

# MOLECOLE IN PRIMO PIANO

LA CHIMICA NELLA VITA QUOTIDIANA

*Direttore responsabile*

Luigi CAMPANELLA  
Sapienza – Università di Roma

*Partner scientifico*

Gruppo Senior della Società Chimica Italiana

*Comitato editoriale*

Franco ALHAIQUE  
Sapienza – Università di Roma

Romualdo CAPUTO  
Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Domenico MISITI  
Sapienza – Università di Roma

Rosario NICOLETTI  
Sapienza – Università di Roma

Gianfranco SCORRANO  
Università degli Studi di Padova

Giovanni VILLANI  
Consiglio Nazionale delle Ricerche



Società Chimica Italiana, Gruppo Senior

## MOLECOLE IN PRIMO PIANO

LA CHIMICA NELLA VITA QUOTIDIANA



*Mi chiedono perché tu sei un chimico e scrivi.*

*Io rispondo: scrivo perché sono un chimico.*

Primo LEVI

*Molecole in primo piano* nasce dalla collaborazione di Aracne con il Gruppo Senior della Società Chimica Italiana per la divulgazione delle scienze chimiche e l'approfondimento del loro impatto sulla società.

Si rivolge a un pubblico relativamente giovane, prevalentemente composto da non-professionisti di scienze chimiche, lettori mossi dalla curiosità e in grado di rendersi conto di quali conoscenze e applicazioni ci siano alla base di eventi e fenomeni che quotidianamente sono sotto i loro occhi.

Le opere ospitate nella collana seguono due linee direttrici diverse ma complementari: da una parte monografie di taglio saggistico e divulgativo; dall'altra curatele composte da brevi articoli che illustrino in maniera accattivante i diversi aspetti dell'influenza della chimica nel sociale e nelle attività quotidiane.

I contenuti della collana *Molecole in primo piano* rientrano nella responsabilità individuale degli autori dei singoli contributi e non rappresentano il punto di vista della Società Chimica Italiana o di Aracne Editrice.



Aracne editrice

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

Copyright © MMXVIII  
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

[www.gioacchinoonoratieditore.it](http://www.gioacchinoonoratieditore.it)  
[info@gioacchinoonoratieditore.it](mailto:info@gioacchinoonoratieditore.it)

via Vittorio Veneto, 20  
00020 Canterano (RM)  
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-1457-5

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: aprile 2018

# Chimica in controluce

*a cura del*

Gruppo Senior  
della Società Chimica Italiana

*Contributi di*

Franco Alhaique

Luigi Campanella

Stefano Cinti

Rosario Nicoletti

Domenico Misiti

Cesare Puccioni

Marianna Rossetti

Maria Vittoria Russo

Gianfranco Scorrano

Giuseppe Valitutti





## Indice

- 9 Editoriale. Le due facce della chimica  
*Luigi Campanella*
- 11 Chimica e ambiente, binomio virtuoso  
*Cesare Puccioni*
- 15 L'inquinamento da traffico veicolare  
*Rosario Nicoletti*
- 25 Sensori e biosensori indossabili nella pratica sportiva e non solo  
*Stefano Cinti, Marianna Rossetti*
- 31 Polimeri naturali e di sintesi, uno sguardo al passato e al futuro  
*Maria Vittoria Russo*
- 39 La chitarra e altri strumenti musicali  
*Luigi Campanella, Gianfranco Scorrano*
- 45 Ma cosa ti sei messo in testa? Ovvero brevi cenni sui gel  
*Franco Alhaique*

### **Dulcis in fundo...**

- 57 Cioccolato, il cibo degli dei  
*Giuseppe Valitutti*
- 71 La dolcezza della chimica. Parte I: dolcificanti naturali (o quasi)  
*Domenico Misiti, Rosario Nicoletti*
- 81 La dolcezza della chimica. Parte II: gli edulcoranti ipocalorici  
*Domenico Misiti, Rosario Nicoletti*
- 95 Sitografia



## Editoriale

# Le due facce della chimica

LUIGI CAMPANELLA\*

La chimica è la disciplina che ci consente di spiegare gran parte dei fenomeni del mondo che ci circonda, costituisce la base per comprendere biologia e medicina e per avvicinarci ad altre discipline come la fisica dello stato solido e l'archeologia, oltre a permeare la natura e la funzione di tutti i ritrovati che sono parte della nostra vita quotidiana. Perché allora l'immagine della chimica (e dei chimici) è percepita dalla pubblica opinione in maniera tanto negativa?

