas, founder of Green Chemistry, at the 14th School of Green Chemistry held in July 2022 in Venice and organized by Pietro Tundo. P. Anastas recalled in the lesson 4 of his recent articles which dealt with the following aspects of green chemistry: oxidation of C-H groups with inexpensive catalysts based on cobalt compounds; representation of the green chemistry tree with branches reminiscent of the principles and the leaves of their various industrial achievements; the synthesis of biopesticides by metathesis reaction and the symbolic representation of the various achievements of Green Chemistry in a copy of Mendeleev's periodic table.