

A03



# La Chimica nella Scuola

*a cura di*



Società Chimica Italiana



Copyright © MMXIV  
ARACNE editrice S.r.l.

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

via Raffaele Garofalo, 133/A-B  
00173 Roma  
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-xxxx-x  
ISSN 0392-8942

*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 2014

## SOMMARIO

<b>PRESENTAZIONE</b> di Luigi Campanella	<b>7</b>
<b>PERCORSI DIDATTICI SUL TEMA “ACQUA”:</b> <b>il problema di una efficace attività iniziale</b> di Silvia Ripoli	<b>9</b>
<b>PROGETTO DIDATTICO</b> <b>A chi la diamo a bere? L'acqua tra la chimica e i bisogni indotti</b> di Enrico Mansueti	<b>17</b>
<b>UNA RIFLESSIONE SULL'ACQUA</b> <b>Proposte per un curriculum verticale</b> di Carlo Fiorentini, Eleonora Aquilini, Antonio Testoni, Domenica Colombi	<b>25</b>
<b>ACQUA: CHIMICA, CULTURA, PACE</b> di Luigi Campanella	<b>61</b>
<b>LEGGENDE ACQUATICHE</b> <b>Breve rassegna sulle teorie pseudoscientifiche legate all'acqua</b> di Silvano Fuso	<b>73</b>
<b>L'ACQUA VIRTUALE E LE IMPRONTE</b> di Pasquale Fetto	<b>91</b>
<b>LAVOISIER E L'ACQUA</b> di Gianmarco Ieluzzi	<b>105</b>
<b>L'ACQUA DOLCE DAL MARE</b> di Giorgio Nebbia	<b>111</b>



## PRESENTAZIONE

Nel 2025, 3 miliardi di persone, cioè la metà della popolazione mondiale, saranno prive di acqua. Fra i Paesi colpiti dalla desertificazione alcune aree del mondo industrializzato – tra queste buona parte dell'Italia meridionale. La carenza di acqua potabile è dovuta a varie cause: mutamenti climatici per ridotta piovosità, insufficienti investimenti nell'ammodernamento e nella manutenzione dei sistemi idrici, inquinamento delle falde acquifere, cattivo uso della risorsa e del territorio, modelli di sviluppo non adeguati.

Anche se il mondo è composto soprattutto di acqua, solo il tre per cento è acqua dolce: il 97% è salata. L'acqua dolce è distribuita: a) calotte polari, ghiacciai e nevi eterne: 1.72% per un volume di circa ventiquattro milioni di miliardi di metri cubi di acqua; questa quota non è ovviamente utilizzabile; b) sottosuolo: 1,18%; c) acqua dolce superficiale: 0,01% (che non si accumula nei laghi e scorre nei fiumi). Quest'ultima quota, estremamente piccola rispetto al totale delle acque presenti sulla terra, è quella da cui principalmente attinge l'uomo per le sua attività.

Il consumo pro capite al giorno è aumentato

1930	10 litri
1996	229 litri

Anni duemila

329 litri Roma
460 litri Milano
427 litri Firenze
647 litri Imperia

di cui 16,6% perso nelle fognature

In effetti il rapporto acqua perduta vs erogata è pari al 48%.

Punta max di consumo pro capite I° Municipio Roma 829 litri.

Sullo sfondo, ma sempre più in evidenza il nodo sollevato in più sedi di recente della privatizzazione dell'acqua che rimane una minaccia molto concreta nella UE. In paesi come la Grecia e il Portogallo, l'ipotesi di privatizzazione dell'acqua non appare tanto lontana dalla realtà e sempre più cittadini vengono privati dell'accesso all'acqua nei comuni dove l'approvvigionamento idrico è gestito da società private.

I cittadini si battono contro tale privatizzazione in tutta l'UE, con molti esempi di mobilitazioni di massa in Italia con il referendum del 2011, le consultazioni locali di Madrid e Berlino, mobilitazioni più

recenti a El Puerto de Santa María (Spagna) e imminenti consultazioni pubbliche locali in Thesaloniki (Grecia) o Alcazar de San Juan (Spagna). Un'iniziativa dei cittadini europei che ha raccolto quasi 1,9 milioni di firme, prevede che la Commissione europea proponga una normativa di attuazione del diritto umano all'acqua e servizi igienico-sanitari, come riconosciuto dalle Nazioni Unite, e si faccia promotrice della fornitura di acqua e servizi igienico-sanitari essenziali, servizi pubblici per tutti.

Il deficit ecologico espresso come rapporto tra il consumo effettivo di risorse naturali di ciascun paese ed il consumo ideale che si avrebbe se le nazioni attingessero solo alle risorse disponibili all'interno del proprio spazio naturale vale per l'Italia circa 3 ed allora si comprende come il risparmio sia una irrinunciabile linea guida per tutte le risorse naturali sfruttate dall'uomo, a partire proprio dall'acqua: Nicola Cabibbo, compianto Presidente della Pontificia accademia delle Scienze ha detto: "Il problema del clima è strettamente legato alla pace perché riguarda la disponibilità dei mezzi di sostentamento. Il problema è l'acqua. I poveri del mondo sono i più danneggiati dai mutamenti".

**Luigi Campanella**

# **PERCORSI DIDATTICI SUL TEMA “ACQUA”: Il problema di una efficace attività iniziale**

**Silvia Ripoli**

I.C. “N. Pisano” Marina di Pisa – Scuola secondaria di 1° grado  
di San Piero a Grado (Pisa)  
ripolirb@tin.it

## **Riassunto**

*In questa comunicazione si pone l'attenzione sull'importanza di progettare accuratamente l'attività iniziale di un percorso didattico su un tema ampio e con un forte carattere interdisciplinare. Ciò è necessario per coinvolgere emotivamente e cognitivamente gli studenti. In particolare si descrive un'attività iniziale sul tema acqua, sperimentata con un gruppo di studenti della scuola secondaria di 1° grado.*

## **Abstract**

*This communication focuses on the importance of careful designing the initial activity of a school pathway about a broaden topic and with a strong interdisciplinary character. This is necessary to involve emotion and cognition of students. In particular an activity about the topic “water” is described; this activity was experimented with a group of students of the Italian secondary first grade school.*

## **Introduzione**

Affrontare il tema dell'acqua in un percorso scolastico è assolutamente interessante, innanzi tutto poiché questo permette di svolgere attività interdisciplinari. L'acqua entra a far parte della vita degli organismi viventi e interviene nei processi di trasformazione dei sistemi non viventi del nostro pianeta. Lo studio dell'acqua può essere affrontato quindi da vari punti di vista: chimico-fisico [1] [2], chimico-analitico [3], biologico [4], geologico [5], ingegneristico [6], ambientale [5] [7], socio-economico [8] e non solo. Questa interdisciplinarietà del tema acqua favorisce la possibilità di spaziare su numerosi percorsi didattici volti a far assumere consapevolezza del valore dell'acqua come bene naturale nonché all'introduzione di numerosi concetti scientifici.

A questo proposito nel 2012 da Brezonik e Arnold [4] è stato posto all'attenzione della comunità scientifica lo svilupparsi in 50 anni della branca denominata “chimica dell'acqua” (*Water Chemistry*). La chimica dell'acqua

è «la scienza focalizzata a capire i processi che influenzano la composizione delle acque naturali e della loro sostenibilità per gli usi umani».[4] Brezonik e Arnold ne sottolineano il carattere interdisciplinare, infatti essa ha avuto origine come sotto-area di specializzazione di varie discipline ma attualmente si tengono corsi universitari negli U.S.A. o in Europa (essi citano la Scandinavia) sulla chimica dell’acqua. A livello di didattica universitaria, questi autori evidenziano la difficoltà a reperire libri di testo dedicati alla chimica dell’acqua, dovendosi rivolgere invece a testi con altre finalità tematiche ma che affrontino aspetti inerenti la chimica dell’acqua (ad esempio testi di chimica fisica, di geochimica, di scienze ambientali), con il risultato che spesso il docente predispone sunti scritti da fornire allo studente.

Rivolgendo lo sguardo alla scuola possiamo dire che c’è un problema analogo di dispersione e di “eccesso di interdisciplinarietà” nell’affrontare il tema dell’acqua. Le difficoltà non sono tanto quelle di reperire un libro di testo (il più delle volte poco utile se il percorso proposto agli studenti è di tipo operativo-investigativo), quanto quelle di organizzare una partenza delle attività efficace sul piano emotivo e concettuale e focalizzarlo su un arrivo. In particolare questa comunicazione propone un’attività iniziale sperimentata nella scuola secondaria di 1° grado.

### Percorsi didattici sul tema “Acqua”

In Tabella 1 sono riportati i risultati di una ricerca *online* con parole-chiave in lingua italiana sul tema dell’acqua e la scuola. Questi risultati mettono chiaramente in luce quanto diffusamente sia trattato questo tema ad ogni livello.

**Tabella 1.** Risultati della ricerca *online* tramite il motore di ricerca [www.google.it](http://www.google.it) effettuata in Agosto 2013. Si riportano le parole-chiave immesse e il numero dei documenti *online* trovati.

Parole - chiave	Numero di risultati
didattica acqua	3610000
materiale didattico acqua	445000
acqua percorso didattico	1050000
percorsi didattici sull'acqua	141000
acqua attività scuola	8400000
acqua attività scuola infanzia	2070000
acqua attività scuola primaria	867000
acqua attività scuola secondaria	2220000
acqua attività scuola secondaria primo grado	1020000
acqua attività scuola secondaria secondo grado	1810000

Se volgiamo lo sguardo agli U.S.A., anche in questo caso possiamo notare che il tema acqua entra a far parte ampiamente della didattica a ogni livello, basti considerare che sia nel 2008 [9], in occasione delle celebrazioni per il Giorno della Terra, che nel 2011 [10], in occasione dell’Anno della Chimica, il *Journal of Chemical Education* ha pubblicato un riepilogo bibliografico dei propri articoli sul tema dell’acqua.

Se gli insegnanti scelgono così ampiamente di far studiare l’acqua ai propri allievi non possiamo che percorrere i possibili motivi didattici:

1. È un tema che offre spunti interdisciplinari, sia in ambito scientifico che socio-economico.

2. Sono molte le esperienze operative che con l’acqua permettono di sviluppare concetti scientifici.

3. E’ un liquido facilmente reperibile a basso costo in “varie forme” (potabile, inquinata, demineralizzata, salata, dolce,...).

4. E’ un liquido di uso quotidiano e quindi studiarne proprietà, trasformazioni, cicli collega lo studio delle scienze alla realtà effettivamente vissuta dagli studenti.

5. Studiando l’acqua è possibile avvicinare gli studenti alle problematiche ambientali, di per sé complesse, perché determinate da numerose variabili (antropiche, biologiche, chimiche, geologiche, economiche) spesso cooperanti.

6. Non si può escludere la scuola dell’infanzia in cui l’acqua offre importanti spunti per lo stimolo della sensorialità e dell’osservazione.

7. Dall’acqua si può arrivare agevolmente ad affrontare problematiche connesse all’igiene e al benessere della persona.

È evidente che quando un insegnante affronta questo tema deve operare delle scelte e indirizzare il percorso su uno dei possibili binari che il tema acqua offre. Secondo la mia esperienza ciò che però rende un percorso sull’acqua coinvolgente agli occhi di uno studente è sia la metodologia applicata (meglio se operativa e non espositiva) sia la prima attività proposta alla classe. Nella prossima sezione viene illustrata l’attività iniziale presentata a un gruppo di studenti della classe 1<sup>a</sup> della scuola secondaria di 1° grado.

### **La proposta didattica per l’attività iniziale e l’esperienza diretta dell’insegnante**

Qualche anno fa ho gestito un corso opzionale di laboratorio scientifico per il quale il gruppo disciplinare scelse l’acqua come tema iniziale. Essendo per me nuovo il lavoro in quella scuola cercai il confronto con i colleghi ed alcuni mi indicarono di iniziare dalla lettura della “Carta europea della

acqua”<sup>1</sup>. Questa proposta mi lasciava perplessa soprattutto perché immaginavo deluse le aspettative del gruppo di alunni che, avendo scelto un corso opzionale di laboratorio scientifico, iniziavano il loro percorso leggendo un documento formale.

Il problema del coinvolgimento emotivo nelle attività didattiche è assolutamente fondamentale per rendere le attività stesse efficaci al fine di sviluppare il pensiero [11] ed è per questo che ritengo l’inizio di un percorso didattico la fase più critica, talvolta determinante ai fini del successo del percorso stesso e se ben progettata/sperimentata slancio per un arricchirsi continuo di esperienze operative e per un *feed-back* alunni/insegnante.

Una volta scartata la lettura di un documento formale come la “Carta europea dell’acqua” mi sono indirizzata verso attività pratiche che, per quanto riportato in altre esperienze scolastiche, [3] risultavano più coinvolgenti. Nel progettare l’esperienza iniziale sono stati determinanti anche i seguenti due fattori:

1. La disponibilità di attrezzature, materiali e spazi adeguati.
2. A quale nodo concettuale ancorare la prima esperienza.

Il primo fattore è condizionante a livello organizzativo e in genere, per conoscenza delle strutture in dotazione a molte scuole secondarie di 1° grado, tendo a privilegiare esperienze che possano essere condotte con strumenti e materiali sia del laboratorio scientifico ma, se questo non è possibile, anche con materiali e attrezzature di facile reperibilità, affinché l’esperienza sia riproducibile in sedi e contesti diversi.

Il secondo fattore ha una valenza più invasiva in termini di “salto concettuale” da stimolare negli alunni. Come ricordato nella parte introduttiva, il tema dell’acqua è fortemente caratterizzato dall’interdisciplinarietà, di conseguenza ho scelto un’esperienza che, tra i vari processi mentali e operativi, potesse stimolare la formazione di un concetto interarticolante [12] le varie discipline. Il cosiddetto nucleo fondante della Chimica “natura e struttura della materia” [13] ha proprio questa caratteristica: pur essendo proprio della Chimica le altre discipline non possono che riferirsi ad esso qualora studino un corpo materiale.

In altri termini, era prevedibile che un percorso sull’acqua, in base alle esigenze di conoscenza e di informazione degli studenti, avrebbe seguito strade non predeterminate, ritenevo quindi importante iniziare da un’attività che avesse un carattere formativo-concettuale piuttosto che informativo. Inoltre, ho preferito sciogliere presto il nodo della complessità insita nel termine “acqua” ed è stato così naturale pensare a stimolare l’attenzione de-

---

1. La carta europea dell’acqua fu approvata nel 1968 dal Consiglio d’Europa; il testo è facilmente reperibile *online* ad esempio su [http://www.comportamentoconsapevole.it/htm/txt\\_A15.htm](http://www.comportamentoconsapevole.it/htm/txt_A15.htm).

gli studenti su una domanda (in realtà mai esplicitata agli alunni): «Che cos'è l'acqua?».

### ***Attività iniziale del percorso di laboratorio sull'acqua.***

#### Condividere il problema: acqua o acque?

Disporre su un tavolo ben visibile agli studenti tre bottiglie con l'etichetta parlante oscurata (denominarle semplicemente A, B, C) e contenenti acqua di rubinetto, acqua demineralizzata, acqua piovana<sup>2</sup>. Chiedere: cosa contengono le tre bottiglie? E' possibile stabilire la provenienza? Successivamente svelare che una bottiglia contiene acqua di rubinetto, una acqua piovana e una acqua demineralizzata (ad uso casalingo) ma non scoprire le etichette parlanti.

#### Fase progettuale: le tre acque sono tutte uguali?

Far proporre ai ragazzi (meglio se individualmente e per scritto) una procedura o una tecnica per poter analizzare il contenuto delle bottiglie, trovarne le differenze o le uguaglianze. Confrontare collettivamente le proposte ed eventualmente guidarle verso una procedura condivisa. Chiedere di fare previsioni scritte sui possibili risultati.

#### Fase operativa

Versare un po' di acqua di ciascuna bottiglia in un contenitore adatto al riscaldamento meglio se smaltato di bianco, (l'ideale è una capsula di porcellana). L'insegnante fa riscaldare i contenitori su un fornello elettrico fino a far evaporare tutta l'acqua.<sup>3</sup> Far annotare le osservazioni prima, durante, dopo il riscaldamento (usando anche il disegno). Scoprire le etichette parlanti e confrontare i risultati sperimentali con le aspettative degli alunni.

### **Riflessioni sui risultati e il metodo. Conclusioni.**

Nel mettere in pratica l'esperienza proposta ho scelto di articolarla in tre fasi:

1. Fase di condivisione del problema
2. Fase di progettazione dell'attività pratica
3. Fase operativa: realizzazione dell'esperimento; osservazione e interpretazione dei risultati.

2. Per la raccolta dell'acqua piovana è opportuno porre un recipiente pulito in una zona lontana da piante, coperture o grondaie, ad esempio attraverso una bottiglia con imbuto ben fissata in mezzo a un prato o un ampio terrazzo.

3. L'uso di fornelli in ambienti scolastici richiede molta attenzione, specialmente nella scuola secondaria di 1° grado spesso priva di laboratori attrezzati. È generalmente opportuno che venga eseguita un'esperienza collettiva sotto la stretta vigilanza dell'insegnante e seguendo precise norme di comportamento, come osservazione a distanza opportuna, a turno e con occhiali.

Cercare la condivisione del problema con un gruppo di lavoro, specialmente se costituito da adolescenti, è necessario altrimenti anche la migliore esperienza didattica rischia di risultare "al cuore e alla mente" dello studente un noioso esercizio e non produrrà alcun salto concettuale nella maggior parte di essi. La condivisione del problema si innesca in genere inducendo il dubbio (o conflitto cognitivo) nello studente e si rafforza nella seconda fase facendo progettare ai ragazzi l'esperimento. In occasione della discussione collettiva, l'insegnante guiderà la scelta verso una procedura opportuna ma non dimenticherà di prendere in seria considerazione le proposte degli studenti se sono una valida alternativa all'esperienza programmata (ad esempio usando utensili di uso comune se da loro scelti al posto della vetreria da laboratorio).

Una volta eseguito l'esperimento, il confronto tra risultati e aspettative (risoluzione del conflitto cognitivo) è utile poiché stimola la consapevolezza di aver appreso qualcosa di nuovo, infatti nella maggior parte dei casi non era stato previsto che l'acqua piovana non avesse praticamente residuo, mentre l'acqua di rubinetto usata aveva un residuo molto evidente.

Le riflessioni fatte in questa comunicazione dimostrano quanto sia importante avviare un percorso con un'attività progettata secondo criteri che danno valore all'esperienza stessa e che evitano la dispersione dello sviluppo dei concetti, specialmente se il tema del percorso è denso di sfaccettature come quello dell'acqua. In particolare, per l'attività iniziale sull'acqua qui proposta possiamo riassumere che essa:

1. si basa su un concetto interarticolante (natura della materia);
2. avvicina lo studente al concetto di acqua come sostanza;
3. avvia la distinzione tra il significato chimico e quello comune del termine "acqua";
4. si esegue con una procedura chimica analitica qualitativa.

Infine, secondo l'esperienza riscontrata con questo gruppo di alunni, l'attività iniziale di analisi qualitativa del residuo fisso delle acque piovana, demineralizzata e di rubinetto ha mostrato che gli alunni condividono più facilmente lo studio successivo dell'acqua come sostanza (proprietà, stati fisici) ma anche come materiale naturale (ciclo dell'acqua; uso antropico delle acque) e persino un discorso sul "bene acqua" anche attraverso letture formali.

