

# MOLECOLE IN PRIMO PIANO

LA CHIMICA NELLA VITA QUOTIDIANA

6

*Direttore responsabile*

Luigi CAMPANELLA  
Sapienza – Università di Roma

*Partner scientifico*

Gruppo Senior della Società Chimica Italiana

*Comitato editoriale*

Franco ALHAIQUE  
Sapienza – Università di Roma

Domenico MISITI  
Sapienza – Università di Roma

Rosario NICOLETTI  
Sapienza – Università di Roma

Raffaele RICCIO  
Università degli Studi di Salerno

Gianfranco SCORRANO  
Università degli Studi di Padova

Margherita VENTURI  
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna



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 nelle attività sociali e quotidiane.



Aracne editrice

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

Copyright © MMXX  
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 978-88-255-3408-5

*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: luglio 2020

# H<sub>2</sub>O in primo piano

Divagazioni chimiche sull'acqua

*a cura di*

Gruppo Senior della Società Chimica Italiana

*Contributi di*

Franco Alhaique, Carmela Bisaccia, Franco Calascibetta

Luigi Campanella, Laura Cipolla, Simone D'agostino

Natale Gaspare De Santo, Rosa Maria De Santo, Leonardo Fumagalli

Mauro Icardi, Francesco Naso, Rosario Nicoletti, Maurizio Paci

Federico Piciacchia, Andrea Rizzo





Laudato si', mi' Signore, per sor' aqua, la  
quale è multo utile et humile et pretiosa  
et casta.

S. FRANCESCO, *Il Cantico delle creature*



## Indice

- 11 Editoriale. L'acqua, un indicatore di sostenibilità  
*Luigi Campanella*
- 13 Si fa presto a dire H<sub>2</sub>O... Il percorso storico che ha portato  
alla formula chimica dell'acqua  
*Franco Calascibetta*
- 29 C'era un "Volta"... Una storia sull'elettricità  
*Rosario Nicoletti*
- 41 Il sangue non è acqua. Ovvero un breve racconto sulla som-  
ministrazione endovenosa  
*Franco Alhaique*
- 53 Acqua: è proprio l'oro blu!  
*Luigi Campanella*
- 59 Chimica e musica. Quando gli atomi incontrano le note  
*Francesco Naso*
- 73 L'acqua fra storia, miti e leggende  
*Natale Gaspare De Santo, Carmela Bisaccia, Rosa Maria De Santo*

89    Semplice come l'Acqua

*Maurizio Paci*

95    Biotecnologie Sommerse

*Simone D'agostino, Federico Piciacchia, Leonardo Fumagalli, Andrea Rizzo,  
Laura Cipolla*

105   Riflessioni sull'acqua

*Mauro Icardi*

Editoriale

## L'acqua, un indicatore di sostenibilità

LUIGI CAMPANELLA\*

Acqua, cultura, pace: un triangolo molto significativo. Pace vuol dire messa in comune di ricchezze e di risorse: il nostro pianeta è nato senza barriere, senza confini. Le risorse del pianeta appartengono a tutte le nazioni. Il pianeta Terra non conosce né le nazioni, né i confini di proprietà degli uomini. Esso cela, conserva ed elargisce i beni primari perché i regni di natura più evoluti ne possano trarre sostentamento. È in questo spirito che l'umanità deve operare con scambievole collaborazione, utilizzando le materie prime secondo il principio di equità. Fra queste risorse l'acqua è di certo la più necessaria per il nostro corpo: si può sopravvivere alla fame non alla sete. L'acqua è una risorsa essenziale per la vita dell'uomo. Essa è fondamentale non solo per la sopravvivenza stessa, ma anche per attività quali agricoltura ed industria. Senza di lei non vi può essere sviluppo ed il mantenimento delle risorse idriche soggette a deterioramento dovuto a molti fattori è problema molto importante.