Quando ci si pone questa domanda, molte sono le risposte: senza dubbio, un ruolo primario è giocato dalla diffusa ignoranza di una cultura scientifica generale nel grosso pubblico, escludendo i non addetti ai lavori. Un'altra ragione risiede certamente nel contrasto esistente tra i benefici che offre quotidianamente questa scienza e l'occorrenza di disastri quali quello di Seveso (1976)<sup>1</sup> o di Bhopal (1984)<sup>2</sup> ad essa imputati. È un po' come incolpare il coltello anziché la mano che lo ha guidato, per le ferite inferte!

Ma in quelle sciagure si è pagato un tributo di lutti che (purtroppo!) accompagna sempre il progresso in ogni campo: ed è ingeneroso attribuire alla Chimica una negatività particolare. Lo stesso può essere detto a proposito dell'inquinamento ambientale, con i suoi risvolti sanitari, che è seguito in Italia allo sviluppo dell'industria chimica negli anni '60 e seguenti. Quanto vi è di negativo non ci deve però far dimenticare che dobbiamo alla Chimica i farmaci che salvano milioni di vite umane e, sempre ad essa, siamo debitori di tutti quei

\* Direttore responsabile di "Molecole in Primo Piano".

1. [wikipedia.org/wiki/Disastro\\_di\\_Seveso](http://wikipedia.org/wiki/Disastro_di_Seveso).

2. [wikipedia.org/wiki/Disastro\\_di\\_Bhopal](http://wikipedia.org/wiki/Disastro_di_Bhopal).

materiali che contribuiscono al nostro benessere e di tutti quei metodi di screening che monitorano lo stato della nostra salute.

Le due facce della Chimica possono essere evidenziate e discusse a partire da eventi storici importanti: così la prima guerra mondiale, purtroppo combattuta anche con armi chimiche, segna il passaggio da una scienza — quella dell'epoca Vittoriana nella quale muoveva i primi passi — a una nuova, dedicata a risolvere i problemi della fame del mondo (basta, ad esempio, pensare alla fissazione dell'azoto atmosferico). Ma nello stesso periodo la Chimica prepara esplosivi e armi chimiche, innescando negli operatori della disciplina drammatici dilemmi fra creazione o distruzione, fra inquinamento o disinquinamento. Sotteso a tutto ciò vi è l'aspetto economico-sociale, che non è secondario, specialmente in un contesto di sviluppo industriale e commerciale, cioè quando i risultati delle scoperte devono diventare oggetto di investimenti e scelte di mercato.

La collana "Molecole in Primo Piano" ha l'ambizione di voler mettere tutti, ma in particolare i giovani e i cittadini non addetti ai lavori, nella condizione di conoscere, per giudicare senza pregiudizi. Cerchiamo di farlo, illustrando le applicazioni e le ricadute — noi riteniamo siano tante quelle positive — delle attività chimiche lasciando la valutazione complessiva ai singoli lettori, ma sulla base di una più solida conoscenza. Cercheremo anche di parlare di storia della Chimica, spesso trascurata dagli operatori della disciplina, anche se la prospettiva storica è fondamentale per comprendere i due volti della Chimica.

La Chimica in sé — come ogni altra scienza — non è buona o cattiva: è solo straordinariamente utile al progresso dell'umanità. E porta in sé la capacità di correggere i suoi stessi errori e prevenire disastri. In questa direzione, l'Europa già nel 2006 ha approvato un regolamento (REACH, Registration Evaluation Authorization of Chemicals), che attraverso una progressione di scadenze avrà piena applicazione nel 2018, e secondo il quale sostanze e materiali dovranno essere attentamente valutati prima della loro immissione sul mercato. Questo regolamento rappresenta un deciso passo avanti per attenuare il tributo di rischi che accompagnano sempre, inevitabilmente, il progresso.