**Bibliografia**

1. F. Momicchioli, P. Mirone. *L'acqua proprietà e struttura*. *CnS*, 2005, **3**, 49-60.
2. A. Turchi; F. Turco in *Aqua docet: tre percorsi didattici sull'acqua*.  
[http://www.treccani.it/scuola/lezioni/in\\_aula/fisica/acqua/mainArea.html](http://www.treccani.it/scuola/lezioni/in_aula/fisica/acqua/mainArea.html)
3. E. Corradi, R. Zanolì, *CnS*, 2007, **2**, 59-69.
4. H. Curtis, N. Sue Barnes, A. Schnek, G. Flores *Biologia*, Zanichelli, Bologna 2003, cap. 2 e cap. 6.
5. P. L. Brezonik, W. A. Arnold, *Environ. Sci. Technol.*, 2012, **46**, 5650-5657.
6. G. P. Parodi in ref. 2.
7. V. Maurino, M. Minella *L'alambicco*, **4**, 2011.  
(<http://www.alambicco.unito.it/index.html>)
8. L. Cerruti, *L'alambicco*, **3**, 2011.  
(<http://www.alambicco.unito.it/index.html>).
9. E. K. Jacobsen, *J. Chem. Educ.*, 2008, **85**, 188-190.
10. E. K. Jacobsen, *J. Chem. Educ.*, 2011, **88**, 530-531.  
La carta europea dell'acqua fu approvata nel 1968 dal Consiglio d'Europa; il testo è facilmente reperibile online ad esempio su:  
[http://www.comportamentoconsapevole.it/htm/txt\\_A15.htm](http://www.comportamentoconsapevole.it/htm/txt_A15.htm).
11. R. Zanolì, *CnS*, 2005, **3**, 73-74.
12. S. Ripoli, *CnS*, 2010, **4**, 98-107.
13. T. Pera, F. Olmi, S. Ripoli, E. Aquilini, Indicazioni per il curriculum verticale di chimica - Scuola secondaria di 1° grado, DD-SCI.  
[http://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/indicazioni\\_curricolo\\_verticale\\_chimica](http://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/indicazioni_curricolo_verticale_chimica).



**PROGETTO DIDATTICO - EDUCATIVO**  
**A chi la diamo a bere ?**  
**L'acqua fra la chimica e i bisogni indotti**

**Enrico Mansueti**

IIS "A. Righi" - Cassino (Dirigente Prof.ssa Ina Guarrera)

Anno scolastico: 2012/13

Nella strutturazione di questo progetto, il docente di chimica, si è posto come obiettivo formativo generale quanto espresso a livello normativo dal D.L. 17/10/2005 n. 226 (PECUP), e come il Profilo Educativo, Culturale e Professionale prevede si sono utilizzate le conoscenze disciplinari e i modelli delle scienze sperimentali per investigare un fenomeno sociale, l'acqua bene comune, come condizione per maturare competenze che rendano gli alunni cittadini responsabili di autonome scelte. Il lavoro è stato svolto (parallelamente) nelle classi: seconda di un istituto professionale a indirizzo manutenzione e assistenza tecnica, e terza di un liceo artistico indirizzo figurativo. La finalità del progetto didattico è stata quella di portare gli alunni, attraverso lo studio della chimica, ad una conoscenza critica delle implicazioni tecniche, commerciali e sociali legate alla scelta tra acqua in bottiglia e acqua di rubinetto. Per sensibilizzarli verso un uso consapevole nei consumi quotidiani, e farne cittadini attivi ad assumere responsabili scelte. Gli aspetti più significativi emersi nel corso delle attività sono stati proposti nelle classi affini. Con il lavoro svolto si spera di aver sensibilizzato (per via indiretta) anche le famiglie in particolare sulle tematiche legate alla produzione e allo smaltimento dei rifiuti. Il progetto nella sua doppia valenza didattica e sociale ha preso l'avvio dal chimismo dell'acqua, fornendo dei prerequisiti necessari all'indagine sperimentale (Unità di misura, grandezze fondamentali), per poi analizzare i processi e le normative legislative sulla produzione delle acque commerciali e di rete pubblica.

**Gli obiettivi specifici previsti e realizzati**

- Conoscere e identificare i processi di separazione dell'acqua dai suoi sali.
- Conoscere la normativa sulle acque in bottiglia e i trattamenti cui sono sottoposte (in particolare il D.Lgs. n. 105/1992 e D.Lgs. n. 31/2001)
- Conoscere le sorgenti, le caratteristiche e i punti di prelievo per l'acqua che arriva nelle abitazioni della provincia di Frosinone.

- Riconoscere la salinità di un'acqua dal sapore.
- Saper leggere le etichette delle acque minerali in bottiglia.
- Promuovere l'utilizzo dell'acqua di rete attraverso la conoscenza delle problematiche ambientali relativi ai consumi di materie plastiche per imballaggio.
- Fornire riflessioni critiche sui comportamenti errati come condizione per maturare ipotesi e proposte su abitudini sostenibili.
- Indicare gli usi e le applicazioni di specifici tipi di acqua per particolari casi (patologie renali, ipertensione, età avanzata, sport, sviluppo e crescita).
- Acquisire una corretta terminologia tecnico-scientifica e correggere delle misconcezioni di uso quotidiano

### **Le metodologie utilizzate**

- Lezione frontale
- Peer education (liceo artistico)
- Apprendimento cooperativo
- Studio autonomo (prevalentemente nel liceo artistico, con ricerca di fonti documentali alternative)

### **La valutazione si è basata su**

- Relazione sul lavoro svolto
- Preparazione di un poster divulgativo
- Stesura di un articolo per il giornalino scolastico
- Verifiche orali e scritte
- Prova sperimentale di riconoscimento
- Preparazione di un progetto di “Scuola a casa”

### **Le risorse**

Laboratorio di Chimica, aule scolastiche, pagine web, testi scolastici, articoli, dispense fornite dal docente.

### **Riflessione sulle attività proposte: punti di forza e limiti**

Gli studenti della classe terza del liceo artistico (indirizzo figurativo) hanno elaborato un poster da utilizzare nell'attività di Peer education denominata “Didattica a casa”. Su proposta di una collega, docente di sostegno, di un alunno con disabilità grave (non frequentante), si è deciso di

svolgere degli incontri periodici a casa dell'alunno disabile per ripetere argomenti svolti a scuola. Trovando adeguato interesse all'interno della classe si è pensato di coinvolgere i ragazzi al progetto descritto (ancora di più quando sono emersi in alcuni studenti timori per la parte "a domicilio", probabilmente dettati dalla difficoltà di relazionarsi con la tematica dell'handicap), che ci ha poi impegnato in ricerche, discussioni ed elaborazione finale. Ogni alunno con entusiasmo si è fatto carico della stesura del materiale di competenza, così come della preparazione della propria parte di lezione da illustrare al resto della classe. L'avanzamento dei lavori, da me coordinati, ha avuto significativi momenti di discussione e rielaborazione, in puro stile cooperativo. Rimane agli atti della scuola il materiale prodotto, con la speranza di un futuro impiego, ma restano soprattutto maturate sensibilità e nuove consapevolezza in sette giovani studenti verso il tema delle risorse idriche e verso l'handicap. Si è scelto di limitare l'aiuto da parte del docente sulla sezione di lavoro individuale, per poter valutare correttamente gli esiti delle attività. Prove di ciò sono riscontrabili nei lievi (ma indicativi) errori: nel materiale per il poster sono evidenziabili errori ortografici e/o sintattici, e da un'analisi più approfondita si possono intuire gli errori commessi (anche dal docente): il programma prevedeva di iniziare con i concetti basilari della disciplina, con particolare focus sull'indagine sperimentale e sulla terminologia scientifica (Sistema Internazionale, unità di misura e grandezze fondamentali), trattandosi per la classe di un primo approccio; per tale motivo, seppur dal docente previsti e introdotti, i prerequisiti si sono rivelati deboli (soprattutto per la sezione dei composti chimici).

I veri punti di forza si sono evidenziati nella partecipazione fattiva e a tratti colorata da venature di entusiasmo, soprattutto quando i ragazzi si sono resi conto delle misconcezioni sottese all'uso di espressioni ormai comuni quali la domanda (al bar, al ristorante ma anche a casa): Acqua minerale o naturale? Si è discusso sul fatto che nella sostanza, tutti i tipi di acqua potabile sono da considerarsi naturali (non a Dubai, dove sono in azione potenti dissalatori), e quindi anche le minerali (non a caso gli articoli di legge si esprimono in merito ad acque minerali naturali, abbinando gli aggettivi). Le acque utilizzate per l'alimentazione umana contengono però anche sali minerali (non è qui considerata l'acqua distillata, ovviamente), ma anche qualora fossero sorgive (quindi da falda profonda, e magari proprio da sorgente naturale non perforata), secondo la normativa non possono considerarsi minerali naturali (occorrerebbe il riconoscimento ministeriale).

E' emerso dalle riflessioni un altro apparente sofismo: se l'acqua di rubinetto è trattata dall'azienda distributrice con cloro (per fortuna, secondo

alcuni, preoccupati delle caratteristiche microbiologiche; meno contento è chi la trova sgradevole proprio per questo motivo, ma nel materiale elaborato si suggerisce un semplicissimo rimedio), essa perde in effetti i caratteri di “naturalità”, e allora a questo punto la vera acqua naturale diventerebbe quella del supermercato. Gli alunni sono giunti quindi a riflettere che ha senso logico solo la distinzione tra acqua liscia e gassata o, al limite, tra acqua minerale naturale e acqua potabile (o di rubinetto). A livello normativo un’acqua minerale naturale e una generica acqua potabile hanno la stessa origine (sono caratterialmente pure in quanto entrambi *sotterranee, prelevate da sorgente naturale o perforata, e quindi sorgive*); le differenziano le *caratteristiche igieniche particolari* (motivo per cui sulle imbottigliate sono vietati trattamenti battericidi e batteriostatici) e *le proprietà salutari* (attribuite alle acque minerali dopo analisi e autorizzazione del ministro della sanità). Analizzando i dati sui consumi, sul trasporto e smaltimento dell’acqua in bottiglia, si sono poste discussioni e ragionamenti sulle conseguenze ambientali ed economiche. In Italia si contano più di cinquecento etichette, ma non è la varietà nella scelta che giustifica il terzo posto occupato nella speciale classifica dei consumatori mondiali (quasi duecento litri procapite, dietro solo a Emirati Arabi e Messico, caratterizzati rispettivamente per la scarsità di risorse idriche e per la pessima qualità della rete di distribuzione), e neanche la comodità di poter disporre di bottigliette ovunque. Probabilmente i consumatori pensano che le acque in bottiglia vengano controllate giornalmente (e invece è vero il contrario, quattro volte all’anno, una per stagione, contro la quotidianità dell’acquedotto) e che debbano soddisfare parametri più restrittivi (addirittura invece per esse sono previsti controlli alla sorgente e in sede di imbottigliamento, ma non all’uscita dalla bottiglia).

Certamente alcune perplessità possono apparire giustificate, come quelle legate ai recenti casi di Arsenico che hanno spaventato la popolazione; in effetti la normativa prevede un limite per questo elemento di 10 microgrammi per litro, sfiorato in 128 comuni (il relativo provvedimento sanzionatorio della Commissione europea riguarda 91 Comuni del Lazio tra le province di Roma, Viterbo e Latina, 8 Comuni in Lombardia, 10 in Trentino-Alto Adige e 19 in Toscana), con valori arrivati anche a 50 microgrammi. Ben altra questione (evidenziata in un contributo) è quella della mancanza di dati sicuri sulla salute in merito ai prodotti clorurati di trasformazione che possono derivare dai trattamenti di disinfezione. In classe abbiamo studiato etichette di acque ivi definite *mediominerali*, quando invece la normativa italiana presenta un “buco”: non sono classificate infatti le acque con residuo fisso tra 500 e 1500 mg/L (sebbene si trovino in qualche testo anche riferi-

menti ad acque *mineralizzate*). Con residuo sotto i 50 mg/L, la normativa prevede la denominazione *minimamente mineralizzate*; tra i 50 e 500 mg/L, le acque sono classificate come *oligominerali*; sopra i 1500 mg/L, la denominazione corretta è *ricca di sali minerali*. Troppo spesso testi e articoli (in rari casi anche le etichette) fanno riferimento a valori errati, che non rispettano la denominazione delle acque (in relazione ai microgrammi) data dalla normativa; nei testi, articoli, pagine web sono evidenti gli errori, prova della quantità di materiale non revisionato presente sulla rete (soprattutto) e quindi non attendibile per la costruzione della conoscenza. Si è colta l'occasione per far maturare negli studenti l'importanza di affinare tra le proprie competenze la più importante, ovvero lo spirito critico verso quello che si legge, evidenziando l'importanza di una ricerca documentale indirizzata sempre alle fonti primarie. Anche altre inesattezze (programmate però) sono state utili, come nella prova di assaggio e riconoscimento: è stato opportuno riferirsi al termine *mediominerale*, in quanto occorreva distinguere un campione intermedio).

Curiosità ha destato nei ragazzi la scoperta di alcuni prodotti naturalmente effervescenti, come una nota acqua frizzante proveniente da Riardo in provincia di Caserta (i ragazzi si sono chiesti se sia corretto allora definire minerale naturale un prodotto trattato con CO<sub>2</sub> dopo il prelievo, come spesso avviene, ma la legge consente questa e altre operazioni con l'Anidride carbonica); per un approfondimento disciplinare si è introdotto il concetto di roccia calcarea, legandolo al gas che si sviluppa. Viva indignazione c'è stata nella constatazione di veri e propri trabocchetti pubblicitari: abbiamo scoperto acque oligominerali che proponendo in etichetta foto di neonati invitano astutamente ad un uso dedicato; in effetti l'acqua oligominerale è indicata per la ricostituzione del latte in polvere, perché non ne altera il contenuto salino, ma proporla in quel modo sicuramente induce molte mamme a darla anche da bere. Pochi sono i prodotti con specifica *indicata per la preparazione di alimenti per il neonato*, ma ancor meno quelli con *indicata per l'alimentazione del neonato*. Molte bottiglie presentano diciture quali *può avere effetti...* oppure *può essere indicata per ...* giocando tra le aspettative del consumatore e i pertugi che la normativa lascia socchiusi. Si chiamano *qualità salienti*, oppure *proprietà terapeutiche* o *favorenti la salute*, e vengono concesse dal ministero della salute nel decreto di riconoscimento del prodotto sulla base di sperimentazioni biologiche e cliniche.

Sarebbe opportuno riportare anche altre menzioni concernenti le proprietà favorevoli alla salute (è vietato comunque riferirsi a prevenzione, cura e guarigione da malattie), ovvero le indicazioni, unitamente alle eventuali con-

troindicazioni, ma poche marche lo fanno (Regilla e termali di Montecatini e Chianciano), e limitatamente al solo primo aspetto. La cosa è particolarmente curiosa, e origina perplessità che partono dai fondamenti della medicina e della farmacologia: il termine greco "pharmakon" (φάρμακον) ha un duplice significato: medicamento e veleno; questo sta ad indicare che solo un corretto dosaggio ci permette di trarre beneficio da un farmaco o da una droga e determinarne il suo aspetto salutare. Un alunno di prima ha riferito la sua esperienza di malato renale, e dalla discussione si è autonomamente edotto sulle indicazioni ricevute in merito dal suo medico. I ragazzi hanno capito l'importanza di un'adeguata idratazione soprattutto in merito alla pratica sportiva, scoprendo come la pubblicità gli induca i bisogni, e cioè che spesso i prodotti commerciali suggeriti non sono altro che acque molto ricche di sali minerali, addizionate di coloranti ed edulcoranti.

Un alunno disabile (con PEI differenziato), consumatore assiduo di "integratori" e nell'istituto noto per i frequenti approvvigionamenti al bar interno, ha contribuito a questa parte del progetto occupandosi della lettura e studio delle etichette di noti prodotti, presentando poi le conclusioni alla classe. Si spera che questo, insieme alla scoperta della composizione e degli effetti delle bevande gassate, ne limiti in futuro le uscite dall'aula (vero problema quest'anno. Dall'analisi dei dati dei costi di produzione, gli alunni hanno conosciuto quanto bassi siano i costi per le aziende imbottigliatrici, in rapporto al prezzo finale (e quanto costi in più rispetto all'acqua di rubinetto: calcolando prezzi in bolletta in Italia che oscillano tra 0,8 e 1 Euro/m<sup>3</sup>, con punte al ribasso per zone come la provincia di Frosinone (residenza degli alunni), il prodotto in bottiglia arriva a costare 1000 volte di più).

Viva e vibrante curiosità ha destato in diversi casi la scoperta dei motivi alla base della data di scadenza sulle bottiglie; gli studenti hanno riflettuto sul fatto che l'acqua in bottiglia ha un tempo entro cui mantiene le caratteristiche originarie (in corrette condizioni di conservazione) e si chiama *Tempo minimo di consumo*, ma quanto vale realmente se le bottiglie vengono tenute al sole nel piazzale del supermercato? Quasi nessuno era a conoscenza che le materie plastiche derivano dal petrolio (sono stati fatti collegamenti con l'unità didattica dei prodotti petroliferi, e sono ipotizzabili in futuro sviluppi e connessioni con elementi di chimica organica).

Apparentemente poco significativa è stata l'attività dedicata alla produzione e allo smaltimento di rifiuti delle bottiglie di plastica (11 kg/anno per famiglia), per la quale invece era pensabile un lavoro dedicato e basato sull'uso delle proporzioni matematiche (un tentativo appena abbozzato nelle classi prime ha rilevato lacune rilevanti). Non è stato possibile affrontare adeguati approfondimenti sugli oligoelementi caratterizzanti, in quanto la

debolezza dei prerequisiti necessari (composti chimici e legami) ne avrebbe pregiudicato l'esito, sebbene sia emersa lungo il progetto la nuova trappola commerciale delle acque iposodiche. E' pensabile per il futuro uno sviluppo dell'attività in tal senso. Uno spazio è stato dedicato anche alla conoscenza della provenienza geografica dell'acqua di rubinetto, ma c'è da rilevare una generale scarsa conoscenza della geografia locale, evidenziata nella parte dedicata ai quattro punti di approvvigionamento idrico per gli acquedotti della provincia (fa eccezione la località di Canneto, nota ai più come luogo di pellegrinaggio). Si spera che le attività didattiche proposte fungano anche da stimolo per la visita di luoghi come ad esempio le sorgenti di Capofiume e Trisulti, per i quali in futuro si potrebbe organizzare un viaggio d'istruzione. Maggiore valenza è stata data dal docente, nell'ambito di questo progetto, a far raggiungere agli alunni un senso di responsabilità sia individuale che collettivo verso la risorsa acqua come bene comune .