Lo stesso ruolo che l'acqua esercita per il ns corpo viene esercitato per la nostra mente dalla cultura, intesa nel senso più generale della parola. Tradizioni, religioni, arti di un popolo ne rappresentano la ricchezza comune, ma anche quella di ogni singolo cittadino. Queste risorse, acqua e cultura, contribuiscono alla crescita sociale ed economica, alla qualità della vita, alla salute dei popoli ma esse stesse, se distribuite in modo iniquo, diventano strumenti di discriminazione, di dominio e di potere. La pace ne risulta compromessa. A chi vengono tolte acqua e cultura vengono sottratte risorse di vita e di sviluppo sociale. La comunità culturale è certamente più sensibile alla lotta alle

\* Gruppo Senior Società Chimica Italiana, [luigi.campanella@uniroma1.it](mailto:luigi.campanella@uniroma1.it)

discriminazioni e all'equa ripartizione delle risorse di quanto non lo sia la comunità economica: la pace che da questa viene spesso compromessa può essere salvata da quella. In questo senso convegni, incontri, appelli delle comunità scientifiche e culturali, pubblicazioni "open" rappresentano preziosi strumenti in difesa della pace, dell'equilibrio sociale, del diritto alla vita ed alle sue indispensabili risorse. In questo senso anche noi di Molecole in Primo Piano vogliamo portare il nostro contributo.

## Si fa presto a dire H<sub>2</sub>O...

Il percorso storico che ha portato alla formula chimica dell'acqua

FRANCO CALASCIBETTA\*

### 1. Introduzione

Credo che si possa affermare che per quanto lacunose e lontane dai propri interessi possano essere le conoscenze chimiche di un qualsiasi individuo, tutti associno all'acqua la ben nota formula chimica. Probabilmente però non tutti hanno presenti i vari passaggi teorici e sperimentali che hanno consentito alla nostra disciplina, nel periodo in cui essa nacque come scienza a cavallo tra '700 e '800, di arrivare alla suddetta formula. In questo articolo cercherò quindi di analizzare, sia pure sommariamente, le tappe fondamentali di questo percorso.

### 2. Il contributo di A.L. Lavoisier

Il primo personaggio che incontriamo in questa nostra ricostruzione è quello che è universalmente riconosciuto come il padre della chimica moderna, A.L. Lavoisier (1743–1794). Praticamente ai suoi esordi come scienziato egli presentò all'Accademia reale delle scienze di Parigi due suoi scritti aventi come tema la « natura dell'acqua e le esperienze attraverso le quali si è preteso di provare la possibilità della sua trasformazione in terra »<sup>1</sup>.

\* Facoltà di Scienze MFN "La Sapienza" Università di Roma. franco.calascibetta@uniroma1.it

1. A.L. LAVOISIER, *Sur la nature de l'eau et sur les expériences par lesquelles on a prétendu prouver la possibilité de son changement en terre*, in *Oeuvres de Lavoisier publiées par les soins de son excellence le Ministre de l'instruction publique et des cultes, Tome II, Mémoires de Chimie et de Physique*, Paris 1862, pp. 1–28.

A qualcuno potrebbe sembrare strano che ancora nella seconda metà del settecento si affrontasse dal punto di vista scientifico una tematica evidentemente legata alle idee aristoteliche sui quattro principi elementari alla base di tutti i corpi. Non va però dimenticato come per certi versi la chimica come scienza si sviluppò più tardi rispetto ad altre discipline scientifiche. Essa prima di Lavoisier non costituiva ancora un complesso organico e coerente e non esisteva nemmeno la figura del chimico per come possiamo intenderla modernamente. Esistevano filosofi naturali, medici, farmacisti etc. e ciascuno di loro si occupava di una parte di quella scienza che stava prendendo gradualmente il nome di chimica. C'erano parecchi manuali dedicati alla disciplina ed in essi certamente abbondavano le descrizioni di fenomeni e di procedimenti empirici senza però un adeguato quadro teorico che potesse inquadrarli. E se all'inizio di tali manuali era inevitabilmente presente un capitolo dedicato ai principi generali della costituzione della materia, in esso, senza un reale legame col resto del trattato, si faceva riferimento sempre ai principi aristotelici, magari mescolati a quelli introdotti dalla tradizione alchemica — sale, zolfo, mercurio — in un insieme comunque confuso e diverso da autore ad autore<sup>2</sup>.