Avremo modo di tornare spesso sull'argomento che è troppo importante per essere semplicemente archiviato. Nel frattempo, vi auguriamo un buona lettura degli articoli che seguono.

## Chimica e ambiente, binomio virtuoso

CESARE PUCCIONI\*

La chimica ha sofferto a lungo, anche in tempi piuttosto recenti, di un'immagine negativa in termini di impatto ambientale, quale eredità di un passato in cui altre erano le tecnologie e le priorità sociali (la crescita come traino per rilanciare un Paese sfinito nel dopoguerra) e differenti erano i dettati normativi: una realtà che si riscontra anche oggi in alcuni Paesi emergenti, dove l'urgenza dello sviluppo è dominante rispetto alle esigenze climatiche e ambientali.

L'avanzata fase di “deinquinamento”, in cui oggi si trovano tutti i Paesi evoluti, è principalmente effetto di un'intensa attività di ricerca di soluzioni più “pulite”.

I progressi più straordinari in questa direzione riguardano proprio l'industria chimica, che è stata il primo settore ad avere concretamente sposato l'obiettivo dello sviluppo sostenibile attraverso il programma *Responsible Care*, nato in Canada nel 1984 dalla CCPA (Canadian Chemical Producer Association) e poi adottato nel 1988 dall'ACC (American Chemistry Council). L'anno successivo il Programma è stato avviato in Europa dal CEFIC (European Chemical Industry Council).

*Responsible Care* è un programma mondiale che su base volontaria impegna le imprese a perseguire il miglioramento continuo nei settori della sicurezza, salute e protezione ambientale. In Italia *Responsible Care*, avviato nel 1992 e gestito da Federchimica, è attualmente perseguito con impegno e determinazione da 165 imprese di grande, media e piccola dimensione, italiane e estere.

Dal 1989 le emissioni inquinanti in acqua sono diminuite del 62% per l'azoto e dell'80% per la domanda chimica di ossigeno. Ancora migliori sono i risultati conseguiti nell'abbattimento delle emissioni atmosferiche: -91% per gli ossidi di azoto, -92% per i composti organici

\* Presidente di Federchimica (Federazione italiana dell'industria chimica).

volatili, -98% per le polveri e -99% per l'anidride solforosa. Grande attenzione è stata anche dedicata alla gestione responsabile dei rifiuti ove è in continua diminuzione la percentuale di quelli classificati come "pericolosi" che oggi è solo del 28%. Inoltre, particolarmente interessante è la modalità di smaltimento: il 44% dei rifiuti è recuperato o utilizzato per il ripristino ambientale a testimonianza della sensibilità delle imprese chimiche nel contribuire a creare un'economia circolare che sempre più riutilizzi il rifiuto e/o lo trasformi in nuova risorsa.

Nel suo complesso, gli investimenti che l'industria chimica destina alla sicurezza, alla salute e all'ambiente ammontano a circa 1 miliardo di euro, pari a circa il 2% del fatturato totale. Oggi sempre più le imprese sono impegnate per la gestione responsabile dei prodotti lungo l'intero ciclo di vita, dalla acquisizione delle materie prime alla fine o alla nuova vita del prodotto.

L'industria chimica è all'avanguardia anche nello studio per il miglior utilizzo delle risorse: ricerca continuamente nuove strade per realizzare prodotti in modo sempre più efficiente e conveniente, riducendo al minimo gli sprechi nel rispetto della salute e dell'ambiente.

A parità di produzione, rispetto agli altri settori, la chimica utilizza -26% di petrolio per la trasformazione in prodotti chimici e ha migliorato del 50% la propria efficienza energetica (risultato di gran lunga superiore agli obiettivi indicati dall'Unione Europea per il 2020 e per il 2030).

La petrolchimica fa un uso intelligente e sostenibile del petrolio: invece di bruciarlo, utilizza i suoi derivati, ad esempio la "virgin nafta", come materia prima da cui si ottengono moltissimi prodotti utili, come i tanti derivati dalle materie plastiche.