### **Bibliografia minima (e sopralluoghi)**

- Riferimenti normativi: D.Lgs. n. 105/1992 e D.Lgs. n. 31/2001
- Testi scientifici consultati: Cerruti L., *Casa dolce casa: l'acqua di valrubinetto* (L'alambicco, Università e Politecnico di Torino, marzo 2011)
- Articoli della stampa consultati: *La qualità della tua acqua*, Qui sette (21 Dicembre 2012, pag 32)
- Pagine web: [www.aceaato5.it](http://www.aceaato5.it) ; [www.larapedia.com/alimentazione](http://www.larapedia.com/alimentazione);
- Testi di didattica della chimica: Randazzo, F., Stroppa P.; *Chimica*, A. Mondadori Scuola.
- Crippa M.; Nepgen D., *Al centro della chimica*, Le Monnier Scuola
- Sorgente di Capofiume alta (a metà del percorso, con Lisa Pizzinga)
- Sorgente Madonna di Canneto e Lago di Posta Fibreno (con Giuseppina Simoni e Maria Simoni)



## **UNA RIFLESSIONE (CHIMICA) SULL'ACQUA**

### **Proposte per un curriculum verticale**

**Carlo Fiorentini<sup>a</sup>, Eleonora Aquilini<sup>b</sup>, Antonio Testoni<sup>c</sup>,  
Domenica Colombi<sup>d</sup>**

a CIDI di Firenze - cidifirenze@virgilio.it

b Liceo Artistico "F.Russoli" di Pisa e Cascina - ele.aquilini@tin.it

c ITI "Copernico-Carpeggiani" Ferrara – ajteston@tin.it

d ITI "Copernico-Carpeggiani" Ferrara – adele.colombi@alice.it

La storia dell'acqua che possiamo costruire a scuola dal primo ciclo al biennio della scuola secondaria di secondo grado è affascinante. L'acqua è la sostanza che tutti conoscono e di cui si crede di sapere tutto perché si sa la formula. In realtà, proprio perché è indispensabile e di uso comune poco si riflette sugli aspetti fenomenologici e poco è noto di come si è giunti alla comprensione della sua composizione e della sua reattività. Queste acquisizioni vengono fatte proprie dagli alunni, man mano che si concretizza nell'insegnamento il concetto di sostanza e quello ad esso correlato di reazione, che stanno alla base di tutta la chimica. Il concetto scientifico di sostanza è un concetto complesso, tutt'altro che intuitivo, come viene comunemente ritenuto. Sostanza è un termine utilizzato nella vita quotidiana come sinonimo di materia o di materiale. Mentre, dal punto di vista scientifico, sostanza è un termine che sta ad indicare una porzione di materia caratterizzata da specifiche proprietà macroscopiche ed operative. Questa definizione è tutt'altro che ovvia. Per i bambini, è in genere molto agevole riconoscere i materiali più comuni, ma è più difficile individuarne alcune loro proprietà caratterizzanti. Negli ultimi anni della scuola primaria sarà quindi necessario proporre alcune fenomenologie che, da una parte, abbiano significato di per sé, e dall'altra, permettano di individuare proprietà operative che permettono di distinguere alcuni materiali. In questo periodo della scuola primaria e nella scuola secondaria di primo grado si dovrebbero incontrare più esempi di sostanze, cioè di porzioni di materia caratterizzate da specifiche proprietà fisiche e chimiche. Due fenomenologie fondamentali che a nostro parere vanno affrontate già negli ultimi anni della scuola primaria sono le soluzioni acquose e l'ebollizione-evaporazione dell'acqua. Per concettualizzarle, seppur ad un primo livello, sono necessari molti mesi di attività perché ad esse sono connesse molte problematiche di cui va costruita la rete concettuale.

L'oggetto principale di queste attività è, appunto, l'acqua, che da sostanza del senso comune inizia a diventare sostanza nel significato scientifico. L'acqua della vita quotidiana appare come una sostanza, eventualmente con l'aggettivo pura, volendo così significare che è l'aggiunta di altre sostanze che la rende sgradevole. Le attività precedentemente indicate permettono di comprendere che l'acqua usuale non è una sostanza, ma una soluzione, e che la bontà dell'acqua dipende dalle sostanze in essa sciolte. L'acqua chimicamente pura la si può ottenere distillando l'acqua, togliendo, cioè, all'acqua le sostanze che naturalmente vi sono disciolte. Mentre l'acqua naturale è in generale una soluzione, l'acqua sostanza è un artefatto umano: *la purezza delle sostanze appartiene al regno umano non al regno naturale. L'uomo è il fattore di purificazione*<sup>1</sup>. È l'acqua distillata che va usata per preparare le soluzioni acquose, per non avere interferenze fra il soluto e le sostanze già disciolte nell'acqua. È di nuovo l'acqua distillata che bolle ad una ben determinata temperatura. Sono in particolare le proprietà fisiche, quali la temperatura di ebollizione, la temperatura di fusione, il peso specifico, la solubilità, quelle che permettono più facilmente di caratterizzare le sostanze<sup>2</sup>, così come, d'altra parte, sono le trasformazioni fisiche connesse (passaggi di stato e solubilizzazione) le fenomenologie di base su cui concentrare l'attività nella scuola primaria.

La distinzione fra sostanze semplici e sostanze composte è un ampliamento del concetto di sostanza che comporta un notevole salto di tipo epistemologico e nel livello di complessità psicologica. I concetti di sostanza semplice e composta non sono, infatti, concetti di tipo osservativo, ma essenzialmente teorico, la cui comprensione si ha né con esperimenti ingenui, né con definizioni. È necessario un lungo percorso nella scuola di base e nel biennio della scuola secondaria di secondo grado, con un'impostazione, prima, di tipo fenomenologico-operativo, e poi di carattere problematico e contestuale. Nella scuola del primo ciclo si può arrivare fino al concetto di sostanza, che va poi ulteriormente approfondito; la distinzione, invece, tra elemento e composto va costruita nel biennio della scuola secondaria di secondo grado. L'altro nodo concettuale strettamente connesso a quello precedente è quello di trasformazione, in particolare la distinzione tra le trasformazioni caratterizzate da conservazione e non conservazione

---

1. G. Bachelard, *Le matérialisme rationnel*, Presses Universitaires de France, Parigi, 1953, p. 73.

2. Non è possibile, comunque, ottenere una sostanza completamente priva di sostanze estranee (impurezze).

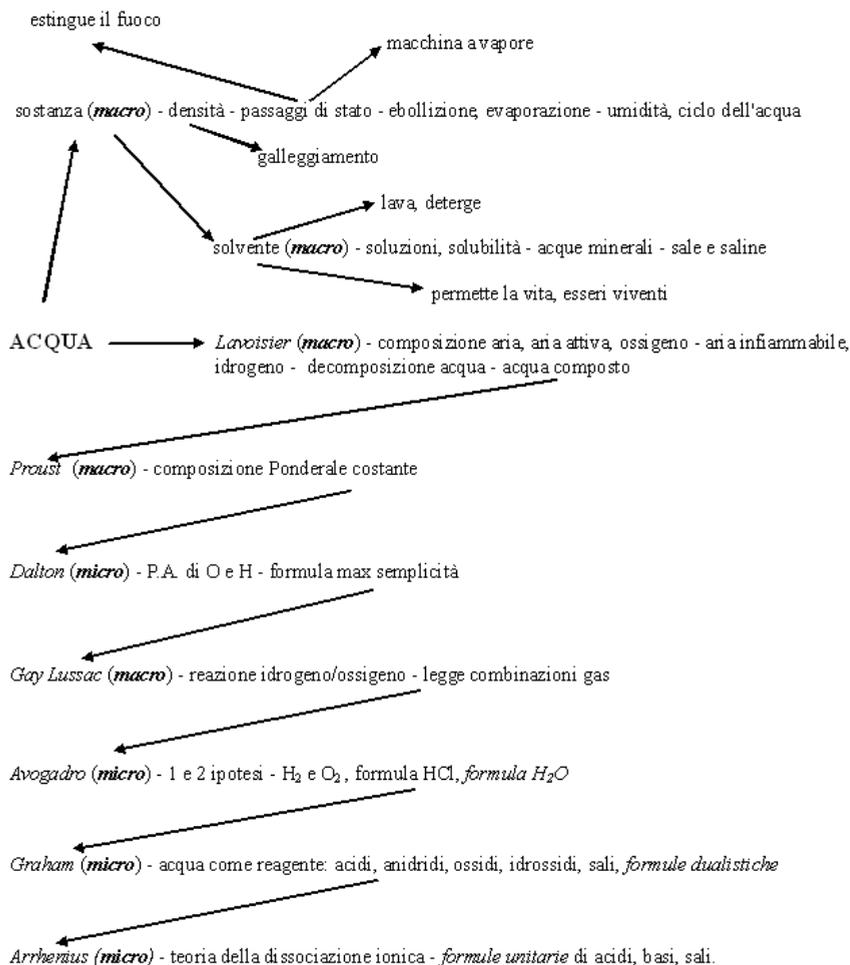
della sostanza (trasformazioni fisiche e trasformazioni chimiche). Sono proprio le trasformazioni chimiche che, a livello fenomenologico, permettono di caratterizzare e riconoscere gruppi di materiali o di sostanze che hanno proprietà comuni. Si possono così definire dei raggruppamenti di grande rilevanza, non solo dal punto di vista chimico, quali quello dei combustibili, dei metalli, degli acidi, delle sostanze basiche e dei sali. Nel biennio della scuola secondaria di secondo grado si passerà poi dall'approccio fenomenologico e qualitativo delle reazioni a quello teorico e quantitativo, focalizzando il lavoro sulle leggi classiche della chimica, che rappresentano la chiave di volta per introdurre il ragazzo al mondo degli atomi e delle molecole (Dalton, Avogadro...). La storia scientifica della composizione dell'acqua e della sua reattività dal punto di vista macroscopico e microscopico è emblematica di questo percorso.

È importante, in sede didattica, non sottovalutare la profonda *frattura epistemologica esistente fra il livello macroscopico, fenomenico e concreto, dove è possibile la pratica scientifica, e quello microscopico, astratto, puro oggetto di pensiero, sede delle teorie più significative della struttura disciplinare [...] C'è molta chimica prima della teoria atomica. Una chimica fenomenologica, ma, al tempo stesso, ricca di concetti e generalizzazioni. La capacità di dare spiegazioni dei fenomeni non è certo nata con le modellizzazioni microscopiche, anche se è indubbio che tali teorie hanno enormemente accresciuto il nostro potere conoscitivo. Il percorso tipico della chimica classica è forse il sostegno più convincente della validità di un progetto didattico che, partendo dal lavoro sperimentale, coerente e sistematico, valorizzi l'organizzazione delle conoscenze accumulate con l'osservazione e ricerche possibili generalizzazioni e spiegazioni*<sup>3</sup>.

Vogliamo qui focalizzare la nostra attenzione sui passaggi che hanno determinato la caratterizzazione dell'acqua dal punto di vista qualitativo e quantitativo, sia dal punto di vista macroscopico che microscopico. In Fig.1 riportiamo lo schema della nostra proposta di lavoro. In particolar modo, ci riferiamo a percorsi didattici rivolti al primo biennio della scuola secondaria di secondo grado. Percorsi pensati e strutturati facendo in modo che ciò che è apparentemente ovvio diventi un problema, creando, come dice Bruner, una rottura epistemologica in una dimensione, comunque, narrativa:

---

3. G. Bagni, *Insegnare*, 1999, 6, 42



**Figura 1**

“Non intendo sottovalutare l'importanza del pensiero logico-scientifico [...] Ma non è un mistero che a molti giovani che oggi frequentano la scuola la scienza appaia “disumana”, “fredda” e “noiosa”, malgrado gli eccezionali sforzi degli insegnanti di scienze e di matematica e delle loro associazioni. L'immagine della scienza come impresa umana e culturale migliorerebbe molto se la si concepisse anche come una storia degli esseri umani che superano le idee ricevute – Lavoisier che supera il dogma del flogisto, Darwin che rivoluziona il rispettabile creazionismo, o Freud che osa gettare

*uno sguardo al di sotto della superficie soddisfatta del nostro autocompiacimento. Può darsi che abbiamo sbagliato staccando la scienza dalla narrazione della cultura. Una sintesi è forse necessaria. Un sistema educativo deve aiutare chi cresce in una cultura a trovare un'identità al suo interno. Se quest'identità manca, l'individuo incespica nell'inseguimento di un significato. Solo la narrazione consente di costruirsi un'identità e di trovare un posto nella propria cultura. Le scuole devono coltivare la capacità narrativa, svilupparla, smettere di darla per scontata [... ] Per arrivare direttamente al dunque, la mia idea è che noi trasferiamo sempre i nostri tentativi di comprensione scientifica in forma narrativa, o, per così dire, di 'euristica narrativa'. Il 'noi' comprende sia gli scienziati sia gli allievi che occupano le aule nelle quali insegniamo. Trasporremo dunque in forma narrativa gli eventi che stiamo studiando, allo scopo di evidenziare meglio cosa c'è di canonico e di previsto nel nostro modo di considerarli, in modo da poter distinguere più facilmente che cosa è ambiguo e incoerente e quindi deve essere spiegato ... Proverò ora a esprimere queste stesse idee con un linguaggio in parte diverso. Il processo del fare scienza è narrativo. Consiste nel produrre ipotesi sulla natura, nel verificarle, correggerle e rimettere ordine nelle idee. Nel corso della produzione di ipotesi verificabili giochiamo con le idee, cerchiamo di creare anomalie, cerchiamo di trovare belle formulazioni da applicare alle contrarietà più intrattabili in modo da poterle trasformare in problemi solubili, inventiamo trucchi per aggirare le situazioni intricate. La storia della scienza, come Bryant Conant ha cercato di dimostrare, può essere raccontata in forma drammatica, come una serie di vicende quasi eroiche di soluzione di problemi. I suoi critici amavano sottolineare che le storie dei casi che lui e i suoi colleghi avevano preparato, pur essendo molto interessanti non erano però scienza, ma storia della scienza. Non sto proponendo di sostituire alla scienza la storia della scienza. Sostengo invece che la nostra istruzione scientifica dovrebbe tener conto in ogni sua parte dei processi vivi del fare scienza, e non limitarsi a essere un resoconto della 'scienza finita' quale viene presentata nel libro di testo, nel manuale e nel comune e spesso noioso 'esperimento di dimostrazione' ...”<sup>4</sup>*

---

4. J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Milano Feltrinelli, 1997, pagg. 53, 138, 140

## LAVOISIER: LA “SCOPERTA” DELL'OSSIGENO E DELL'IDROGENO

### 1. La scoperta dell'ossigeno la composizione dell'aria

Lavoisier, avendo immediatamente intuito che le sue ipotesi del 1772 sarebbero state in grado di rivoluzionare il pensiero chimico, si assegnò il compito (che indirizzò la sua ricerca per i venti anni successivi, fino alla sua morte) di confermarle adeguatamente e di enunciare i principi teorici, ad esse connessi, della nuova teoria chimica. Nell'arco dei 10/15 anni successivi, il grande chimico francese fu in grado di realizzare il suo progetto, *ponendo così le basi della scienza chimica*. A Lavoisier appartiene indubbiamente il merito fondamentale della rivoluzione operata nel pensiero chimico, in quanto solo lui fu in grado di prospettare un'interpretazione coerente ed unitaria di molteplici fenomeni chimici; ma indubbiamente *la sua opera non si realizzò nel vuoto*; in particolare le scoperte effettuate in quegli anni dai grandi chimici sperimentali Priestley, Scheele e Cavendish *gli fornirono una messe di fatti decisivi sia per la conferma delle sue ipotesi che per la realizzazione della nuova teoria chimica*.

Nel 1774 Priestley ricavò dal riscaldamento della calce rossa del mercurio un gas a cui attribuì il nome di “aria deflogisticata”, volendo con questa formulazione fornire la spiegazione del fatto che questa aria risultava chimicamente più attiva dell'aria atmosferica. Lavoisier sottopose questo gas a delle esperienze per determinarne la natura e constatò, con molta sorpresa, che il gas:

1. *non era solubile in acqua;*
2. *non precipitava l'acqua di calce;*
3. *non si combinava con gli alcali caustici;*
4. *poteva intrattenere la combustione, la calcinazione e la respirazione in modo più efficace dell'aria comune; il carbone bruciava con una luce simile a quella del fosforo ed i combustibili si consumavano con una rapidità maggiore dell'aria comune.*

Ma Lavoisier, pur avendo effettuato le stesse osservazioni di Priestley, arrivò nel corso dei due anni successivi a **conclusioni molto diverse**; non si limitò infatti ad affermare che il gas ricavato non fosse altro che aria atmosferica più efficace, ma *ipotizzò che si trattasse di un componente dell'aria atmosferica*, quello attivo chimicamente e responsabile della combustione e della calcinazione; nel 1779 egli attribuirà a questo gas il nome di **ossigeno**.

### 2. L'aria atmosferica è una miscela di gas e non un elemento

Lavoisier fu in grado di effettuare delle ipotesi rivoluzionarie sulla composizione dell'aria, non tanto perché si riferiva, rispetto ad alcuni chimici suoi contemporanei quali Priestley, ad esperimenti più significativi, ma perché fu in grado, utilizzando le ipotesi degli anni precedenti, di *fornire*

una spiegazione soddisfacente di questi esperimenti. Schematizziamo il modo di procedere di Lavoisier:

1. *l'ipotesi fondamentale* che sostiene tutto il ragionamento è quella del 1772: i metalli ed i combustibili si combinano durante la calcinazione e la combustione con l'aria;
2. Lavoisier aveva già ipotizzato, in relazione all'esperienza di combustione del fosforo, che l'aria non fosse una sostanza semplice (1/5 di aria veniva consumato);
3. alla fine del 1774, Lavoisier venne a conoscenza della scoperta, fatta da Priestley, di un'aria più attiva dell'aria atmosferica;
4. Lavoisier, non immediatamente, ma comunque entro il 1777, effettuò un altro esperimento di decisiva importanza: racchiuse, in un dispositivo adatto, 4 once di mercurio e 50 pollici di aria e riscaldò il tutto a fuoco moderato per 12 giorni. Terminato il riscaldamento osservò che l'aria era diminuita di circa 1/6 del suo volume iniziale e che si era formata una "considerevole" quantità di calce di mercurio. **L'aria residua risultava molto diversa dall'aria atmosferica** (spegneva le candele, faceva morire in poco tempo gli animali che vi venivano collocati ...), ma non era neppure aria fissa (non precipitava l'acqua di calce);
5. Lavoisier *formula l'ipotesi capace di spiegare e di collegare le osservazioni sperimentali* indicate nei punti 2, 3, 4: "l'aria atmosferica non è una sostanza semplice, un elemento, come credevano gli antichi e come si è supposto fino ai nostri giorni", ma una miscela di sostanze costituite essenzialmente da due gas, dei quali quello inattivo (mofeta) è presente in maggiori quantità:

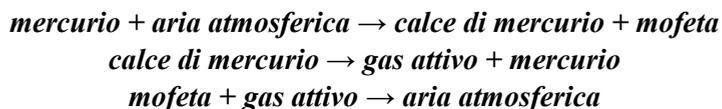
*"Ecco qua la specie di prova più completa a cui si può arrivare in chimica: la decomposizione<sup>5</sup> dell'aria e la sua ricomposizione e ne risulta evidentemente: 1) che i 5/6 dell'aria che respiriamo sono nello stato di mofeta, cioè incapaci di intrattenere la respirazione degli animali, l'infiammazione e la combustione delle sostanze; 2) che 1/5 solamente del volume dell'aria atmosferica è respirabile; 3) che, nella calcinazione del mercurio, questa sostanza metallica assorbe la parte salubre dell'aria, per non lasciare che la mofeta; 4) che miscelando queste due parti dell'aria così separate, la parte respirabile e la parte mefitica, si riottiene dell'aria simile a quella atmosferica."*<sup>6,7</sup>

5. Poiché l'aria è un miscuglio omogeneo di sostanze e non un composto, oggi si utilizza il termine separazione e non decomposizione; la parola decomposizione, oggi sta ad indicare quella trasformazione chimica che permette di ricavare i componenti di una sostanza composta.