A tutto questo si era poi aggiunta la pubblicazione di un'opera di S. Hales (1677–1761) un pastore anglicano che si occupò di botanica e fisiologia, dal titolo *Statistical Essays*. La prima parte dell'opera intitolata *Vegetable Statics* uscì nel 1727 e venne tradotta in francese alcuni anni dopo. Hales aveva misurato, mediante molteplici esperienze, l'«aria» che si liberava da processi quali la fermentazione, la distillazione, e l'azione di reagenti su sostanze organiche ed inorganiche. Questo era reso possibile da un apparato da lui introdotto, il «bagno pneumatico» (vedi Figura 1).

L'interpretazione dei risultati delle sue osservazioni era che l'aria appariva ora effettivamente e non solo filosoficamente come un costituente dei corpi, in grado di fissarsi in essi e da essi essere recuperata. Questo determinò quello che venne definito come un ritorno ad Aristotele.

Possiamo al proposito citare Voltaire che giunse ad affermare: «Sembra che dopo tutte le ricerche della filosofia moderna si pos-

2. F. ABBRI, *La Chimica del '700*, Torino 1978, pp. 9–29.

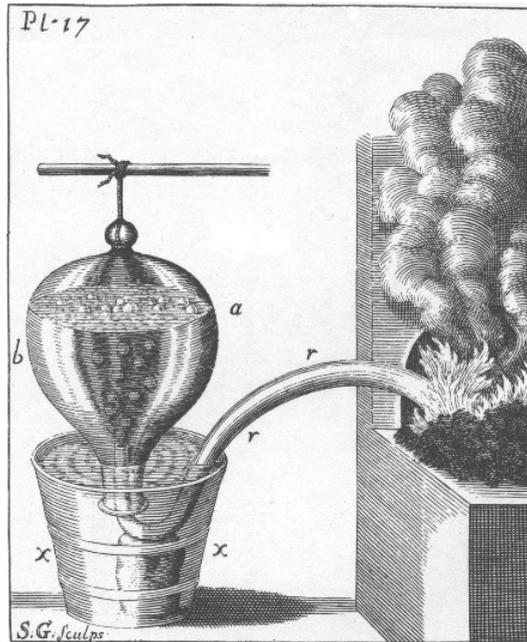


Figura 1. Il bagno pneumatico di S. Hales.

sa ritornare a questi quattro elementi che l'antichità aveva ammesso senza conoscerli troppo bene»<sup>3</sup>.

È in questo contesto che Lavoisier scrisse le due memorie che stiamo ricordando. L'idea che l'acqua fosse in grado di tramutarsi in terra prima che Lavoisier la sottoponesse al suo vaglio scientifico era stata espressa da molti filosofi naturali. Il primo di questi era stato J. B. van Helmont (1580–1644) medico e fisiologo fiammingo che aveva condotto per alcuni anni la seguente esperienza. Egli aveva posto in un vaso di argilla 200 libbre di terra, pesata dopo averla seccata a caldo. Vi aveva quindi piantato un piccolo salice di 5 libbre che aveva innaffiato continuamente per cinque anni usando solo acqua distillata. Aveva avuto cura di coprire la terra nel vaso con una lastra di stagno bucherellata per impedire il deposito di polvere sulla terra stessa. Al termine dei cinque anni il salice era enormemente cresciuto e pesava più di 169 libbre, mentre la terra aveva subito una diminuzione lievissima del suo peso. In base a tale osservazione van

3. F. ABBRI, *Le terre, l'acqua, le arie*, Bologna 1984, pag. 44.

Helmont aveva concluso che tutte le parti solide che erano andate a costituire la pianta derivavano dall'acqua.

Lavoisier nell'introduzione della prima memoria osservava che la sola conclusione che si poteva trarre dalle osservazioni di van Helmont e degli altri che anche in epoche recenti ne avevano condotte di simili, era che la terra nel vaso non sembrava svolgere un ruolo sull'accrescimento della pianta. Non risultava affatto che dall'acqua derivasse tutto l'insieme delle sostanze che costituiscono una pianta, che contiene anche oli, resine, sostanze odorose, succhi acidi e alcalini etc. Del resto il salice di van Helmont era stato per tutta la durata della sua crescita a contatto anche con l'aria ed era ormai accettato che attraverso le foglie i vegetali erano in grado di effettuare una considerevole traspirazione.