La chimica da biomasse utilizza materie prime di origine biologica per fare prodotti chimici e biocarburanti e contribuisce alla sostenibilità in modo duplice: attraverso l'uso di materie prime che comportano minori emissioni di "gas serra" così come attraverso l'offerta di prodotti biodegradabili e biocompostabili.

La frontiera tecnologica si orienta sempre di più verso l'utilizzo di materie prime prive di usi alternativi, come colture agricole in aree a scarsa produttività, scarti e rifiuti dell'industria agro-alimentare, alghe, microorganismi coltivati in condizioni artificiali.

La chimica da fonti rinnovabili rappresenta uno dei modi in cui la chimica contribuisce alla sostenibilità, ma non il solo, perché tutta

la chimica offre soluzioni sostenibili. Nella chimica inorganica, ad esempio, riveste grande importanza l'industria del cloro dal quale si ottengono moltissimi prodotti, come la gran parte dei medicinali, inclusi molti farmaci "salvavita". Innumerevoli utilizzi ha anche l'acido solforico, dalla depurazione delle acque ai fertilizzanti, solo per citare alcuni esempi.

La chimica fornisce soluzioni importanti per un utilizzo più razionale dell'acqua. Attraverso il miglioramento dei processi produttivi, le stesse imprese chimiche lo hanno diminuito del 32% tra il 2005 e il 2015, limitando l'utilizzo di acqua potabile da acquedotto ad appena l'1,0% e da pozzo all'11%. Le fonti principali di approvvigionamento oggi sono il fiume e il mare (88%). Soprattutto, il consumo di acqua è diminuito nell'agricoltura, che da sola impiega il 70% di tutta l'acqua dolce disponibile a livello mondiale: utilizzando i tubi in PVC è infatti possibile abbattere drasticamente gli sprechi, grazie alla loro durata e all'assoluta tenuta, nonché all'irrigazione a goccia.

La sfida più importante per le generazioni future, quella dello "Sviluppo Sostenibile", può essere vinta anche grazie alla chimica, indispensabile motore di sostenibilità connaturata con l'innovazione, attiva nell'uso efficiente e razionale delle risorse, minimizzando l'uso di quelle più preziose, riutilizzandole o sostituendole con altre meno rare e meno costose, nonché più sicure, valorizzando gli scarti in una sana prospettiva di economia circolare.



## L'inquinamento da traffico veicolare

ROSARIO NICOLETTI\*

Con le nebbie autunnali, le scarse piogge e l'assenza di vento cominciano nelle città quei riti domenicali che vanno sotto il soave nome di "domeniche ecologiche". Si tratta di domeniche nelle quali, alla sera, fino a qualche tempo fa si ascoltava nei telegiornali un certo numero di interviste di cittadini felici per avere avuto l'opportunità di godersi una giornata di quiete in città, passeggiando o andando in bicicletta. Non avveniva quasi mai di ascoltare l'altra campana: quanti non avevano potuto raggiungere il parente malato all'ospedale o non avevano potuto visitare i congiunti perché impediti dalle restrizioni del traffico. La moda di sacrificare le attività dei cittadini — qualcosa che ricorda un po' la penitenza — è cominciata negli anni '70 con la crisi del petrolio: all'epoca era chiamata "austerità" ed era giustificata dal minor consumo di carburanti.

La prima domanda che molti si pongono è la seguente: di *quale* inquinamento si parla? Non sarebbe sbagliato, visto che si chiede un sacrificio, fornire le corrette informazioni per conoscere le vere cause del problema. L'inquinamento dell'aria nelle città è diventato oggetto di dibattiti e interviste, ed è la causa di discussi provvedimenti tesi a limitare il traffico dei veicoli. Ma, abbastanza curiosamente, si parla di inquinamento senza cercare di approfondirne gli aspetti tecnici, se non a brevi cenni, e non si comprende bene se ciò corrisponde alle mutate condizioni o alle mode.