6. Il ragionamento appare di una semplicità sconcertante, ma in realtà è stato necessario più di un anno a Lavoisier per formulare la nuova ipotesi, connettendo le due reazioni di calcinazione: quella della calce e quella del mercurio.

7. A. Lavoisier, *Expériences sur la respiration des animaux et sur les changements qui arrivent à l'air en passant par leur poumon*, in *Oeuvres de Lavoisier*, tome II, Paris, Imprimerie Imperiale, 1862, pp. 176-177.

In sintesi, il ragionamento di Lavoisier può essere così schematizzato:

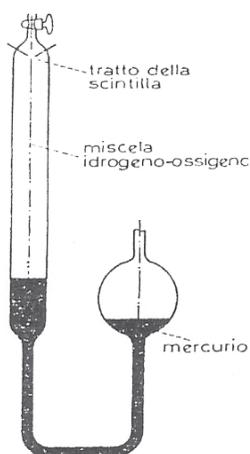


### 3. la scoperta dell'idrogeno e la decomposizione dell'acqua

Nel 1766 Cavendish, sulla base di esperimenti fra metalli e acidi comunicò di aver scoperto un **nuovo gas**, diverso dall'aria atmosferica e dall'aria fissa: fu in grado di constatare che il gas, che si ricavava dalle diverse esperienze era sempre lo stesso e lo chiamò aria infiammabile, perché una miscela di tale gas e di aria comune bruciava provocando un'esplosione. *Che cosa si ottiene dalla combustione dell'aria infiammabile?*

Cavendish bruciò una certa quantità di questo gas e studiò le conseguenze: scoprì che i vapori generati dalla combustione di questo gas in un sistema chiuso si condensavano formando un liquido che, dopo le opportune indagini, si rivelò essere nient'altro che acqua. Cavendish non fu tuttavia in grado di interpretare in modo corretto la scoperta effettuata.

Cavendish utilizzò il dispositivo di A. Volta, in seguito chiamato eudiometro, impiegando il mercurio al posto dell'acqua:



Nel giugno del 1783, Lavoisier, avendo ripetuto l'esperimento di Cavendish insieme a Laplace, si sentì, al contrario, in grado di formulare un'ipotesi rivoluzionaria sulla composizione dell'acqua e cioè che *l'acqua non era un elemento, ma un composto ricavato dalla combinazione di due gas*: era un altro grave colpo per la teoria dei quattro elementi.

Lavoisier chiamò “idrogeno” (“generatore di acqua”) il gas di Cavendish, e fece notare che l'idrogeno bruciava combinandosi con l'ossigeno, e che quindi l'acqua era composta di idrogeno e ossigeno.

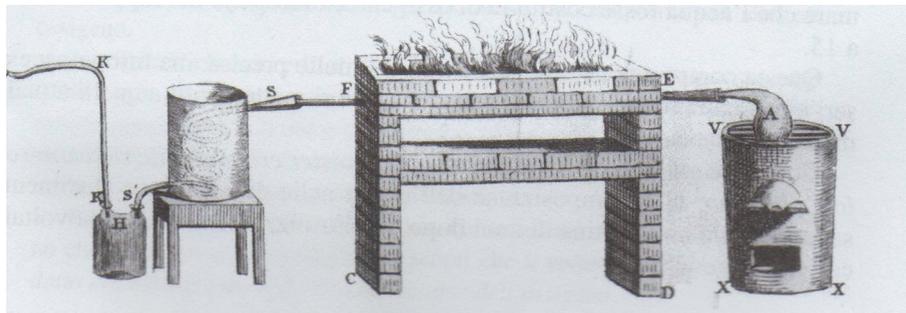
### ***idrogeno + ossigeno → acqua***

Lavoisier si convinse che *anche la sostanza dei generi alimentari e dei tessuti animali conteneva sia carbonio che idrogeno in combinazione*, cosicché, quando si respirava l'aria, l'ossigeno si consumava non soltanto perché formava anidride carbonica insieme al carbonio, ma anche perché, insieme all'idrogeno, generava acqua. Questa spiegazione svelava il destino di quella porzione di ossigeno che scompariva inspiegabilmente nei primi esperimenti sulla respirazione.

Le nuove teorie di Lavoisier implicavano una completa razionalizzazione della chimica. Venivano aboliti tutti i misteriosi “principi”; d'ora in avanti avrebbero avuto interesse per i chimici solo le sostanze in grado di essere pesate o altrimenti misurate.

## **5. La decomposizione dell'acqua**

La natura non elementare dell'acqua venne confermata da Lavoisier anche per *decomposizione*. Prendiamo in considerazione una delle esperienze che Lavoisier considerava più precise.



Apparato utilizzato da Lavoisier per decomporre l'acqua

*“Si prende un tubo di vetro EF da 0 a 12 linee di diametro, che si fa passare attraverso un forno, dandogli una leggera inclinazione da E ad F. All'estremità superiore E di questo tubo si adatta una storta di vetro A, che contiene una quantità di acqua ben conosciuta, e alla sua estremità inferiore F, un serpentino S che si adatta ad un flacone H con due tubi; infine ad uno dei due tubi del flacone si adatta un tubo di vetro ricurvo KK, destinato a condurre i fluidi aeriformi o gas in un apparecchio adatto a determinarne la*

*qualità e la quantità. E' necessario assicurarsi per il successo di questa esperienza che il tubo EF sia di vetro verde ben cotto e di difficile fusione... Si mette nel tubo EF, 274 grani di piccole lamine di ferro molto dolce avvolte in spirale: Si fa arrossire il tubo come nelle esperienze precedenti; si accende il fuoco sotto la storta A, e si mantiene l'acqua che essa contiene sempre bollente, fino a che essa sia completamente evaporata, che essa sia passata totalmente nel tubo EF, e che essa si sia condensata nel flacone H". "Il risultato di questa esperienza consiste in una vera ossidazione del ferro da parte dell'acqua, ossidazione completamente simile a quella che si opera nell'aria per mezzo del calore. Cento grani di acqua sono stati decomposti, 85 di ossigeno si sono uniti al ferro per trasformarlo nello stato di ossido nero, e si sono sviluppati 15 grani di un gas infiammabile particolare: dunque l'acqua è composta di ossigeno e di un gas infiammabile nelle proporzioni di 85 parti contro 15..."<sup>8</sup>*

E' bene sottolineare che con l'apparato sopra menzionato Lavoisier è in grado di misurare direttamente solo il volume dell'idrogeno, mentre il peso dell'ossigeno e dell'idrogeno sono calcolati sulla base del principio di conservazione della massa:

100 grani = *acqua consumata*;

85 grani = aumento in peso del ferro = ossigeno combinato col ferro = *ossigeno proveniente dall'acqua*;

100 grani (acqua) - 85 grani (ossigeno) = 15 grani di *idrogeno*

Dalla constatazione che un campione di acqua risulti composto di 85 grani di ossigeno e di 15 grani di idrogeno non sarebbe corretto generalizzare la composizione dell'acqua. Ma, evidentemente, Lavoisier, *arrivò a quella generalizzazione dopo aver effettuato più esperienze*; da esperienza ad esperienza, mentre le quantità di ossigeno ed idrogeno erano diverse, il loro rapporto risultava approssimativamente costante; poteva quindi affermare che l'acqua fosse costituita di ossigeno ed idrogeno nel rapporto di 85 a 15.

Questa composizione dell'acqua non era molto precisa, ma furono necessari circa quarant'anni prima di arrivare a valori molto simili a quelli attualmente accettati. Come si è già *detto con l'apparato di Lavoisier era possibile ricavare solo l'idrogeno*; la decomposizione dell'acqua nelle due sostanze costituenti sarà possibile una ventina di anni dopo con l'utilizzazione della pila voltaica.

---

8. A. Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie, tome premier*, Paris, 1789, pp. 88, 92.

## PROUST E IL PASSAGGIO DALL'ANALISI QUALITATIVA ALL'ANALISI QUANTITATIVA

### 1. Significato della composizione costante di una sostanza

*Che cosa intendeva Lavoisier quando affermava che una sostanza ha composizione costante?*

Lavoisier aveva determinato più volte, con procedimenti diversi, la composizione dell'anidride carbonica: le quantità di carbonio ( $C_1, C_2, C_3, \dots$ ) ed ossigeno ( $O_1, O_2, O_3, \dots$ ) determinate sperimentalmente, generalmente differivano; ciò che rimaneva **costante**, nelle diverse analisi, era **il rapporto in peso tra gli elementi**:  $C_1/O_1 = C_2/O_2 = C_3/O_3 = r$ .

L'asserzione "l'anidride carbonica ha composizione costante" è una **generalizzazione**; infatti, tale affermazione ha il seguente significato: *in qualsiasi campione di anidride carbonica, il rapporto in peso tra ossigeno e carbonio è costante*.

Quando si afferma che un determinato composto ha composizione costante si sta effettuando una generalizzazione: dalla constatazione della costanza della composizione in un certo numero di analisi, (quanto più grande è il numero di analisi, più affidabile è il passaggio successivo) si passa ad affermare che in un qualsiasi campione di sostanza, la composizione è costante. "L'anidride carbonica ha composizione costante" ha questo significato di generalizzazione; l'articolo determinativo davanti ad anidride carbonica designa *non un determinato campione* di sostanza, *ma un qualsiasi campione*, cioè l'anidride carbonica in generale, ossia la *specie chimica anidride carbonica*.

Quando un composto ha composizione costante, la sua composizione può essere ovviamente espressa in infiniti modi; la modalità più utilizzata è la **composizione percentuale**, quella che si riferisce, cioè, a 100 grammi di composto.

### 2. Tutte le sostanze hanno composizione costante?

Lavoisier, sulla base dei dati analitici allora disponibili, riteneva che molte sostanze avessero una composizione costante. Abbiamo già constatato che, per Lavoisier, l'acqua e l'acido carbonico (anidride carbonica) avevano una composizione costante, così pure valeva per gli acidi ed i sali. Al contrario, Lavoisier, pensava che gli ossidi metallici **non** avessero composizione costante:

“... la forza con la quale l'ossigeno si lega ad un metallo non è la stessa per tutti i gradi di calcinazione... La stessa cosa non avviene nelle combinazioni che hanno un grado di saturazione fissa, come i sali neutri ...<sup>9</sup>”.

Dopo Lavoisier, la determinazione della composizione quantitativa delle sostanze diventò, come lo stesso Lavoisier aveva previsto, uno dei *compiti più importanti della chimica*; in questo modo si realizzò la **matematizzazione della scienza chimica**: la grandezza da misurare era il peso e le operazioni matematiche impiegate non erano altro che somme, sottrazioni, moltiplicazioni e divisioni. Con la teoria chimica lavoisieriana, il peso delle sostanze, mentre in precedenza era stato considerato una variabile irrilevante nella comprensione dei fenomeni chimici, diventava la **grandezza fondamentale della chimica**.

*Anche per la chimica la fondazione scientifica si è realizzata con l'individuazione di concetti specifici di tipo quantitativo*

Tutto il materiale sperimentale sulla composizione dei composti raccolto verso la fine del '700 portava a due conclusioni in apparenza opposte, ma nessuna delle quali contraddiceva le concezioni teoriche di quel tempo (es.: legge di conservazione del peso/massa). Secondo la prima di esse, nella formazione dei composti chimici, viene rigorosamente osservata la costanza della loro composizione ponderale, indipendentemente dal modo in cui sono stati ottenuti. Secondo l'altra, gli elementi chimici possono, in condizioni diverse, dare composti di diversa composizione ponderale.

### **3. La legge delle proporzioni definite o legge di Proust**

Nell'arco di vent'anni, comunque, la comunità dei chimici si convinse, tranne qualche eccezione, che la maggioranza delle sostanze non elementari hanno composizione definita (costante). La prima enunciazione della legge delle proporzioni definite si trova in un articolo di Proust del 1799. Proust concentrò il suo lavoro sperimentale su quei composti che Lavoisier aveva considerato a composizione variabile, quali gli ossidi metallici, ed in particolare si dedicò allo studio degli ossidi del ferro.

Se il ferro fosse, come si pensava, capace di combinarsi con l'ossigeno in tutte le proporzioni tra 27% e 48%, che sembravano essere i due limiti estremi della sua combinazione con questo elemento, avrebbe dovuto dare con lo stesso acido (ad es. acido solforico) tante combinazioni diverse quanti ossidi differenti poteva produrre.

---

9. A. Lavoisier, *Mémoire sur l'affinité du principe oxygène avec les différentes substances auxquelles il est susceptible de s'unir*, in *Oeuvres de Lavoisier*, tome II, Paris, Imprimerie Imperiale, 1862, p. 549.

“ Un gran numero di fatti prova al contrario che malgrado i differenti gradi di ossigenazione, per i quali si crede che il ferro possa passare quando è esposto all'aria, non si conoscono che due solfati di questo metallo.... Tra questi due solfati non vi è nessun intermediario. Se dei solfati verdi, esposti al contatto dell'aria, prendono un colore che sembra non appartenere né all'una né all'altra delle specie già citate, ci si convincerà che essi non sono che una miscela dei due, separandoli con l'alcol”<sup>10</sup>.

Proust arrivò alla conclusione che - **al di là dell'apparenza** - esistono soltanto due solfati del ferro e che i solfati a composizione intermedia non sono altro che miscele di questi due<sup>11</sup>.

Questa conclusione è connessa alla chiara affermazione di un altro principio basilare della chimica, la distinzione tra **composti** e **miscugli**<sup>12</sup>; questo concetto venne utilizzato costantemente da Proust.

Nel 1799 Proust, in un articolo dedicato alla composizione dell'ossido rameico, enunciò per la prima volta, la *legge delle proporzioni definite*, secondo la quale **tutte le sostanze hanno composizione costante**.

“Bisogna concludere che la natura non opera diversamente nelle profondità della terra e alla superficie, o nelle mani dell'uomo. Queste proporzioni sempre invariabili, questi attributi costanti che caratterizzano i veri composti dell'arte o quelli della natura”<sup>13</sup>.

Nella fase della scoperta, ciò che differenzia un'ipotesi corretta da una sbagliata, non è generalmente, il grado di conferma. Anche l'ipotesi delle proporzioni definite, come l'ipotesi di Lavoisier sulla costanza del peso, costituisce un esempio di generalizzazione affrettata; infatti, quando l'ipotesi fu enunciata per la prima volta, le esperienze su cui si basava erano limitate, ma *l'enunciazione affrettata dell'ipotesi, come tutte le intuizioni geniali, svolse un ruolo fondamentale di indirizzo della ricerca chimica*. Intorno al 1810 le conferme sperimentali dell'ipotesi erano tali da permettere il suo accesso al rango dei principi basilari della chimica.

Evidentemente Proust, sulla base delle sue analisi realizzate nel decennio precedente e dell'*intuizione* dell'importante principio della distinzione tra composti e miscugli, si era già convinto che la composizione definita è una caratteristica di tutti i composti.

---

10. M. Proust, *Extrait d'un Mémoire intitulé: Recherches sur le Bleu de Prusse*, in *Annales de Chimie*, 23, pp. 85-87.

11. Infatti la spiegazione all'*apparenza* più ragionevole è quella di ritenere che il solfato ferroso (verde), lasciato all'aria, è capace di produrre un numero indefinito di solfati, corrispondenti ai diversi gradi di ossidazione del ferro.

12. I composti erano considerati da Proust le “combinazioni vere”.

13. M. Proust, *Recherches sur le cuivre*, In *Annales de Chimie*, 1799, 32, pp. 30-31.

Proust formulando la generalizzazione in base alla quale in tutti i composti gli elementi erano contenuti in determinate proporzioni definite e non in altre combinazioni, indipendentemente dalle condizioni in cui i composti stessi venivano prodotti, effettuò una *generalizzazione di livello superiore* (la legge di Proust è una generalizzazione di generalizzazioni) che suscitò le critiche di Berthollet: questi infatti *fu in grado di produrre un certo numero di esempi in contraddizione con la legge*.

Berthollet non contestava la costanza della composizione per molte sostanze, ma non era disposto ad accettare la generalizzazione di questa affermazione, cioè la legge della costanza della composizione per tutti i composti. Proust fu in grado di replicare efficacemente a molte delle obiezioni di Berthollet. I controesempi più significativi forniti da Berthollet rimasero le leghe ed i vetri; queste sostanze hanno composizione variabile e sono effettivamente, come sosteneva Proust dei miscugli (delle soluzioni solide), ma in questo caso Proust non fu in grado di fornire un criterio operativo capace di chiarire il problema<sup>14</sup>.

Dal momento in cui fu annunciata la legge di Proust, il mondo scientifico fu costretto a compiere profonde meditazioni su di essa. Dopo tutto, perché mai doveva essere valida la legge delle proporzioni definite? Perché mai un determinato composto doveva sempre essere costituito da 4 parti di X per 1 parte di Y, ad esempio, e non qualche volta di 4,1 o 3,9 parti di X per 1 parte di Y?

Se la natura della materia fosse stata continua (come sosteneva Berthollet), questa circostanza sarebbe stata difficile da spiegare. *Perché gli elementi non potevano combinarsi secondo proporzioni leggermente variabili?*

---

14. Tra il 1900 e il 1914 N. S. Kurnakov, in seguito all'analisi di sistemi formati da metalli, sostanze organiche, sistemi salini, ecc. , arrivò alla conclusione che *esisteva una estesa classe di sostanze le quali presentavano tutte le proprietà dei composti chimici, eccetto quella di avere una composizione definita e costante* (questi composti possono variare la loro composizione entro limiti abbastanza ampi, pur rimanendo omogenei). In onore di Berthollet, Kurnakov chiamò bertollidi i composti di composizione variabile e daltonidi, in onore di J. Dalton, i composti che obbedivano alla legge dei rapporti definiti e costanti. “ La disputa rimasta famosa nella storia della chimica tra Berthollet e Proust – scrissero nel 1906 Kurnakov e Pusin – deve essere riaperta nel tempo presente. Cento anni dopo la sua fine si è accumulato nel nostro bagaglio scientifico , un grande numero di nuovi fatti e inoltre oggi disponiamo di nuovi e più perfezionati metodi sperimentali di ricerca. Lo stato delle nostre conoscenze ci permette già di pensare che la vittoria di Proust sul suo geniale avversario è stata solo temporanea”. La teoria di Kurnakov sui composti daltonidi e bertollidi, le sue idee che nei sistemi in equilibrio il *discreto* (atomi) e il *continuo* coesistono, hanno ricevuto nel tempo attuale larga diffusione e sono fondate su un *abbondantissimo materiale sperimentale*.

La risposta a questa domanda fu data dalla teoria atomica, che ha la sua lunga storia. Ma solo adesso è giunta la sua ora. Dopo la creazione della teoria dell'ossigeno e del concetto di elemento chimico, dopo la scoperta delle leggi stechiometriche, lo sviluppo della chimica presupponeva, sotto gli aspetti logico e storico, lo sviluppo della concezione atomistica della struttura delle sostanze.