Oltre a queste esperienze legate alle piante erano state poi effettuate in passato osservazioni sulla distillazione dell'acqua e molti studiosi avevano notato che sottoponendo una certa quantità di acqua a ripetute distillazioni alla fine da essa si otteneva ogni volta una specie di terra, leggera, insipida ed indissolubile.

Descritte tutte le osservazioni precedenti, Lavoisier passava a dar conto delle proprie esperienze. Aveva utilizzato dell'acqua piovana, raccolta dopo un certo tempo dall'inizio della pioggia per avere un'acqua non sporcata dal pulviscolo atmosferico. Aveva verificato la sua purezza misurando la sua densità tramite un aerometro da lui stesso ideato (in Figura 2 sono riportati diversi tipi di areometri riportati nelle opere di Lavoisier).

Per effettuare la distillazione ripetuta dell'acqua egli decise di utilizzare uno strumento derivante dalla tradizione alchemica, il pellicano (di cui riportiamo in Figura 3 un disegno alchemico e una foto moderna) in maniera che il vapore si formasse e si ricondensasse in continuazione nel recipiente che aveva una sola uscita accuratamente tenuta sigillata nel corso dell'esperienza.

Si fece infine costruire una bilancia molto precisa e sensibile (Figura 4) in grado di rilevare la differenza di un grano (poco più di 50 milligrammi) anche per pesate di più di 5 libbre (oltre 2 chilogrammi).

Iniziò quindi la propria esperienza determinando il peso del pellicano vuoto e del suo tappo trovandolo pari a 823,3 grammi (N.B. Abbiamo tradotto i dati che Lavoisier riporta nel nostro sistema di unità di misura). Versò nel pellicano l'acqua piovana ulteriormente

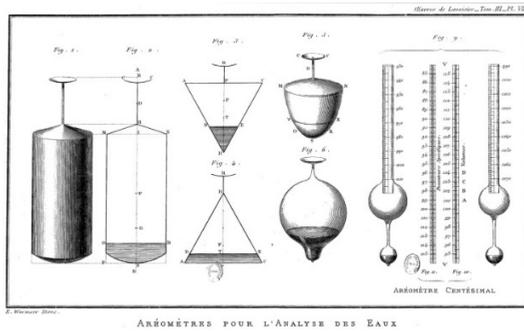


Figura 2. Aerometri di Lavoisier.



Figura 3. Il pellicano.



Figura 4. Bilancia usata da Lavoisier nelle sue esperienze.

distillata. Pesò quindi il recipiente pieno e tappato e trovò un peso di 2736,0 grammi, da cui ricavò per differenza il peso dell'acqua nel recipiente pari a 1912,7 grammi.

A questo punto chiuse ermeticamente il tappo con argilla e olio di lino. Mise il recipiente in un bagno di sabbia e lo ricoprì fino a due dita sotto il livello dell'acqua. Accese sotto il bagno una lampada a olio. Lasciò il tutto per 101 giorni consecutivi ad una temperatura intorno ai 60–70 gradi Réaumur (70–80 °C). Durante questo periodo osservò la formazione di piccoli corpi fluttuanti, che crebbero nel tempo diventando via via più grigi. Man mano che ingrandivano essi si depositavano sul fondo e sulle pareti interne del recipiente. Allorché decise di terminare l'esperienza, spense la lampada e, quando il recipiente fu raffreddato, tolse con cura tutto ciò con cui aveva sigillato il tappo e ripesò il pellicano tappato pieno d'acqua e di terra. Il peso complessivo risultò lo stesso che all'inizio. Da questi dati Lavoisier concludeva che si poteva considerare provato che la digestione continuata per più di 100 giorni non procurava al sistema né un aumento né una diminuzione di peso.