Il benzene e gli idrocarburi aromatici sono stati indicati negli anni passati come la minaccia più grave alla salute di quanti vivono nelle città: da un certo tempo a questa parte, il benzene ha cessato di turbare i nostri sonni, e l'inquinamento del quale si parla è quello delle polveri o "particolato". Difficile capire se il benzene sia scomparso dall'aria

\* Gruppo Senior Società Chimica Italiana, [nicoletti.rosario96@gmail.com](mailto:nicoletti.rosario96@gmail.com).

delle città o se la sua presenza sia divenuta accettabile. O sia stato semplicemente dimenticato per l'incombere di una nuova minaccia: le famose PM<sub>10</sub>, di ridotte dimensioni, le quali sembrerebbero capaci di superare gli alveoli polmonari e raggiungere il torrente sanguigno, veicolando sostanze cancerogene.

L'inquinamento dell'aria ad opera del traffico veicolare — non essendo certo questa l'unica causa — ha una storia lunga nella quale si sono intrecciate le esigenze di salvaguardia dell'ambiente con la ricerca del profitto da parte dell'industria automobilistica e delle multinazionali del petrolio: vale la pena ripercorrerla per grandi linee, per cercare di capire da dove provengono le minacce che ci sovrastano.

Le poche automobili che correvano per le strade nei primi anni dello scorso secolo utilizzavano come carburante la benzina che si otteneva direttamente dalla distillazione del petrolio grezzo. Il motore a scoppio, chiamato anche a “combustione interna”, utilizza l'energia della reazione tra gli idrocarburi che compongono la benzina e l'ossigeno.



Due sono i tipi di motori oggi generalmente usati per le autovetture: quelli a benzina (a ciclo Otto, dal nome dell'ingegnere tedesco Nikolaus August Otto che ne depositò il brevetto nel 1876) e quelli a gasolio (ciclo Diesel, dal nome dell'ingegnere tedesco Rudolf Christian Karl Diesel che lo brevettò nel 1892).

Entrambi sono motori “a quattro tempi” indicando con ciò la durata dell'intero ciclo (aspirazione, compressione, scoppio, scarico). Nei motori a benzina la combustione della miscela aria-benzina — introdotta nel cilindro nella fase di aspirazione — è provocata da una scintilla che scocca tra gli elettrodi di una “candela”; nei diesel, invece, l'accensione della miscela è provocata dalla sola compressione, e il carburante viene iniettato direttamente nel cilindro. Agli albori dell'automobilismo l'unico tipo di motore utilizzato era quello a benzina: il diesel si è diffuso nelle automobili solo alcuni decenni più tardi. Negli

anni passati quest'ultimo era utilizzato quasi esclusivamente su veicoli commerciali.

Nei motori ad accensione con candela, può accadere che la miscela esploda precocemente già nella fase di compressione, cioè prima dello scoccare della scintilla. Il cosiddetto "battito in testa" del motore (un fenomeno il cui ripetersi arreca gravi danni meccanici al motore) non costituiva un problema nelle prime automobili i cui motori avevano un basso "rapporto di compressione", cioè la variazione di volume che si ha quando il pistone passa (nella sua corsa) dal "punto morto" inferiore al punto morto superiore. In sostanza è la compressione con l'innalzamento di temperatura conseguente che provoca l'accensione nel "momento sbagliato". Se pensiamo che la Ford modello T, nata nel 1908 e prodotta per 19 anni, aveva motori con rapporti di compressione inferiori a 5:1 ci rendiamo conto di come il problema del temuto battito in testa non fosse troppo pressante durante i primi anni di sviluppo dell'automobile.

D'altra parte, il rendimento complessivo di un motore — la potenza erogata in funzione del consumo di carburante — aumenta con il rapporto di compressione ed è questo uno dei motivi per i quali il diesel — meno assetato — ha fatto la sua fortuna. Per migliorare le prestazioni dei motori — oggi i rapporti di compressione sono intorno a 10:1 — era indispensabile disporre di carburanti più adatti di quelli all'epoca disponibili.

La questione fu affrontata in una piccola ditta, la Dayton Engineering Laboratories Co., nel secondo decennio del secolo scorso, ove era stato affidato a Thomas Midgley — un impiegato — il compito di risolvere il problema delle esplosioni incontrollate che rovinavano i motori. Midgley trovò che lo iodio, aggiunto al carburante ne migliorava le proprietà e, continuando a provare un grandissimo numero di sostanze, trovò infine (1921) che il piombo tetraetile — un composto metallorganico poco noto — impartiva eccellenti proprietà antidetonanti alla benzina. L'inconveniente dato dalla presenza di piombo metallico nello scarico venne facilmente superato, aggiungendo degli idrocarburi contenenti bromo. Nella combustione il bromo si combina con il piombo, dando luogo a un sale (bromuro di piombo) abbastanza volatile da essere espulso con i gas di scarico.