## LA TEORIA ATOMISTICA DI DALTON

### 1. L'acqua come composto binario

La concezione atomistica, che avrebbe nell'arco di 50 anni impresso un'accelerazione imprevedibile alla teoria chimica, venne per la prima volta fatta conoscere da Dalton nel 1808 in poche pagine, collocate quasi a mo' di appendice, alla fine del suo libro: "A new system of chemical philosophy":<sup>15</sup>

*“Quando cerchiamo di concepire il numero di particelle nell'atmosfera è come tentare di concepire il numero di stelle nell'universo; ma se si limita la materia, prendendo un dato volume di un qualsiasi gas, ci persuadiamo che, pur essendo la divisione così minuta, il numero delle particelle deve essere finito; proprio come in un dato spazio di universo, il numero delle stelle e pianeti non può essere infinito (qui viene ribadito il concetto fondamentale dell'atomismo democriteo, cioè quello della finitezza del numero di particelle di un qualsiasi corpo).*

*L'analisi chimica e la sintesi non vanno oltre alla separazione delle particelle, l'una dall'altra, ed alla loro riunione. Nessuna nuova creazione o distruzione di materia è nelle possibilità dell'azione chimica. Potremmo tentare di creare o distruggere una particella di idrogeno, allo stesso modo che potremmo cercare di introdurre un nuovo pianeta nel sistema solare, o distruggerne uno già esistente. Tutti i cambiamenti che possiamo produrre, consistono nel separare le particelle che sono in uno stato di coesione o combinazione, e nel riunire quelle che erano precedentemente distanti.*

*In tutte le ricerche chimiche, è stato considerato un importante obiettivo accertare i pesi relativi degli elementi che costituiscono un composto. Ma sfortunatamente la ricerca è terminata qui; mentre dai pesi relativi nella massa, i pesi relativi delle ultime particelle o atomi delle sostanze possono essere ricavati...*

*Ora è uno dei grandi obiettivi di questo libro mostrare l'importanza e il vantaggio di accertare i pesi relativi delle ultime particelle sia dei corpi semplici che composti, il numero di particelle elementari che formano una particella composta...*

---

15. Una prima divulgazione della concezione daltoniana era avvenuta l'anno precedente: il chimico inglese Thomson, avendone ricevuto informazione direttamente da Dalton, le aveva dedicato alcune pagine nella terza edizione del suo fondamentale libro di chimica.

*Dall'applicazione di queste regole ai fatti chimici già ben accertati, si possono dedurre le seguenti conclusioni: 1) che l'acqua è un composto binario di idrogeno ed ossigeno e che i pesi relativi dei due atomi elementari stanno come 1 a 7; 2) che l'ammoniaca è un composto binario di idrogeno e azoto, e che i pesi relativi dei due atomi stanno come 1 a 5; 3) che il gas nitroso è un composto binario di azoto ed ossigeno, gli atomi dei quali pesano 5 e 7 rispettivamente.... In tutti questi casi i pesi sono espressi in atomi di idrogeno, ciascuno dei quali è indicato come unità".<sup>16</sup>*

Innanzitutto bisogna considerare che Dalton attribuiva agli *elementi chimici individuati da Lavoisier una importanza fondamentale*. Mentre altri chimici suoi contemporanei, quali Davy, erano convinti che gli elementi lavoisieriani fossero a loro volta decomponibili, e che gli elementi veri fossero in numero più limitato ed ancora da scoprire, *Dalton riteneva che gli elementi lavoisieriani fossero veramente sostanze non più decomponibili perché pensava che:*

***1) ciascun elemento fosse costituito da atomi tutti uguali.***

Lavoisier non tentò mai di approfondire il concetto di “elemento chimico” dal punto di vista della teoria atomica. Su questo argomento egli scrisse che: “se col termine elemento vogliamo significare quegli atomi semplici e indivisibili di cui sono formate le sostanze, la loro esistenza è assai probabile, ma di loro nulla sappiamo.”

Inoltre Dalton riteneva che:

***2) l'analisi chimica (composto → elementi) è soltanto in grado di separare gli atomi costituenti le molecole delle sostanze composte, ma non effettuare nessuna modificazione negli elementi;***

***3) la sintesi chimica (elementi → composto) non consiste che nella unione di atomi;***

***4) gli atomi degli elementi sono immodificabili e quindi le reazioni chimiche, durante le quali si ha la creazione di nuove sostanze, non consistono nella creazione di nuova materia; durante le reazioni chimiche non si ha altro che la separazione o la riunione di atomi preesistenti;***

***5) ogni atomo ha una sua massa (peso) ed è possibile ricavare la massa relativa (peso atomico) degli atomi a partire dal dato macroscopico della composizione elementare.***

---

<sup>16</sup> J. Dalton, *A new system of chemical philosophy*”, part 1, Manchester, 1808, pp. 211-216.

## **2. L'innovazione rivoluzionaria presente nella concezione atomistica di Dalton**

Il significato rivoluzionario della teoria atomistica di Dalton consisté nella formulazione di un concetto di atomo strettamente connesso alla scienza chimica a lui contemporanea<sup>17</sup>. Il collegamento con la scienza si realizzò con uno degli aspetti costitutivi della chimica di Lavoisier, la composizione delle sostanze composte: il fondamento della nuova teoria è costituito dall'ipotesi di una relazione precisa tra la composizione costante dei composti (Proust) ed il valore del peso atomico degli elementi costituenti. Gli atomi di cui parla Dalton non sono più entità indefinibili, ma sono contraddistinti dalla proprietà fondamentale del peso atomico. Prima di Dalton, l'unica affermazione che si poteva effettuare sugli atomi era relativa alla loro esistenza, basandosi unicamente sul ragionamento (Democrito...). Con Dalton gli atomi sono finalmente **definibili**: ogni elemento è costituito da un numero molto grande di particelle piccolissime e tutte uguali, cioè tutte caratterizzate dallo stesso peso atomico. Dopo Dalton l'individuazione di nuove caratteristiche degli atomi renderà possibile un arricchimento costante del concetto di atomo (un aumento del significato) e questo processo coinciderà con la maturazione scientifica della chimica.

## **3. Il peso atomico, concetto costitutivo dell'atomismo daltoniano**

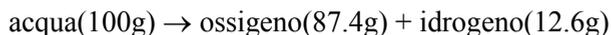
Abbiamo detto che *il passaggio dalla composizione elementare delle sostanze composte al peso atomico degli elementi componenti costituisce il fondamento della nuova teoria*, ma non si è ancora analizzato come viene realizzato questo passaggio. Ci proponiamo di illustrare il ragionamento di Dalton con un esempio di particolare rilevanza, la determinazione del peso atomico dei costituenti dell'acqua, la cui composizione (costante) in peso era rappresentata dai valori 87.4 per l'ossigeno e 12.6 per l'idrogeno, stabilita alcuni anni prima da Gay Lussac ed Humboldt. Tale ragionamento può essere schematizzato in 5 punti:

1. il punto di partenza consiste nell'ipotizzare che una data quantità di acqua sia costituita da un numero finito, seppur grande, di particelle piccolissime (molecole);

---

17. Molti storici della chimica hanno discusso sull'origine della teoria daltoniana. Pur non volendo approfondire questa interessante problematica, vogliamo sottolineare due aspetti su cui concordano la maggior parte degli storici: 1) l'origine della teoria va rintracciata nelle ricerche fisiche di Dalton sui gas; 2) la relazione esistente tra la teoria daltoniana e le leggi delle proporzioni chimiche costituisce la conferma della sua fondatezza e fecondità, ma contrariamente all'opinione più diffusa nei manuali di chimica, la teoria daltoniana non è una conseguenza di tipo induttivo delle leggi delle proporzioni.

2. la seconda ipotesi consiste nel supporre che le molecole di acqua siano tutte uguali. Questa ipotesi è una conseguenza del fatto che l'acqua risulta avere una composizione costante; questa seconda ipotesi, che Dalton applica a tutte le sostanze composte, è strettamente connessa alla legge di Proust;
3. consideriamo una quantità finita di acqua, per esempio 100g :



Indichiamo con  $p$  le molecole corrispondenti a 100g di acqua ed effettuiamo i seguenti rapporti:

$$100 \text{ g}/p \rightarrow 87.4 \text{ g}/p + 12.6 \text{ g}/p$$

Qual è il significato di questi rapporti? Mentre il primo rapporto corrisponde al *peso di una molecola di acqua*, gli altri due indicano soltanto il *peso rispettivamente dell'ossigeno e dell'idrogeno contenuti in una molecola di acqua*. Se  $p$  non è noto non è possibile ricavare questi valori (e questa situazione caratterizzò la chimica ottocentesca durante tutta la rigogliosa fase di costruzione dei principi fondamentali della chimica classica), ma è possibile comunque ricavare informazioni di grandissima importanza; si può innanzi tutto determinare, con una semplice operazione il rapporto in peso tra l'ossigeno e l'idrogeno contenuti in una molecola d'acqua.

$$\frac{87.4 \text{ g}/p}{12.6 \text{ g}/p} = \frac{87.4}{12.6} = \frac{\text{peso ossigeno contenuto in una molecola d'acqua}}{\text{peso idrogeno contenuto in una molecola d'acqua}}$$

Siamo già arrivati ad una prima affermazione di grande rilevanza: *la composizione macroscopica dell'acqua (e più in generale di tutte le sostanze composte) coincide con la composizione molecolare*. Vi è però una differenza sostanziale: mentre a livello macroscopico i due numeri che indicano la composizione hanno delle ben definite dimensioni, a livello molecolare, non conoscendo  $p$ , è soltanto un *rapporto fra numeri*.

4. Il passaggio successivo consiste nell'attribuzione all'acqua di una determinata formula. Dalton, in base al principio della massima semplicità<sup>18</sup>, ipotizzò che la molecola d'acqua fosse costituita da un atomo di ossigeno ed uno di idrogeno.

<sup>18</sup>. Secondo questo principio la molecola di una qualsiasi sostanza dovrebbe essere costituita dai numeri più semplici possibili di atomi degli elementi costituenti.

5. Al punto 3 avevamo ricavato che:

$$\frac{87.4}{12.6} = 6.93 = \frac{\text{peso ossigeno in una molecola di acqua}}{\text{peso idrogeno in una molecola di acqua}}$$

Con l'ipotesi formulata al punto 4 si può effettuare questo passaggio:

$$6.93 = \frac{\text{peso dell'atomo di ossigeno}}{\text{peso dell'atomo di idrogeno}}$$

approssimando 6.93 a 7 si ottiene:

$$\text{peso dell'atomo di ossigeno} = 7 \times \text{peso dell'atomo di idrogeno}$$

E' proprio l'atomo di idrogeno (il più leggero) che viene preso da Dalton come riferimento dei pesi atomici;

***il peso atomico dell'idrogeno viene assunto per convenzione 1***

quindi il peso atomico dell'ossigeno risulta essere 7.

***Il peso atomico di un elemento è quindi un numero relativo che indica quanto pesa l'atomo dell'elemento in relazione all'atomo di idrogeno considerato come unità.***

#### 4. La determinazione del peso atomico di altri elementi

Dalton, sulla base del ragionamento precedente, assegnò il peso atomico a molti altri elementi e pubblicò la prima tavola dei pesi atomici. Molte voci di questa tavola si rivelarono in seguito completamente sbagliate anche se la tavola stessa rappresenta forse il più importante apporto scientifico di Dalton alla chimica. I motivi della non adeguatezza dei pesi atomici di Dalton erano fondamentalmente tre: 1) l'imprecisione delle composizioni, allora disponibili, delle sostanze impiegate per calcolare i pesi atomici; 2) l'imprecisione del peso atomico attribuito all'ossigeno; 3) l'ostinazione di Dalton nel ritenere che, in generale, le molecole fossero formate dall'accoppiamento di un solo atomo di un elemento con un solo atomo di un altro elemento.

Prendendo come esempio il peso atomico dell'ossigeno, abbiamo nel paragrafo precedente visto il valore che gli attribuì Dalton nel 1808. Nel 1819 Dulong e Berzelius determinarono la composizione dell'acqua in modo molto più preciso, ricavarono infatti i valori 11,1 % di idrogeno e 88,9 % di

ossigeno. Ed il peso atomico dell'ossigeno che si ricava da questi valori ed assegnando all'acqua la formula  $H_2O$  è 16,01, molto simile a quello attuale.

Il ragionamento è ovviamente quello del paragrafo precedente, cambia soltanto la composizione dell'acqua e nell'ultimo passaggio il numero di atomi di idrogeno:

$$8,005 = \frac{\text{peso dell'atomo di ossigeno}}{2 \cdot \text{peso dell'atomo di idrogeno}}$$

Peso dell'atomo di ossigeno = 16,01 x peso dell'atomo di idrogeno = 16,01

## **GAY LUSSAC ED HUMBOLDT: LA DETERMINAZIONE DEL RAPPORTO DI COMBINAZIONE IN VOLUME TRA IDROGENO E OSSIGENO NELL'ACQUA**

### **1. Preparazione delle sostanze**

Ricavavano l'ossigeno per riscaldamento del clorato di potassio e l'idrogeno dalla reazione di dissoluzione dello zinco in acido cloridrico. Si posero innanzitutto il problema di disporre dei due gas al massimo grado di purezza.

Secondo voi quali potrebbero essere le cause più rilevanti della presenza nei due gas di impurità, cioè della presenza di piccole quantità di altri gas?

Gay Lussac ed Humboldt ritennero che la causa fondamentale andasse ricercata nella presenza di aria nei recipienti; adottarono conseguentemente degli accorgimenti per evitarne il più possibile la presenza.

Per la preparazione dell'ossigeno, collocarono nella storta insieme al clorato di potassio dell'acqua, in modo tale che la storta risultasse riempita d'acqua di circa  $\frac{1}{4}$ .

Secondo voi, quale era la funzione dell'acqua?

La decomposizione del clorato di potassio aveva inizio dopo che tutta l'acqua se ne era andata, bollendo, sotto forma di vapore, e così eliminando dalla storta l'aria contenuta. L'ossigeno, che a questo punto si sviluppava, si veniva a trovare in un ambiente privo di aria. Gay Lussac ed Humboldt non si accontentarono di questo accorgimento, impiegarono infatti anche una storta sufficientemente lunga, tale da andare a terminare nella parte alta della campana di raccolta dell'ossigeno.

Per quale motivo, secondo voi, adottarono anche questo accorgimento?

Per evitare che l'ossigeno, attraversando l'acqua contenuta nella campana, potesse spingere verso l'alto dell'aria disciolta nell'acqua.

La preparazione dell'idrogeno venne effettuata con accorgimenti simili, e nonostante tutto ciò, i due scienziati constatarono che i due gas contenevano ancora piccole impurità, del 4/1000 nel caso dell'ossigeno e del 6/1000 nel caso dell'idrogeno.

## 2. Gli esperimenti

Gay-Lussac ed Humboldt effettuarono un primo gruppo di esperimenti in cui veniva impiegato l'eudiometro, ossia un bagno pneumatico così modificato: nella parete terminale della campana erano fissati due fili metallici che, collegati ad una macchina elettrostatica, erano in grado di fare scoccare delle scintille e di dare così innesco alla combustione.

Gli esperimenti consistevano:

- 1) nel collocare sotto la campana dei volumi precisi di idrogeno e di ossigeno;
- 2) nel fare avvenire la combustione per mezzo di scintille;
- 2) nel misurare la diminuzione del volume dei gas.

*Perché, quando l'idrogeno reagisce con l'ossigeno, si ha una diminuzione di volume?*

Poiché l'idrogeno e l'ossigeno si trasformano, reagendo, *in acqua liquida*, la diminuzione di volume dei gas corrisponde evidentemente alla quantità di idrogeno ed ossigeno che si sono combinati.

Riportiamo nella tabella sottostante i valori ricavati dai primi nove esperimenti:

Esperimento	Idrogeno(ml)	ossigeno(ml)	diminuzione di volume (ml)
1	100	200	146
2	100	300	146
3	100	600	146
4	100	900	146
5	100	950	68
6	100	1000	55
7	100	1200	24
8	100	1400	14
9	100	1600	0

Il confronto dei primi *quattro* permette di ipotizzare:

- che l'idrogeno abbia reagito *completamente* già nel primo esperimento, in quanto, nonostante aumenti la quantità di ossigeno, la diminuzione del volume è sempre la stessa;
- che, essendo la diminuzione di volume sempre di 146, il rapporto di combinazione tra idrogeno ed ossigeno sia nei primi 4 esperimenti *costante*.

Gli altri esperimenti, inutilizzabili ai fini del rapporto di combinazione, permettono di comprendere un altro importante concetto: quale? E' lo stesso concetto che permette di spiegare i seguenti fenomeni: se si soffia dell'aria sopra un combustibile che sta bruciando, la combustione può cessare od essere ravvivata a seconda che l'aria venga soffiata con violenza o con moderazione.

Gay-Lussac ed Humboldt, effettuando altri esperimenti (mantenendo, per esempio, costante l'ossigeno e variando la quantità di idrogeno), arrivarono a conclusioni del tutto simili a quelle ricavate dal primo gruppo di esperimenti, furono cioè in grado di affermare che ***il rapporto di combinazione in volume tra idrogeno ed ossigeno era costante***. Compresero anche che la combustione era completa soltanto quando i due gas erano presenti in determinati rapporti (infatti la combustione non era più completa o addirittura non avveniva se uno dei due era troppo in eccesso rispetto all'altro).

I due scienziati si posero a questo punto il problema di determinare il valore del rapporto costante di combinazione nel modo più preciso possibile. Effettuarono, a questo scopo, molti altri esperimenti.

*Come fu possibile determinare il rapporto di combinazione dei due gas?*

Misurando il volume del **gas residuo**.

Effettuarono, tra gli altri, 12 esperimenti con 100 parti in volume di ossigeno e 300 parti in volume di idrogeno, dai quali ricavarono i seguenti valori di gas residuo:

Gas residuo

100,8	101,0	102,0
101,4	101,7	102,0
100,5	102,0	101,0
101,0	101,5	101,5

Occorre ricavare innanzitutto il valore medio di gas residuo, e questo risulta 101,3.

E' possibile quindi calcolare il rapporto di combinazione in volume, che risulta di 100 parti di ossigeno a 198,7 parti di idrogeno.

Gay Lussac ed Humboldt non si accontentarono di questo valore, ma ottennero un risultato ancora più preciso, tenendo anche conto delle impurità ancora presenti nell'ossigeno (4/1000).

L'ossigeno che reagiva in quei 12 esperimenti non era 100 parti in volume, ma  $100 - 0,4$ , poiché i 4/1000 erano impurità, che rimanevano conseguentemente nel residuo.

Siete in grado di procedere nel ragionamento?

Il residuo 101,3 è costituito anche di queste impurità dell'ossigeno.

Per calcolare quindi l'idrogeno che ha reagito, occorre togliere a 300 non 101,3, ma  $101 - 0,4$ :

$$\begin{array}{ll} 101,3 - 0,4 = 100,9 & \text{idrogeno residuo} \\ 300 - 100,9 = 199,1 & \text{idrogeno che ha reagito} \end{array}$$

Il rapporto di combinazione in volume è conseguentemente il seguente:

$$99,6 \text{ di ossigeno a } 199,1 \text{ di idrogeno}$$

Infine con una semplice proporzione può essere così indicato:

$$100 \text{ di ossigeno a } 199,89 \text{ di idrogeno}$$

Gay Lussac ed Humboldt, ricavato questo valore, ritennero sensato approssimarlo al rapporto di 100 a 200, arrivarono cioè alla conclusione che il rapporto di combinazione in volume tra idrogeno ed ossigeno fosse di 2 a 1.