Egli prese ora il pellicano tappato e lo stappò con fatica, a causa della pressione dell'aria esterna sul tappo. Infatti prima di tapparlo aveva provveduto a dilatare l'aria interna. Una volta sollevato il tappo, udì un sibilo che evidenziò che l'aria esterna stava rientrando nel recipiente, cosa che confermava che l'aria non era fino a quel momento entrata e indicava la chiusura ermetica del recipiente stesso. Dal momento che non si era trovato alcun aumento nel peso totale del sistema era naturale concludere che « né la materia del fuoco né alcun altro corpo esterno », era penetrato attraverso il recipiente di vetro a combinarsi con l'acqua per formare la terra; restava da determinare se la terra aveva origine dalla distruzione di una porzione dell'acqua o di quella del vetro: date tutte le precauzioni prese non si trattava infatti che di determinare se era il peso del recipiente oppure dell'acqua ad essere diminuito. Lavoisier vuotò il pellicano e mise da parte con cura l'acqua e la terra contenuta; seccò il recipiente e lo pesò. Il peso del pellicano senza acqua risultava ora di 0,93 grammi minore che all'inizio dell'esperienza. Questo dimostrava che era stata la sostanza stessa del recipiente a fornire la terra che si era separata dall'acqua durante la digestione: si era avuta una semplice dissoluzione del vetro.

Restava ancora da comparare il peso della terra formata con la diminuzione del peso del pellicano. Quando però Lavoisier pesò la terra

depositata nel fondo nei 101 giorni di digestione trovò che pesava decisamente meno della perdita di peso del recipiente. Sospettò a questo punto che parte della terra si trovasse disciolta nell'acqua. Misurò la densità di questa e trovò che era molto maggiore di quello dell'acqua all'inizio dell'esperienza. Per determinare la natura e la quantità del soluto fece ricorso all'evaporazione, prima in un alambicco di vetro scaldato a bagno maria e poi, per l'acqua residua, in una capsula di vetro. Portò a secchezza il residuo e lo pesò e trovò che sommando le due quantità di residuo (quella rimasta indisciolta e quella disciolta in acqua e recuperata per evaporazione) si trovava ora un peso di terra uguale a quello perso dal pellicano.

La conclusione che Lavoisier trasse da queste esperienze era che la terra ottenuta era dovuta alla dissoluzione del recipiente in cui era stata effettuata l'esperienza e che l'acqua non variava la sua natura e non acquisiva alcuna proprietà nuova per distillazioni ripetute. La terra che sperimentatori precedenti avevano ottenuto dall'acqua non era altro che vetro e quindi le esperienze su cui si erano poggiati gli scienziati del passato lungi dal provare la possibilità della trasmutazione di acqua in terra, conducevano piuttosto a pensare che tale trasmutazione non avveniva.

Mi sono soffermato su queste memorie di Lavoisier in quanto da esse traspare l'effettiva novità rivoluzionaria della sua chimica che utilizzava sistemi precisamente definiti e strumentazioni adeguate con cui effettuare misure sistematiche al posto di disquisizioni superficiali ed osservazioni approssimative. In essa poi le esperienze non erano mai lasciate al caso ma pensate ed organizzate in maniera logica, quasi sillogistica. Questo modo di procedere gli permetteva di prevedere con chiarezza le conseguenze, quasi « inevitabili » degli esperimenti programmati.

Con lo stesso approccio negli anni successivi Lavoisier continuò le sue ricerche che lo condussero alla osservazione dell'aumento di peso di zolfo e fosforo che si aveva a seguito della loro combustione e dell'enorme quantità di aria che veniva assorbita in tale processo. Da qui egli pianificò una lunga serie di esperienze « sul fluido elastico che si libera dai corpi sia per fermentazione sia per distillazione sia infine mediante le combinazioni di ogni tipo nonché sull'aria assorbita durante la combustione di un gran numero di sostanze ». Tali ricerche lo portarono quindi alla identificazione nell'aria di una frazione

responsabile della respirazione e delle combustioni. L'aria, elemento aristotelico, cessava di esistere. In essa si trovavano almeno due diversi gas, un *aria eminentemente respirabile* e un residuo, una *mofetta* che non consentiva la respirazione (in termini moderni ossigeno ed azoto). Oltre a questi costituenti dell'aria esistevano altri gas, individuati attraverso vari esperimenti, ciascuno con proprietà differenti. Lavoisier ripercorse quindi le osservazioni che soprattutto nella Gran Bretagna erano state fatte nei decenni precedenti e che avevano dato origine alla cosiddetta *chimica pneumatica* ma inserì nel suo nuovo contesto teorico le varie « arie » empiricamente già trovate da altri scienziati prima di lui.