I composti metallorganici sono così chiamati per la caratteristica di avere il metallo direttamente legato al carbonio: questo fatto im-

partisce proprietà del tutto differenti da quelle che siamo abituati ad attribuire a un metallo o ai suoi sali. Ad esempio, il piombo tetraetile è un liquido che può essere distillato, sia pure a pressione ridotta. Per le loro peculiari proprietà, che facilitano l'ingresso del metallo negli organismi viventi, molti metallorganici sono altamente tossici: una delle più grandi tragedie dell'inquinamento è stata causata dal metilmercurio. Nelle fabbriche che preparavano il piombo tetraetile numerosi sono stati gli incidenti che hanno provocato vittime.

Aggiunto alla benzina in piccole quantità (meno di 1g/litro) questa sostanza ne migliora nettamente le qualità antidetonanti, e nei decenni successivi ha assunto una straordinaria importanza per l'industria motoristica (automobilistica e aeronautica). Ma l'uso esteso, particolarmente nel secondo dopoguerra, con una vera esplosione nei consumi della benzina per auto, ha portato all'attenzione delle autorità problemi di tipo sanitario. L'immissione nell'ambiente di tonnellate di piombo era fonte di preoccupazione e dagli anni '60 in poi si è cercato di limitare o di sostituire l'uso del piombo tetraetile. Nel frattempo, lo sviluppo della petrolchimica, aggiungendo alla semplice distillazione i processi di cracking, cracking catalitico e reforming, aveva permesso di ottenere — tra molto altro — benzine e carburanti con un maggior potere antidetonante rispetto alla benzina prodotta per semplice distillazione del petrolio.

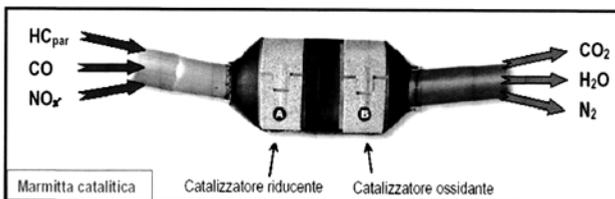
Il potere antidetonante di una benzina dipende dalla sua composizione: se contiene in prevalenza idrocarburi a catena lineare ha basso potere antidetonante. Il contrario avviene se i componenti della benzina sono idrocarburi "ramificati", cioè a catena non lineare.

La proprietà antidetonante dei "ramificati" ha permesso di stabilire una misura del potere antidetonante di una benzina: il cosiddetto "numero di ottano" che non è altro che il potere antidetonante osservabile in un motore e paragonato a quello di una miscela di eptano (a catena lineare) e isoottano (ramificato).

Ma proprietà analoghe sono possedute dagli idrocarburi cosiddetti "aromatici" — questo il nome ad essi attribuito per via del loro forte odore — il più semplice dei quali è il benzene. Gli aromatici sono caratterizzati dall'aver nella molecola un rapporto idrogeno/carbonio inferiore a quello degli idrocarburi presenti in larga maggioranza nel petrolio: ma sono preziosi per molte loro proprietà, particolarmente quelle chimiche, sfruttate in moltissimi rami dell'industria. Gli aroma-