## LE IPOTESI DI AVOGADRO E LA FORMULA DELL'ACQUA

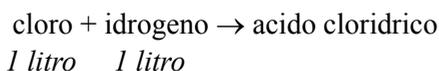
Nella formulazione della legge sulle combinazioni gassose, Gay Lussac “si limitò” all'aspetto macroscopico. Chi invece andò oltre l'aspetto fenomenico, intravedendo nella legge di Gay Lussac un riflesso della teoria atomistica, fu Avogadro. Il suo contributo fu decisivo per l'affermazione di una teoria che presentava ancora diversi problemi irrisolti, come la determinazione dei “pesi atomici” e delle formule.

## 1. Le due ipotesi di Avogadro

L'opinione prevalente nei manuali scientifici che le ipotesi di Avogadro (1776-1856) non fossero note alla comunità dei chimici, prima del lavoro di Cannizzaro del 1858, è sbagliata. I chimici più significativi della prima metà dell'Ottocento le discussero; alcuni, quali Berzelius, accettarono la prima ipotesi; altri, come Dumas, dopo aver considerato corrette ambedue le ipotesi, le rigettarono in conseguenza di nuovi esperimenti (con fosforo ed arsenico) che sembravano contraddirle.

Il grande contributo di Avogadro, come vedremo, risiede nella seconda ipotesi; la prima ipotesi (***volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di molecole integranti***<sup>19</sup>) era già stata formulata da altri, fra i quali Dalton.

Per Avogadro, la prima ipotesi è una conseguenza diretta della legge di Gay Lussac, anzi ne costituisce la spiegazione: l'ipotesi che, ad esempio, 1 litro dei diversi gas elementari contenga lo stesso numero di atomi<sup>20</sup> (nelle stesse condizioni di temperatura e pressione) è in grado di fornire una spiegazione del fatto che essi si combinino secondo numeri interi e piccoli. Ad esempio, nel caso della reazione fra cloro ed idrogeno per dare acido cloridrico:



*sapendo che idrogeno e cloro reagiscono completamente, il rapporto di combinazione atomico non può che essere di 1:1, per cui ciascuna molecola di acido cloridrico si forma dalla combinazione di 1 atomo di idrogeno con 1 atomo di cloro oppure da 2 atomi di idrogeno e da 2 atomi di cloro....*

I ragionamenti precedenti rimangono validi anche per le altre combinazioni di gas elementari: per esempio in riferimento alla sintesi dell'**acqua**, essendo il rapporto di combinazione in volume tra idrogeno e ossigeno di 2 a 1, evidentemente ciascuna molecola di acqua non può essere costituita da 1 atomo di idrogeno e uno di ossigeno (come credeva Dalton in base all'ipotesi della massima semplicità), bensì da 2 atomi di idrogeno e 1 di ossigeno, oppure da 4 atomi di idrogeno e 2 di ossigeno ecc.

19. L'espressione "molecola integrante" è utilizzata da Avogadro nel significato di particella più piccola caratteristica di ciascun gas: per ora va quindi intesa come atomo in riferimento ai gas elementari e come molecola per i gas composti.

20. Vi ricordiamo che nello stato gassoso, le particelle (atomi o molecole) di qualsiasi sostanza, si trovano, diversamente dallo stato liquido e solido, a grandissime distanze l'una dall'altra ed in continuo movimento, e che conseguentemente la maggior parte del volume occupato da un qualsiasi gas è vuoto.

## 2. La grande importanza delle ipotesi di Avogadro

La legge di Avogadro rappresenta da molto tempo una delle leggi fondamentali della chimica, in quanto è capace di connettere, di spiegare molteplici fenomeni. Fin dall'inizio, Avogadro ne intuì la grande importanza; le sue ipotesi, fra le altre cose, fornivano un nuovo procedimento per determinare i pesi atomici e costituivano un primo metodo per assegnare le formule ai composti che fosse in grado di superare l'arbitrarietà del principio daltoniano della massima semplicità.

Prendiamo innanzitutto in considerazione questo secondo aspetto, rifacendoci all'esempio dell'acido cloridrico. In base a quanto detto una molecola di acido cloridrico potrebbe anche essere costituita da 2 atomi di cloro e da 2 atomi di idrogeno, oppure da 3 e 3, ecc. Ma a differenza del principio della massima semplicità presente nel ragionamento di Dalton, questa ipotesi può essere messa alla prova dei fatti, può quindi essere confermata o smentita: se la molecola del composto fosse  $H_2Cl_2$ ,  $H_3Cl_3$  ... il volume dell'acido sarebbe 1/2 di litro, 1/3 di litro ... invece di 1 litro, come nel caso di HCl. *Ma queste ipotesi risultano smentite dagli esperimenti: dalla combinazione di 11 di cloro e di 11 di idrogeno si ottengono 21 di acido cloridrico. E, fatto ancora più grave, questo volume dell'acido cloridrico è in contraddizione con la prima ipotesi*, perché, se 1 litro di idrogeno e 1 litro di cloro contengono  $x$  atomi di idrogeno ed altrettanti di cloro, e se dalla loro combinazione si ottengono  $x$  molecole di acido cloridrico (HCl), il volume di queste  $x$  molecole dovrebbe essere 1 litro.

***Esiste una contraddizione, apparentemente insuperabile, tra la I<sup>a</sup> ipotesi di Avogadro e la realtà.***



Di fronte a questa contraddizione (tra l'altro confermata in molti altri esempi di reazioni tra gas<sup>21</sup>) la maggior parte dei chimici della prima metà dell'Ottocento concluse che la I<sup>o</sup> ipotesi di Avogadro, essendo stata smentita dai fatti, dovesse essere rigettata.

Al contrario, Avogadro pensò che la I ipotesi avrebbe potuto essere ritenuta corretta se essa fosse stata in parte modificata.

## 3. La seconda ipotesi di Avogadro

Con un'intuizione geniale Avogadro, nel 1811, trasformò la precedente ipotesi ammettendo che le particelle di gas che occupano in ugual numero

21. Le stesse contraddizioni si avevano ad esempio nelle reazioni tra idrogeno ed ossigeno, tra idrogeno ed azoto.

uguali volumi nelle stesse condizioni di pressione e di temperatura non siano necessariamente per gli elementi gli atomi, ma che esse possano essere costituite da aggregati di atomi uguali chiamati anch'essi molecole.

In particolare per la seconda ipotesi di Avogadro, le particelle dell'idrogeno, del cloro, dell'ossigeno e dell'azoto avrebbero dovuto essere considerate molecole biatomiche e non costituite da un singolo atomo.

<i>La particella di</i>	<i>Per la maggioranza dei chimici negli anni 1810-1860</i>	<i>Per la seconda ipotesi di Avogadro</i>
idrogeno	H	<b>H<sub>2</sub></b>
ossigeno	O	<b>O<sub>2</sub></b>
cloro	Cl	<b>Cl<sub>2</sub></b>
azoto	N	<b>N<sub>2</sub></b>

Questa seconda ipotesi risultò per la maggioranza dei chimici contemporanei di Avogadro incomprensibile, assurda. Si chiedevano: se si accetta la concezione atomistica (ma in realtà molti ne dubitavano), per quale motivo le particelle più piccole dei gas elementari, invece di essere costituite di atomi, dovrebbero essere costituite di molecole contenenti atomi uguali (dello stesso elemento)?

Cinquant'anni dopo la maggioranza dei chimici accetterà le ipotesi di Avogadro (ritenendole confermate sperimentalmente), le riterrà una delle leggi fondamentali della chimica, ma non sarà ancora in grado di fornire una risposta a questa domanda; questa verrà data soltanto nel XX secolo sulla base di ipotesi relative alla struttura elettronica degli atomi.

### **Con la seconda ipotesi spariscono le contraddizioni precedentemente evidenziate**

Riprendiamo ancora una volta la sintesi dell'acido cloridrico. Per la seconda ipotesi di Avogadro: 1) il cloro e l'idrogeno sono costituiti da molecole biatomiche; quando i due gas sono mantenuti separati (e più in generale non sono in condizione di reagire) queste molecole sono stabili; 2) quando però il cloro e l'idrogeno reagiscono tra loro, si ipotizza che queste molecole non siano più stabili e che si scindano nei due atomi costituenti; 3) infine, supponendo che la molecola dell'acido cloridrico sia HCl, si può ipotizzare che dalla combinazione di una molecola di cloro e di una molecola di idrogeno si formino due molecole di acido cloridrico. Le medesime considerazioni valgono anche nel caso dell'acqua. Sapendo che 1/

di ossigeno reagisce con 2l di idrogeno per dare 2l di acqua, la formula dall'acqua non può che essere  $H_2O$ . Le ipotesi di Avogadro costituirono un primo metodo *per assegnare le formule ai composti che fosse in grado di superare l'arbitrarietà del principio daltoniano della massima semplicità*. Le formule che Avogadro ricavò con questi ragionamenti per l'acqua ( $H_2O$ ), l'acido cloridrico (HCl), l'ammoniaca ( $NH_3$ ), ecc., verranno cinquant'anni dopo accettate da tutti i chimici.

I moltissimi risultati sperimentali che nel corso degli anni successivi hanno trovato una spiegazione logica, prendendo come vera la seconda ipotesi di Avogadro hanno fatto sì che essa abbia assunto oggi il valore di *legge*:

***Volumi uguali di gas diversi, se misurati nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di particelle.***

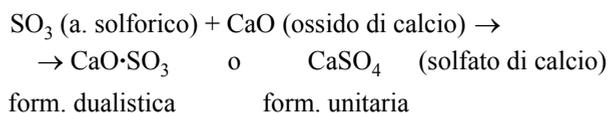
La formulazione contemporanea della legge di Avogadro parla di particelle, che possono essere atomi o molecole, perché vi sono elementi, come il mercurio, che allo stato gassoso sono costituiti di atomi. Inoltre non tutti gli elementi allo stato gassoso sono costituiti di molecole biatomiche; ve ne sono alcuni, quali per esempio il fosforo e l'arsenico, che hanno molecole tetraatomiche ( $P_4$ ,  $As_4$ ).

Con le ipotesi di Avogadro diventa anche possibile determinare anche le masse molecolari relative di tutte le sostanze gassose di cui si conosce la densità. Infatti, il rapporto tra volumi uguali di gas corrisponde al *rapporto tra le masse dei due gas, ma quest'ultimo risulta uguale al rapporto tra le masse delle rispettive molecole*, poiché nelle stesse condizioni di temperatura e pressione volumi uguali di gas contengono un ugual numero di molecole.

## ACIDI, BASI, SALI E ACQUA:

### FORMULE DUALISTICHE E FORMULE UNITARIE

Per lungo tempo, la teoria unanimemente accettata da tutti i chimici, relativa alla costituzione dei sali, riteneva che *i sali si formassero dagli acidi e dagli ossidi per semplice reazione di addizione*. Questa teoria era, a sua volta, strettamente connessa alla concezione, risalente a Lavoisier, che gli acidi inorganici fossero sostanze binarie (fossero cioè costituiti da un non metallo e da ossigeno). Conseguentemente, per esempio, la reazione tra acido solforico ed ossido di calcio veniva concepita come reazione di addizione:



Gli acidi organici erano invece, come molte altre sostanze organiche considerati composti ternari (C, H, O); tuttavia i chimici per analogia con gli acidi inorganici, pensavano che anche le reazioni tra acidi organici ed ossidi fossero di semplice addizione. Quindi, quando Liebig e Wohler affrontarono il problema della formula dell'acido benzoico, presero le mosse da questo quadro teorico.

### 1. Il problema della formula dell'acido benzoico

L'acido benzoico veniva ricavato dalla seguente reazione:



Nel 1832 Liebig e Wohler, dopo aver analizzato diversi campioni di acido benzoico ottenuto dall'olio di mandorle amare, ricavarono un **rapporto di combinazione degli atomi** (C, H, O) che portava a ritenere che la formula dell'acido fosse  $C_7H_6O_2$

Allo scopo di confermare la formula dell'acido benzoico e **determinarne il peso molecolare**, Liebig e Wohler presero in considerazione anche la seguente reazione :



Partendo dall'ipotesi che la formula del benzoato di argento fosse data dall'addizione di quella dell'ossido di argento con quella dell'acido benzoico, procedettero alla decomposizione del sale per ricavare il peso molecolare e la formula dell'acido. A seguito di questo procedimento, assegnarono all'acido benzoico la formula  $C_{14}H_{10}O_3$ . Sulla base delle relazioni espresse dalle reazioni (1) e (2), la formula dell'acido benzoico ricavata dall'olio di mandorle doveva, tuttavia, coincidere con quella ricavata dal benzoato. Per questo motivo, Liebig e Wohler raddoppiarono la formula del primo ( $C_7H_6O_2$ ), ma constatarono con stupore che conteneva una molecola d'acqua in più ( $C_{14}H_{12}O_4$ ).

<i>Formula dell'acido benzoico ricavato dal Benzoato di Argento</i>	<i>Formula dell'acido benzoico ricavato dall'Olio di mandorle</i>
$C_{14}H_{10}O_3$	$C_{14}H_{12}O_4$

L'acido benzoico **sembrava perdere, durante la reazione, una molecola d'acqua**:



In sintesi:

Liebig e Wohler, benché non fossero in grado di comprenderne il motivo, accettarono le due formule, attenendosi al responso dei fatti sperimentali. Tuttavia, non riuscendo a fornire una spiegazione del fenomeno scoperto, apparentemente assurdo, si rivolsero a Berzelius, invitandolo ad analizzare il problema. Berzelius giunse alle stesse conclusioni di Liebig e Wohler, ma decise di rigettare i dati sperimentali, poiché era completamente convinto che le due formule dovessero coincidere. Si rifiutò, in altre parole, di osservare un fenomeno nuovo poiché esso era in contraddizione con le concezioni chimiche allora da tutti accettate. Questo episodio costituisce un ulteriore esempio del fondamentale principio epistemologico più volte già evidenziato a proposito delle osservazioni, e cioè che le osservazioni avvengono sempre sulla base di certe conoscenze, di determinate teorie, ipotesi.

## 2. La distinzione tra acido ed anidride

Alcuni anni dopo, per merito principalmente di Graham, fu finalmente possibile chiarire il mistero,

*si comprese cioè che gli acidi ossigenati erano costituiti anche di acqua ed erano quindi composti ternari.*

Fu possibile, per esempio, ipotizzare che ciascuna molecola di acido solforico fosse il prodotto della combinazione di una molecola di  $\text{SO}_3$  e di una molecola di  $\text{H}_2\text{O}$ :



Poiché il nome acido solforico veniva ora attribuito alla sostanza ternaria ( $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{SO}_3$ ), fu necessario coniare un nuovo nome per la sostanza binaria ( $\text{SO}_3$ ): si decise di chiamarla anidride solforica, volendo con questo termine indicare la sostanza simile nel comportamento all'acido solforico e diversa da esso in quanto priva di acqua (cioè anidra). L'anidride e l'acido solforico hanno un comportamento chimico molto simile, danno per esempio gli stessi sali, ma sono due sostanze diverse: ciascuna molecola di acido si ottiene, infatti, dalla addizione di una molecola di anidride ed una di acqua.

Venne effettuata in generale la distinzione tra acidi ed anidridi:

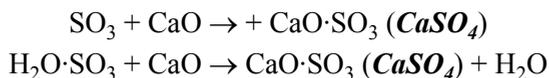
*si decise di chiamare acidi i composti ternari ed anidridi i composti privi di acqua*

cioè quelli che precedentemente erano stati chiamati acidi.

**non metallo + ossigeno → anidride**

***anidride + acqua → acido***

Riprendendo l'esempio precedente, nelle reazioni di salificazione, si hanno le seguenti equazioni:



In entrambi i casi

***si forma lo stesso sale, ma quando la reazione avviene tra acido solforico ed ossido di calcio si ha anche la formazione di una molecola d'acqua.***

A rendere ancor più difficoltosa la distinzione acidi – anidridi, oltre alla formazione degli stessi sali, contribuì anche il fatto che ***gli acidi venivano generalmente impiegati in soluzioni acquose*** e si pensava che l'acqua, in queste soluzioni, svolgesse soltanto la funzione di solvente rispetto all'anidride.

Non si era ancora compreso che, quando un'anidride viene solubilizzata, ***l'acqua svolge due funzioni:***

***una parte precisa d'acqua si combina con l'anidride per dare l'acido; la parte rimanente forma una soluzione con l'acido.***

In realtà ***alcuni fenomeni strani erano stati osservati:*** per esempio nel 1813 Berzelius aveva constatato che, volendo ottenere per riscaldamento dell'acido solforico (cioè dell'anidride, SO<sub>3</sub>), concentrato, vi era una quantità precisa di acqua che non si riusciva ad eliminare. Effettuando delle misure precise, fu in grado di stabilire che la quantità di acido (SO<sub>3</sub>) e di acqua residua erano tali che il rapporto in peso esistente tra l'ossigeno dell'acido e l'ossigeno dell'acqua era di 3 a 1. Quando successivamente venne compresa la distinzione tra anidride ed acido, fu possibile spiegare il fenomeno osservato da Berzelius: mentre è possibile per riscaldamento allontanare l'acqua che è in soluzione con l'acido, risulta molto più difficile eliminare l'acqua che costituisce l'acido, ***in quanto essa è combinata chimicamente con l'anidride.*** Inoltre, i valori ricavati sperimentalmente da Berzelius permettono di comprendere perché all'acido solforico venne poi assegnata la formula SO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### 3. Conducibilità elettrica di acidi, basi e sali

In seguito all'invenzione della pila voltaica (1800)<sup>22</sup>, la teoria atomistica si arricchì dell'idea, estremamente fertile, dell'esistenza di un nesso tra atomi ed elettricità. L'interpretazione di una vasta serie di fenomeni che riguardava in particolare la conducibilità di acidi, basi e sali puri e in soluzione acquosa, portò *Arrhenius*, nel 1887, a formulare un'ipotesi tanto ardita, quanto geniale, nota come “Teoria della dissociazione elettrolitica”, che sfocerà in una nuova teoria degli acidi e delle basi, per la quale il chimico svedese ricevette nel 1903 il premio Nobel.

Secondo l'ipotesi di Arrhenius, le molecole, elettricamente neutre, dell'acido, della base e del sale sono formate da due parti elettricamente cariche e di segno opposto. Questi “frammenti” di molecola elettricamente carichi, chiamati *ioni* (anione: ione negativo; catione: ione positivo), possono essere costituiti da un singolo atomo o da raggruppamenti di atomi. Allo stato solido, gli ioni sono fortemente legati gli uni agli altri, mentre in soluzione acquosa *la molecola si scinde in due parti*, gli anioni e i cationi, che possono muoversi e scaricarsi agli elettrodi di segno opposto.

---

22. Per la prima volta, nelle mani degli studiosi venne a trovarsi una fonte abbastanza potente di corrente continua.

**Approfondimento:****La dissociazione ionica**

La concezione allora dominante, fra i chimici, era che gli acidi, le basi ed i sali non fossero formati da ioni, ma la dissociazione in ioni avvenisse a causa della differenza di potenziale applicata alla soluzione. Non era credibile l'ipotesi che *sostanze stabilissime, come i sali, si scindessero in ioni per semplice dissoluzione*. Così pure era incomprensibile l'idea che, ad esempio, in una soluzione di cloruro di sodio, potessero esistere atomi di cloro e di sodio separati, sotto forma di  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ .

*Le differenze di proprietà fra sostanze formate da ipotetici ioni e quelle costituite dai corrispondenti atomi neutri, erano così nette*, che i chimici si rifiutavano di ammettere l'esistenza di una relazione così stretta fra ione ed atomo.

“L'idea dei chimici, affermatasi dopo Dalton, della immutabilità degli atomi sembrava inconciliabile con l'esistenza degli ioni intesi quali stati particolari degli atomi, portanti determinate cariche elettriche. Gli atomi venivano considerati particelle indivisibili, la cui struttura era ignota, per cui *l'idea che un atomo, acquistando o perdendo una carica, modificasse radicalmente le sue proprietà sembrava assurda ai chimici*, tanto più che era difficile capire *da dove provenisse la carica degli ioni formatasi per dissociazione di molecole neutre* come i sali, gli acidi e le basi. Era largamente condivisa la veduta che le sostanze fossero presenti in soluzione come tali, tanto più che era noto che, *evaporando le loro soluzioni, si riottenevano le sostanze di partenza*. Era ferma convinzione che alle reazioni chimiche partecipassero solo le molecole. Il concetto di ione restò nel dominio dell'elettrochimica e per molto tempo rimase estraneo e incomprensibile per i chimici puri, nonostante che, senza sospettarlo, essi si occupassero in prevalenza proprio di reazioni ioniche”<sup>23</sup>.

23. J.I. Solov'ev: *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai nostri giorni*, Milano, Mondadori, 1976, pag. 323.

#### 4. La teoria idrogenionica degli acidi

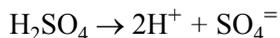
A seguito degli studi sulla conducibilità elettrica degli acidi, delle basi e dei sali, la teoria idrogenica venne ben presto abbandonata a favore di un'altra teoria, nota come teoria di Arrhenius, che, nonostante i suoi limiti, rimane una delle teorie più importanti della chimica moderna.

Le tre formule dell'acido nitrico viste prima -  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{N}_2\text{O}_5$ ;  $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_6$ ;  $2\text{HNO}_3$  - possono sembrare del tutto simili; *si potrebbe quindi pensare che l'adozione dell'una o dell'altra sia stata soltanto il frutto di convenzioni arbitrarie* (considerazioni del tutto simili possono essere fatte per gli altri acidi).

Al contrario

**ogni formula ha un significato preciso:**

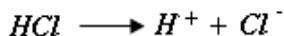
- I. il passaggio dalle formule dualistiche alle formule unitarie venne effettuato quando si comprese che la molecola della sostanza ricavata da una reazione di addizione, benché si fosse formata dall'unione delle molecole dei componenti, non era costituita dalla semplice giustapposizione di queste molecole (ma che *si verificava una ridislocazione degli atomi nella nuova molecola*);
- II. il passaggio dalla formula  $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_6$  alla formula  $\text{HNO}_3$  non avvenne per una semplificazione di tipo matematico, ma quando si *fu in grado di ipotizzare che la molecola dell'acido nitrico fosse costituita di 1 atomo di idrogeno, 1 atomo di azoto e di 3 atomi di ossigeno*. (Secondo voi le formule  $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_6$  e  $\text{HNO}_3$  differiscono per la formula minima, per la formula molecolare o per il peso molecolare?);
- III. la formula  $\text{HNO}_3$  potrebbe evidentemente anche essere scritta nei seguenti modi:  $\text{NHO}_3$ ,  $\text{NO}_3\text{H}$ ,  $\text{O}_3\text{NH}$ ,  $\text{O}_3\text{HN}$ ,  $\text{HO}_3\text{N}$ . La scelta della formula  $\text{HNO}_3$  non è avvenuta per caso. La convenzione di scrivere la formula degli acidi in questo modo venne stabilita nella seconda metà dell'Ottocento, quando venne definitivamente accettata *la teoria della dissociazione elettrolitica di Arrhenius* e si comprese che:
  - a) gli elettroliti erano *dissociati in ioni prima dell'elettrolisi* e che la dissociazione non aveva luogo sotto l'azione della corrente elettrica;
  - b) tutti gli acidi avevano la caratteristica di scindersi in acqua in due parti dotate di carica elettrica opposta, *cioè in uno o più atomi di idrogeno dotati di una carica positiva (indicati con il simbolo  $\text{H}^+$  e chiamati ioni idrogeno) e nel gruppo acido restante dotato di una o più cariche negative*:



***gli acidi vennero dunque definiti come quelle sostanze che in acqua liberavano ioni idrogeno.***

Come mai l'acido cloridrico ha una conducibilità più elevata dell'acido tartarico e dell'acido acetico? Vi è una relazione fra la forza dell'acido e la sua conducibilità?

La conducibilità dipende dalla concentrazione degli ioni. Secondo Arrhenius, l'acido cloridrico, come tutti gli acidi forti, in acqua si scioglie dissociandosi completamente in ioni, a differenza degli acidi deboli, che sono parzialmente dissociati.



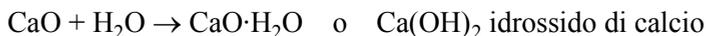
Maggiore è il grado di dissociazione, più elevato è il numero di ioni che vanno in soluzione e, di conseguenza, più elevata è la conducibilità.

## **5. La distinzione tra ossidi e idrossidi**

Anche per le basi si comprese che vi erano due classi di sostanze simili nel comportamento chimico, ma diverse nella costituzione molecolare; si capì cioè che gli ossidi (i composti binari ricavati dalla combinazione dei metalli con ossigeno), quando venivano solubilizzati in acqua, si combinavano innanzitutto con una parte precisa d'acqua, formando dei composti ternari che vennero chiamati idrossidi:

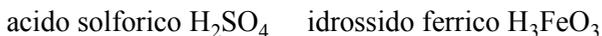


Riportiamo alcuni esempi:

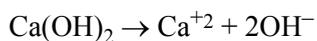


Anche per la scrittura delle formule degli idrossidi sono valide le considerazioni effettuate a proposito degli acidi. Le formule molecolari degli

acidi e degli idrossidi potrebbero essere scritte nello stesso modo; per esempio la formula dell'idrossido ferrico potrebbe essere scritta in modo simile a quella dell'acido solforico:

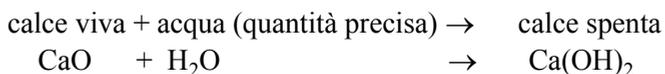


La convenzione di scrivere la formula degli idrossidi nel modo sopra indicato (e cioè  $\text{Me}(\text{OH})_n$ ) venne stabilita quando si comprese che, in acqua, anche *gli idrossidi si scindevano in due parti cariche, ma, diversamente dagli acidi, davano dei gruppi OH carichi negativamente (indicati come  $\text{OH}^-$  ovvero ione ossidrilico) ed il metallo, carico positivamente.*



**le basi vennero dunque definite come quelle sostanze che in acqua liberavano ioni ossidrilici.**

*Anche in riferimento alle basi fenomeni strani erano già stati da molto tempo osservati; per esempio Black, a metà del Settecento, aveva constatato, dopo che la calce viva era stata miscelata con acqua: 1) che vi era una quantità precisa di acqua che non era possibile eliminare neppure per riscaldamento prolungato; 2) che la sostanza così ottenuta, pur essendo chimicamente simile alla calce viva, aveva delle caratteristiche diverse, non sviluppava più, per esempio, calore, quando veniva di nuovo mescolata con acqua (questa sostanza venne chiamata per questo motivo calce spenta). Quando infine venne compresa la differenza tra ossidi ed idrossidi fu possibile spiegare la differenza tra calce viva e calce spenta:*



L'ossido di calcio (la calce viva), combinandosi con una quantità precisa di acqua (si verifica una reazione chimica esotermica), dà l'idrossido di calcio (la calce spenta).

## 6. Le reazioni di salificazione

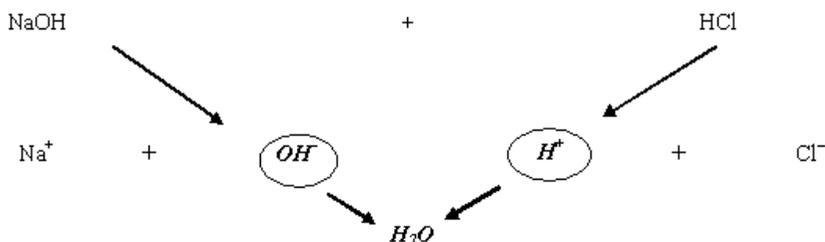
Quando finalmente venne effettuata la distinzione tra anidridi ed acidi e tra

ossidi ed idrossidi, fu possibile comprendere:

*che la formazione dei sali avveniva effettivamente con una reazione di addizione soltanto quando i reagenti erano costituiti da un ossido e da un'anidride; che la reazione di salificazione avveniva anche con la formazione (eliminazione) di acqua negli altri tre casi, e cioè quando i reagenti erano: a) un ossido e un acido; b) un idrossido e un'anidride; c) un idrossido e un acido.*

Fu quindi possibile spiegare il paradosso della differenza di una molecola d'acqua tra l'acido benzoico ottenuto dall'olio di mandorle amare e quello ottenuto dal benzoato di argento.

Alla luce della teoria idrogenionica la reazione di neutralizzazione/salificazione viene interpretata supponendo che:



Gli ioni Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> rimangono liberi in soluzione, solo facendo evaporare l'acqua, questi si uniscono e formano il cloruro di sodio solido (NaCl).

# ACQUA: CHIMICA, CULTURA, PACE

Luigi Campanella

Sapienza Università di Roma

## **Premessa**

La vita nel nostro pianeta è indissolubilmente legata alla presenza di acqua, una piccola molecola dotata di particolari proprietà chimiche e fisiche.

Indispensabile per tutti gli esseri viventi, l'acqua è oggi oggetto di molti studi. Rappresentando una risorsa limitata è necessario salvaguardarne la qualità che si va sempre più deteriorando a causa del crescente inquinamento. Inoltre, il suo uso indiscriminato nella convinzione che fosse una risorsa inesauribile ha condotto ad una crescente diminuzione della sua disponibilità (negli ultimi trent'anni del 40%). D'altra parte, il modo in cui l'acqua viene utilizzata produce a volte un'alterazione delle sue caratteristiche originali e causa la contaminazione non solo dei corpi idrici superficiali ma anche di quelli sotterranei. Solo recentemente si comincia a prendere coscienza del grande impatto ambientale provocato dal dissennato prelievo idrico. E', pertanto, vitale che qualunque sia il tipo di utilizzo di questa importantissima risorsa da parte dell'uomo, tale prelievo venga attuato con razionalità in modo da tutelare l'acqua sia qualitativamente che quantitativamente. Questa funzione di una sua tutela qualitativa e quantitativa è la sola via per non alterare la vita dell'uomo e di tutti gli esseri viventi. Due possono essere le vie percorribili per ridurre i rischi di un suo esaurimento: non consumare il patrimonio di cui disponiamo, evitando di inquinarla e costruendo acquedotti, in modo che possa essere portata in superficie oppure sfruttare tutte le acque naturali che possono essere utilizzate per l'approvvigionamento idrico, direttamente o tramite trattamento. Le principali fonti di approvvigionamento idrico sono le acque superficiali, che si distinguono in acque dolci (corsi d'acqua, laghi naturali e invasi artificiali), saline (mare), sotterranee,

L'acqua è praticamente la componente principale di molti alimenti, dell'ambiente e del corpo umano. In assenza di acqua la vita è inibita e la scoperta di nuovi mondi parte sempre dalla ricerca su quei suoli inesplorati dell'acqua. Si veda il recente caso di Marte; l'ipotesi di acqua su questo pianeta nasce dall'analisi di una immagine che combina la foto di rivoli scuri su un pendio marziano con una griglia di colori basati sui dati raccolti da uno spettrometro per mappare i minerali puntato sulla medesima area. Le linee appaiono sulla superficie del pianeta nella stagione più calda, durante la quale le temperature solitamente rigidissime ( fino a -140 C°) possono alzarsi fino a +20.

### **Un po' di chimica**

L'acqua è un composto chimico di formula molecolare  $H_2O$ , in cui i due atomi di idrogeno sono legati all'atomo di ossigeno con legame covalente. In condizioni di temperatura e pressione normali si presenta come un liquido incolore e insapore in equilibrio con un gas incolore, il suo vapore contenuto nell'atmosfera sovrastante il liquido nel caso in cui la temperatura sia uguale o inferiore alla temperatura di congelamento il composto si presenta come un solido (ghiaccio).

Essendo l'acqua un ottimo solvente, le acque naturali contengono disciolte moltissime altre sostanze, e con la parola "acqua" si intende comunemente sia il composto chimico puro di formula  $H_2O$ , sia la miscela (liquida) formata dallo stesso, con altre sostanze disciolte in essa.

L'acqua in natura è tra i principali costituenti degli ecosistemi e, come si è già sottolineato, è alla base di tutte le forme di vita conosciute, uomo compreso; ad essa è dovuta anche la stessa origine della vita sul nostro pianeta; è inoltre indispensabile anche nell'uso civile, agricolo e industriale. L'uomo ne ha riconosciuto sin da tempi antichissimi l'importanza, identificandola come uno dei principali elementi costitutivi dell'universo, attribuendole un profondo valore simbolico, riscontrabile nelle principali religioni.

L'acqua copre il 70,8% della superficie della Terra e più o meno con la stessa percentuale è il maggior costituente del corpo umano.

### **I problemi di oggi**

Lo scarso rispetto delle falde acquifere, l'utilizzo di acqua potabile per usi diversi dal consumo umano e le perdite che purtroppo sono responsabili della dispersione nell'ambiente di quasi il 30% delle risorse idriche disponibili rendono l'uomo responsabile di gravi colpe. I comuni e le regioni cominciano ad essere sensibili rispetto a questi aspetti e con sempre maggiore attenzione nascono progetti finalizzati alla protezione dell'acqua da tutte le forme di sperpero e di cattivo uso.

Su questo fronte non si può non parlare delle gravi mancanze di acqua che tormentano le popolazioni africane: la scienza e la tecnologia, non sempre attente a utilizzare nelle applicazioni sociali i risultati della ricerca, finalmente si sono rese conto della necessità di studiare processi di potabilizzazione anche in forme e modelli "personal", capaci di rendere fruibili, con opportuni trattamenti di nanofiltrazione (si tratta di un processo di separazione a membrana utilizzato per il trattamento di liquidi, tra cui l'acqua, con una bassa percentuale di solidi sospesi), risorse acquifere inizial-

mente inadatte all'uso potabile. E' un settore che merita costante e continuo impegno in quanto su di esso si gioca non solo la qualità della vita ma la vita stessa di larghe fette di popolazione.

C'è infine il problema del monitoraggio: per proteggere e per correggere bisogna conoscere. I metodi analitici degli inquinanti in matrice acquosa sono stati messi a punto e pubblicati in forme diverse, praticamente in tutti i paesi sviluppati del mondo. C'è però bisogno di metodi alternativi capaci di fornire risposte in tempo reale, capaci di controllare sistemi automatici di correzione, capaci di indicare in tempo reale gli eventuali inconvenienti prodottisi in un impianto acquedottistico. La Scienza fa grandi progressi: la sensoristica e la biosensoristica ci vengono incontro. I test di tossicità integrale rappresentano in tale linea un'ulteriore opportunità in quanto fornendo una risposta completa ed in tempo reale ci affrancano, in una fase di urgenza, dalle analisi specifiche e puntuali che, richiedendo opportuni tempi di esecuzione, possono essere eseguite soltanto quando necessario.<sup>1</sup>

Anche l'aspetto energetico vede oggi l'acqua protagonista: l'era dell'idrogeno, la nuova forma pulita di energia ci obbliga a considerare l'acqua anche da questo punto di vista una risorsa preziosissima. Tra l'altro, l'impiego della luce solare (in presenza di un catalizzatore) come energia estrattiva apre ulteriori spazi da percorrere.

### **I due volti dell'acqua**

L'acqua è una sostanza preziosa, per sottolinearlo viene chiamata "oro blu"; eppure a volte può essere causa di gravi problemi: si pensi ai dissesti geologici, alle alluvioni, ma anche al danno che da essa può derivare ad alimenti e farmaci che possono divenire, se idratati oltre misura, sedi di colture ed attacco microbico. Molte reazioni chimiche richiedono l'ambiente acquoso per avvenire, al punto che, in ambiente anidro, bastano poche gocce di acqua per provocare fenomeni violenti ed esplosivi. Ma c'è un ulteriore aspetto che in questi ultimi anni è stato studiato mettendo a fuoco "il volto pericoloso" dell'acqua, il danno che essa può produrre ai materiali che costituiscono i Beni Culturali. In realtà i danni più importanti subiti dai materiali che costituiscono questi Beni non dipendono direttamente dalla capacità di penetrazione dell'acqua e dal conseguente indebolimento della struttura penetrata; derivano invece dalle sue capacità di vettore. I fluidi si muovono molto più facilmente dei solidi, e le soluzioni, in particolare, si aprono cammini impensati ed impensabili. I solidi disciolti divengono i veri responsabili del danno attraverso cicli dissoluzione – precipitazione – cristallizzazione che, ripetendosi, esaltano il processo di formazione delle

---

1. Metodi Analitici per l'Analisi delle Acque, Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche

croste saline capaci di provocare danni di grande rilevanza. Il microclima influenza in misura determinante questo processo e quindi il suo monitoraggio e controllo può fornire utili strumenti preventivi. Anche l'acqua del sottosuolo, risalendo capillarmente, trascina con sé quanto può sciogliere nel suo cammino. Quest'ultimo processo è stato per molti anni male interpretato mentre oggi possiamo dire di conoscerlo bene grazie ai progressi della ricerca scientifica, con l'applicazione di tecniche e studi avanzati e con apprezzabili capacità sperimentali.

### **Purezza dell'acqua**

L'acqua ultra pura consiste solo di molecole d'acqua in equilibrio con i suoi due ioni ( $H^+$ ,  $OH^-$ ) ed è oggi la sostanza più pura utilizzata in laboratorio. La sua resistenza è circa 10 volte maggiore di quella dell'acqua pura, 10 Mohm cm, ed impiegata quando fossero presenti, anche a livello di parti per miliardo o meno ancora, elementi o composti che potrebbero interagire con il campione precludendo l'affidabilità dei test.

Il fatto però che l'acqua sia un ottimo solvente ed anche il supporto di ogni forma di vita mette in pericolo la sua purezza. Sono 5 i tipi di impurezza che la minacciano: particelle sospese, composti inorganici, molecole organiche, gas disciolti, microrganismi e biomolecole associate. Per produrre acqua ultrapura si parte da acqua potabile e si sottopone ad una serie di purificazioni finalizzate alla rimozione degli inquinanti fino al residuo massimo di 1.5 ppb per i composti organici e meno di 1.0 ppb per gli altri elementi e ioni. Anche gli altri solventi comunemente usati in laboratorio possono arrivare a questi livelli di purezza mentre gli altri reagenti sono generalmente assai meno puri. Per i gas la presenza di inquinanti è a livelli ancor più bassi, circa 60 volte di meno.

L'acqua ultrapura deve essere conservata tale con accorgimenti che riguardano i contenitori, la circolazione, la continua sterilizzazione.