Qui in particolare parleremo della cosiddetta *aria infiammabile* individuata da H. Cavendish (1731–1810) che la aveva ottenuta dalla reazione di metalli quali zinco, ferro e stagno con acido solforico. Che questo gas (in termini moderni l'idrogeno) fosse in grado di infiammarsi in una reazione esplosiva con l'aria fu notato da molti scienziati dell'epoca quali J. Priestley (1733–1804) o il nostro Alessandro Volta (1745–1827). Alcuni di essi notarono anche che a seguito dell'esplosione si formava dell'acqua, ma fu solo nelle mani di Lavoisier che questo esperimento, ripetuto con cura e con una strumentazione costruita all'uopo (vedi Figura 5) divenne la prova della natura composta dell'acqua e della sua composizione elementare. La reazione tra la frazione respirabile dell'aria con l'aria infiammabile con formazione di acqua fu condotta davanti a diversi accademici francesi il 24 giugno 1783 da Lavoisier in-

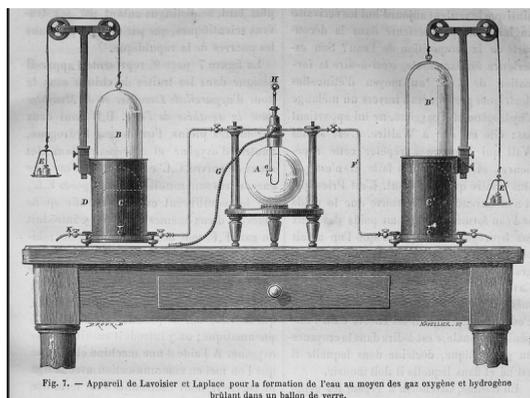


Figura 5. Apparecchio per la sintesi dell'acqua.

sieme a P. S. Laplace (1749–1827). In quegli anni infatti i due scienziati svolsero diverse ricerche comuni come quelle celebri sulla natura del calore.

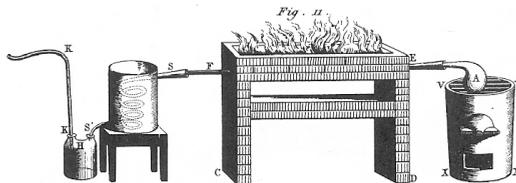
Lavoisier sulla base di tale esperienza concludeva che:

Sembrerebbe che nell'acqua la proporzione in volume della miscela delle due arie, supponendole entrambe nel loro massimo grado di purezza, sia di 12 parti di aria vitale e 22,924345 di aria infiammabile; ma non si può negare che sussista ancora qualche incertezza sull'accuratezza di questa proporzione. Partendo, inoltre, da questo dato, che non deve deviare molto dal vero, e supponendo che a 28 pollici di pressione e 10 gradi del termometro, l'aria vitale pesa grani 0,47317 pollici cubo e l'aria infiammabile pesa grani 0,037449, troviamo che una libbra d'acqua è composta come segue:

	Libbre
Aria vitale, o meglio principio ossigeno	0,86866273
Aria infiammabile, o meglio principio infiammabile dell'acqua	0,13133727
	Totale 1,00000000

Questa unica esperienza di combustione delle due arie e la loro conversione in acqua, peso per peso, porta ad affermare che questa sostanza, fino ad ora considerata un elemento, sia in realtà un corpo composto; ma per accertare una verità di questa importanza, un fatto da solo non era abbastanza; era necessario moltiplicare le prove e, dopo aver composto artificialmente l'acqua, era necessario scomporla. Ho osservato, quindi, che se l'acqua fosse davvero composta, come annunciato dalla combustione delle due arie, dell'unione del principio dell'ossigeno con il principio acquoso infiammabile, non si sarebbe potuta avere decomposizione e liberazione di uno dei suoi principi senza presentare all'altro una sostanza con cui aveva più affinità.

La scelta cadde sul ferro in limatura che già altri avevano visto essere in grado di ossidarsi in acqua distillata. La decomposizione dell'acqua fu effettuata col celebre esperimento schematizzato in Figura 6.



**Figura 6.** La decomposizione dell'acqua.