tici, scoperti studiando il catrame di carbone fossile, sono ottenibili in quantità dal petrolio, attraverso quei processi di reforming ai quali abbiamo fatto cenno: la loro presenza nelle benzine migliora il potere antidetonante. Così verso i primi anni '70 si è posto il problema di preparare delle benzine a numero di ottano sufficientemente alto — utilizzando gli idrocarburi aromatici — in modo da eliminare il piombo tetraetile quale additivo. L'operazione sarebbe stata conveniente dal punto di vista economico: infatti, l'uso degli aromatici quali solventi (ad es., di vernici o colle) cominciava ad essere a ragione contestato per la tossicità di queste sostanze (il benzene è sicuramente cancerogeno) ma la loro produzione era ed è legata agli impianti industriali esistenti, la cui modifica avrebbe richiesto investimenti colossali. In breve e semplificando, si pensò di utilizzare gli aromatici, prodotti in eccesso rispetto alla richiesta del mercato, come combustibili. Tutto ciò poneva un nuovo problema: essi avrebbero peggiorato la qualità delle emissioni dei gas di scarico dei veicoli, per i quali diventava indispensabile provvedere a una "bonifica". Nasceva così l'idea della marmitta catalitica.

La combustione è in realtà un processo più complesso di una semplice ossidazione: i gas che si formano, principalmente anidride carbonica e acqua, sono sempre accompagnati da piccole quantità di altri componenti. Così, nei gas di scarico di un'automobile sono presenti idrocarburi incombusti (HC), ossido di carbonio (CO), ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), occasionalmente anidride solforosa, se la benzina o (più facilmente) il gasolio contengono tracce di zolfo. Gli ossidi di azoto e l'anidride solforosa sono responsabili del fenomeno delle "piogge acide" che hanno provocato molti danni in alcuni paesi del nord Europa: in Italia e nel sud Europa i terreni calcarei hanno arginato i danni facendo da tampone all'acidità. E per quanto riguarda gli idrocarburi incombusti è evidente la pericolosità delle emissioni se il combustibile è ricco di aromatici.



Era necessario mettere a punto un sistema catalitico che fosse in grado di ossidare incombusti ed ossido di carbonio (trasformandoli in anidride carbonica e acqua) e allo stesso tempo ridurre gli ossidi di azoto (trasformandoli in azoto). L'adsorbimento di alcuni metalli su allumina o materiali ceramici inseriti in un tratto del sistema di scarico si rivelò adatto allo scopo: i metalli generalmente utilizzati sono palladio, platino e rodio. Così le moderne automobili sono state dotate di un piccolo reattore facente parte del sistema di scarico dei gas del motore. Questi dispositivi hanno però un limite: devono lavorare in un intervallo di temperatura piuttosto elevato, e non sono efficaci se non si è raggiunta la temperatura di esercizio. Ciò ha suscitato e suscita tuttora perplessità sulla efficacia di questi congegni utilizzati nella realtà quotidiana: in città l'auto viene spesso usata per brevi tratti, e non è sicuro che il catalizzatore raggiunga la temperatura adatta al funzionamento. D'altra parte ogni controllo viene eseguito a motore caldo e non sono previste misure su strada. A causa della tossicità il piombo tetraetile è stato bandito quale additivo delle benzine: i più anziani ricordano un periodo nel quale coesistevano benzina rossa e benzina verde, essendo necessario l'uso della seconda nelle automobili con catalizzatore. E ciò era necessario essendo il piombo un veleno per questo dispositivo, che risulterebbe in breve inattivato. Inoltre, il sistema catalitico funziona solamente se il rapporto tra aria e carburante è esattamente dosato: questo ha fatto sparire i carburatori, sostituiti dalla iniezione comandata da una centralina che riceve informazioni da una sonda che controlla la composizione dei gas di scarico.

All'epoca (anni '80) molti si chiesero se era saggio abbandonare il piombo tetraetile affidandosi agli aromatici: avere definito una tale benzina "verde" poteva essere una buona trovata di marketing, ma non troppo aderente alla realtà. Delle inchieste stabilirono che il tenore di piombo nel sangue degli abitanti delle città non differiva da quello di chi abitava in campagna. Il traffico veicolare era solo una componente dell'inquinamento da piombo in quanto, se questo metallo circola nell'ambiente, può avere svariate origini: dai tubi dell'acqua alle vernici. Ad ogni caso, la benzina al piombo è stata definitivamente bandita dall'anno 2000. La benzina verde attuale contiene il 40% circa di aromatici, e meno dell'1% di benzene. Sono altresì aggiunti dei composti ossigenati (metil-, etil- e *t*-butiletere) per raggiungere il numero di ottano desiderato. La presenza di una certa quantità di ben-