### **Acqua in bottiglia**

Il costo dell'acqua in bottiglia è astronomicamente elevato se confrontato con la media del costo per litro della comune acqua del rubinetto e se un tempo tale costo poteva parzialmente essere giustificato dalla certezza di disporre di acqua di qualità in confronto con l'incertezza e la variabilità dell'acqua municipale, tale giustificazione non può più essere considerata valida oggi vista l'elevata qualità dell'acqua che esce dai rubinetti delle nostre case. Se a questo si aggiunge l'impatto ambientale delle industrie che imbottigliano acqua e il fatto che la maggior parte dell'acqua imbottigliata è prodotta in bottiglie di plastica riciclata per non più del 25%, mentre il resto

finisce in discarica, l'impronta ecologica dei trasporti necessari per portare l'acqua alle città europee dai ghiacciai alpini dove essa sgorga, dinnanzi ad una richiesta che spesso viene fatta dal comune cittadino di come contribuire al salvataggio del nostro pianeta, il suggerimento di rivalutare nei consumi l'acqua dei nostri rubinetti risulta quasi ovvio.

### **Le guerre dell'acqua**

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. E' 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. Tutti gli alimenti contengono acqua in percentuale elevata; lo stesso corpo umano contiene grandi quantità d'acqua, la vita stessa dipende dall'acqua tanto che l'interesse per nuovi mondi e nuove terre è condizionato dalla presenza dell'acqua. Questo composto costituito da un atomo di ossigeno e due di idrogeno, caratterizzato da un tipo di legame particolare, nel quale la componente ionica, quella covalente e quella idrogeno coesistono, è in grado di interagire con l'ecosistema rispondendo alle sue precise esigenze. La sua quantità non sempre coincide con la sua disponibilità, proprio perché l'eccessiva reattività, che deriva dalla struttura risultante dal particolare tipo di legame, ne può condizionare il carattere libero interattivo. La ricchezza d'acqua non sempre significa disponibilità: in un terreno agricolo ad esempio si possono creare, a seguito di ripetuti interventi sbagliati da parte dell'uomo, condizioni assai negative ai fini della trasferibilità e del trasporto dell'acqua. Sono stati messi a punto test idonei propri e finalizzati a misurare non la quantità di acqua presente, ma il grado di disponibilità e quindi di sfruttamento da parte dell'uomo e della coltura scelta per il terreno. L'esperienza del cristallo di gesso, isolante, che messo a contatto del terreno continua a non condurre l'elettricità, proprio per l'incapacità del terreno di trasferire ad esso l'acqua, ben schematizza la situazione che si può presentare e che giustifica il fatto che non sempre le misure di quantità siano fedeli alle esigenze dei popoli. Oggi l'acqua disponibile è la causa di molte guerre. In alcuni Paesi africani certi provve-

dimenti destinati ad appropriarsi di fette sempre più rilevanti di questa preziosa sostanza a discapito dei Paesi confinanti hanno scatenato conflitti ai quali le divisioni politiche hanno impartito particolare crudeltà. Si pensi che sono stato invitato alcuni anni or sono ad un convegno dedicato ai Paesi in guerra a causa dell'acqua con lo scopo di dimostrare che con un'applicazione delle moderne tecnologie molti contrasti possono essere resi meno drammatici: erano presenti rappresentanti di ben 7 differenti Stati.

Lo stesso ruolo che l'acqua esercita sul nostro corpo, la cultura esercita sulla nostra anima e la nostra mente. 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. Ne risulta un quadro internazionale di paesi troppo ricchi e paesi troppo poveri: allora la globalizzazione, che potrebbe in senso positivo essere interpretata come messa a comune di risorse, trasferimento di tecnologie, condivisione di progresso, caduta di barriere, diviene invece occasione per discriminare e calpestare culture e tradizioni diverse dalle nostre, e per affermare potenza e dominio. La comunità culturale è certamente più sensibile alle discriminazioni e all'equa ripartizione delle risorse di quanto non lo sia la comunità dell'acqua, intesa come espressione della comunità economica. La pace che da questa viene spesso compromessa può essere salvata da quella: in questo senso con convegni, incontri, appelli impegniamoci affinché la pace prevalga ed affinché risorse tanto preziose come l'acqua o la cultura siano poste a disposizione di tutti.

### **Inquinamento delle acque**

Definire il concetto di inquinamento delle acque si presenta compito complesso in quanto l'estrema variabilità delle situazioni rende difficile stabilire le condizioni di equilibrio naturale. Si possono distinguere, ad esempio, le acque superficiali da quelle sotterranee, le acque correnti da quelle lacustri, le acque dolci da quelle marine e salmastre. Ogni corpo idrico si caratterizza pertanto per particolari caratteristiche idrogeologiche e specifici parametri chimici, fisici e biologici delle acque. Queste condizioni di eterogeneità degli ambienti acquatici rappresentano la ragione per cui generalmente più che la definizione del massimo discostamento accettato dal quadro della normalità si fa riferimento, in relazione allo stato di un corpo idrico, ai possibili impieghi delle acque per i quali sono richiesti specifici standard qualitativi. Valutare il destino di un inquinante nelle acque è molto

complesso in quanto occorre considerare, tra l'altro, il tipo di inquinamento (puntiforme o diffuso), le caratteristiche del corpo idrico (idrogeologiche, fisiche, chimiche e biologiche), la natura e la quantità delle sostanze introdotte. Il composto inquinante potrà subire destini differenti attraverso i processi di trasporto, la diffusione negli altri comparti e la trasformazione ad opera di fattori biotici e abiotici.

### **a) tipologie di inquinamento**

L'aumento di agenti inquinanti causato dallo sviluppo del settore agrozootecnico, industriale e dall'incremento demografico ha avuto molte ripercussioni sulle acque superficiali ma anche su quelle sotterranee. Le acque superficiali, costituite da fiumi e torrenti hanno risentito di questi fenomeni perdendo in parte o completamente la capacità di autodepurarsi, con conseguente alterazione degli equilibri, e in casi estremi, con la distruzione della vita acquatica.

L'inquinamento delle acque può assumere forme diverse e si può classificare in inquinamento:

*biodegradabile*: dovuto a sostanze organiche, come composti azotati e fosfati, provenienti essenzialmente da scarichi domestici, agricoli, zootecnici. In un corso d'acqua queste sostanze vengono degradate dall'azione dei batteri e trasformate in sostanze più semplici in grado di rientrare nel ciclo biologico. Spesso accade però che il carico delle sostanze organiche presenti negli scarichi è troppo elevato o troppo frequente. La naturale capacità autodepurante del fiume quindi non riesce a riportare la qualità dell'acqua allo stato originale.

*non biodegradabili*: dovuto a sostanze tossiche e ad alta persistenza (come idrocarburi, anticrittogamici, diserbanti, fenoli, cianuri, cromati e metalli pesanti), alcune delle quali responsabili del fenomeno del bioaccumulo. Si tratta di sostanze derivanti per lo più da lavorazioni industriali, specialmente chimiche, galvaniche, metallurgiche, siderurgiche e concerie.

### **b) fonti di inquinamento**

Le principali fonti d'inquinamento per le acque superficiali sono:

- scarichi urbani
- scarichi industriali
- scarichi derivanti da attività agricole
- rifiuti urbani e speciali smaltiti in modo non idoneo
- deposizione acida (acidificazione)

***b<sub>1</sub> - scarichi urbani***

Con scarichi urbani si fa riferimento innanzitutto ai residui derivanti dall'attività domestiche e dal dilavamento di strutture urbane. Tra questi tipi di residui si distinguono quelli alimentari e metabolici (feci, urina) e quelli non metabolici (saponi, detersivi, pesticidi, terriccio). Residui che generano inquinamento delle acque derivano anche dal dilavamento delle strutture urbane che contribuisce a far scivolare negli scarichi urbani i residui contaminati presenti sui tetti, sulle facciate degli edifici, sulle strade. La presenza di contaminazione sulle superfici urbane dipende principalmente dalle emissioni aeriformi civili, industriali e degli autoveicoli, dai pesticidi, frammenti vegetali, polveri e da altri componenti presenti nei corpi idrici superficiali.

***b<sub>2</sub> - scarichi industriali***

Si fa riferimento in questo caso ai residui derivanti dalle attività industriali dove l'acqua viene utilizzata per svariati processi quali produzione e trasporto di merci, lavaggio di prodotti base, lavaggio di contenitori, di apparecchiature, raffreddamento. Tra le tipologie di industrie maggiormente responsabili della produzione di acque reflue inquinanti abbiamo: concerie, cartiere, cementifici, tintorie, distillerie e birrerie, macelli, caseifici, industrie chimiche, petrolchimiche e farmaceutiche, galvaniche, metallurgiche e meccaniche, tessili, minerarie, e conserviere. Da questo elenco si capisce l'estrema varietà delle tipologie industriali responsabili di inquinamento di acque ad ognuna delle quali corrispondono altrettanti fattori inquinanti che vengono immessi in acqua.

***b<sub>3</sub> - scarichi derivanti da attività agricole***

Per le attività agricole ci si riferisce all'inquinamento provocato dalla produzione di vegetali e dalla zootecnica. La produzione di vegetali comporta un inquinamento dovuto alla penetrazione nel suolo di fertilizzanti, pesticidi, e fitofarmaci. Per quanto riguarda la zootecnica ci si riferisce a residui metabolici provenienti dall'allevamento di animali quali equini, bovini, suini, caprini e polli.

***b<sub>4</sub> - rifiuti urbani e speciali smaltimenti in modo non idoneo***

Un esempio di smaltimento non idoneo può essere rappresentato da discariche non a norma; questo potrebbe comportare percolazioni di sostanze inquinanti in grado di raggiungere i corsi d'acqua limitrofi. Le sostanze di contaminazione delle acque da parte dei rifiuti sono causate solitamente da sostanze di sintesi utilizzate nei cicli produttivi (generalmente solventi).

La tabella seguente riassume le cause dell'inquinamento:

**Tabella 1:** fonti di inquinamento

<i>Scarichi urbani</i>	
<b>Attività</b>	<b>Tipo di inquinante</b>
Attività domestiche	Residui alimentari e metabolici
	Residui non metabolici
Dilavamento strutture urbane	Residui contaminanti presenti nelle strutture urbane
<i>Scarichi industriali</i>	
<b>Attività</b>	<b>Tipo di inquinante</b>
Attività industriali	Residui derivanti dalle attività industriali
<i>Scarichi derivanti dalle attività agricole</i>	
<b>Attività</b>	<b>Tipo di inquinante</b>
Produzione di vegetali	Fertilizzanti, pesticidi, fitofarmaci e diserbanti
Zootecnica	Residui metab. provenienti da allevamento
<i>Rifiuti urbani e speciali</i>	
<b>Attività</b>	<b>Tipo di inquinante</b>
Discariche non idonee	Percolato
<i>Deposizioni acide</i>	
Pioggia acida	Inquinanti rilasciati in atmosfera

#### **f) Legislazione sulle acque e in particolare sulle acque superficiali**

La legislazione attuale, con riferimento alle acque superficiali e sotterranee, è costituita dal decreto legislativo n° 152 dell'11 maggio 1999. Il suo testo aggiornato è il seguente: «Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole» [4]. Questa legge ha abrogato completamente la precedente legge sull'acqua, la legge 391/1976 cosiddetta "Legge Merli".

Quest'ultima si limitava a regolamentare per lo più gli scarichi definendone i limiti, mentre il nuovo testo si prefissa i seguenti obiettivi:

- prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici inquinanti; conseguire il miglioramento dello stato delle acque e proteggere adeguatamente quelle destinate ad usi particolari (es. acque potabili, acque di balneazione, acque idonee alla vita dei pesci);

- perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili; mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici e anche la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Il decreto individua obiettivi di qualità per le acque a specifica destinazione funzionale, distinte in: acque dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile, acque destinate alla balneazione, acque dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci, acque destinate alla vita dei molluschi. Individua anche obiettivi minimi di qualità ambientale per i corpi idrici significativi definiti in funzione della loro capacità di mantenere i processi naturali di autodepurazione. Riguardo alle acque superficiali questo decreto definisce i criteri per individuare i corpi idrici significativi e per definirne lo stato di qualità ambientale. Quest'ultimo (suddiviso in cinque classi dallo stato elevato allo stato pessimo) è definito sulla base dello stato ecologico e dello stato chimico. Lo stato chimico dipende dalla presenza di sostanze pericolose riportate nella seguente tabella:

**Tabella 2:** Principali inquinanti delle acque superficiali

INORGANICI (disciolti)	ORGANICI (sul tal quale)	
Cadmio	aldrin	esaclorobutadiene
Cromo totale	dieldrin	1,2 dicloroetano
Mercurio	endrin	tricloroetilene
Nichel	isodrin	triclorobenzene
Piombo	DDT	cloroformio
Rame	esaclorobenzene	tetracloruro di carbonio
Zinco	esaclorocicloesano	percloroo etilene
		pentaclorofenolo

Il decreto fornisce inoltre tutte le disposizioni necessarie per portare avanti il monitoraggio, da distinguere in due fasi: una prima conoscitiva che ha come scopo la classificazione delle acque ed una seconda, di regime, in cui il monitoraggio viene effettuato affinché si mantenga costante l'obiettivo di qualità "buono".

Per la classificazione delle acque superficiali è anche necessario determinare i seguenti parametri definiti "macrodescrittori":

**Tabella 3:** Parametri base per la classificazione

Portata (m <sup>3</sup> /s)	Ossigeno disciolto (mg/L)
pH	BOD5 (O <sub>2</sub> mg/L)
Solidi sospesi (mg/L)	COD (O <sub>2</sub> mg/L)
Temperatura (°C)	Ortofosfato (P mg/L)
Conducibilità (µS/cm)	Fosforo totale (P mg/L)
Durezza (mg/7L di CaCO <sub>3</sub> )	Cloruro (Cl <sup>-</sup> mg/L)
Azoto totale (N mg/L)	Solfato (mg/L)
Azoto ammoniacale (N mg/L)	Escherichina coli (UFC/100 mL)
Azoto nitrico (N mg/L)	

Si possono trovare dei criteri generali, come già detto, per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e per la classificazione delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile, alla vita dei pesci salmonicoli e ciprinicoli, alla vita dei molluschi. Secondo la disciplina prevista dal D. Lgs. 152/99, tutti gli scarichi devono rispettare i valori limite di emissione fissati in funzione degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e comunque devono rispettare i valori fissati nell'allegato 5 del suddetto D. Lgs.

Per un progressivo interessamento nei suoi confronti da parte di chimici analitici, igienisti sanitari ed epidemiologi sta assumendo un crescente interesse la problematica della contaminazione dell'acqua potabile da inquinanti che, introdotti nella catena biologica da processi industriali o da esigenze agricole, possono avere un grave impatto con la salute e l'igiene pubblici.

In considerazione del tipo di argomento è chiaro che non può trattarsi di novità: ciò che appare invece rinnovato è il metodo di approccio. Il salto di qualità è rappresentato dal rigetto di criteri meramente statistici basati su indici di rischio talora di dubbio significato come numero di scarichi industriali e % di acqua potabile clorata. Così da parte degli epidemiologi si stanno tenendo classificazioni delle aree geografiche basate sulla frequenza di alcune malattie e sui tassi di mortalità, da parte degli igienisti sanitari si correlano tali ipotesi di classificazione con la distribuzione dei vari tipi di industria e con la frequenza dell'impiego di particolari prodotti, da parte dei chimici analitici si interpretano i processi chimici che portano attraverso trasformazioni di specie al trasferimento nell'acqua potabile di tali inquinanti.

Recenti studi hanno tentato di applicare questa metodologia alle malattie tumorali. Una valutazione quantitativa dell'impatto degli inquinanti per lo più organici, possibili responsabili di questo male è assai difficile per il cre-

scente numero di composti impiegati ed isolati nell'acqua potabile attraverso tecniche sempre più sensibili, in particolare con la gas massa. Nel 1974 l'EPA indicava in 187 i composti organici ritrovati nell'acqua potabile americana; nel 1979 questi erano più di 700; oggi sono oltre 2000.

Questi dati unitamente agli altri che di quei 700 composti oltre 40 sono sospetti cancerogeni e 3 - cloruro di vinile, benzene, etereclorometilico - certamente correlate allo svilupparsi nell'uomo di forme tumorali; i concentrati organici isolati dall'acqua potabile mediante osmosi inversa, cromatografia su colonna, produzioni di ghiaccio secco, sono mutagenici in parecchi sistemi in vitro; fanno comprendere l'importanza di ricerche di questo tipo.

A fini epidemiologici gli inquinanti organici vengono divisi in due gruppi, industriali ed agricolo sanitari: i primi comprendono solventi, intermedi di reazione, prodotti della interazione del cloro della disinfezione con i precursori organici, quali acidi umici e con bromuro, producendosi bromo libero assai reattivo.

Finora l'attenzione è stata soprattutto rivolta a questi ultimi. I trialogenometani, specialmente il cloroformio sono presenti in quasi tutte le acque disinfestate con cloro; la loro concentrazione dipende dalla concentrazione del precursore, da quella del cloro aggiunto, dalla temperatura, dal pH, dal tempo di clorazione. I risultati di recenti ricerche del tipo descritto condotte negli U.S.A. hanno concluso sull'elevato rischio di tumori del colon, del retto, della vescica dei cittadini serviti da sorgenti superficiali perché sono queste le più ricche di cloroformio, trialogenometani, composti alogenati non volatili.

Sorgenti profonde non clorate, anche se occasionalmente inquinate da scarichi industriali, risultano più sicure. Ad un livello intermedio di pericolosità si collocano le sorgenti profonde clorate. In tutto il mondo sono in corso ricerche di approfondimento e conferma di questi dati e, soprattutto, di indagine e classificazione dal punto di vista qui discusso degli inquinanti del primo tipo, quelli industriali.

## LEGGENDE ACQUATICHE

### Breve rassegna sulle teorie pseudoscientifiche legate all'acqua

Silvano Fuso

Istituto d'Istruzione Superiore "Primo Levi", Ronco Scrivia (GE)  
e CICAP (Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni sulle Pseudoscienze)  
e-mail: silvanofuso@tin.it

#### **Riassunto**

*Indispensabile per la sopravvivenza biologica e sociale dell'uomo, l'acqua ha alimentato fin dall'antichità fantasiose mitologie. Anche in campo scientifico, nonostante l'evolversi delle conoscenze sulla sua struttura e sulle sue proprietà, non sono mancati episodi devianti che hanno creato vere e proprie leggende legate a questo composto. Nonostante la loro totale infondatezza, esse continuano talvolta e essere riproposte in ambito medico e commerciale e trovano ancora oggi accaniti sostenitori.*

#### **Abstract**

*Essential for biological and social survival of the man, water originated since ancient times several fanciful mythologies. Also in science, in spite of the evolution of knowledge about its structure and properties, there have been deviants episodes who have created real legends associated with this compound. Despite their total groundlessness, sometimes they continue to be proposed in the medical and commercial field and they have yet fervent supporters.*

#### **Acqua tra mito, scienza e pseudoscienza**

Fin dai tempi più antichi l'uomo si rese conto dell'importanza che l'acqua rivestiva per la propria sopravvivenza e per quella di tutti gli esseri viventi. Questa consapevolezza alimentò ben presto la creazione di miti che, in mancanza di conoscenze scientifiche, rappresentavano per l'uomo antico un primo tentativo di interpretazione della realtà.

Per i Greci tutte le acque erano riconducibili a Oceano (*Okeanòs*), figlio maggiore di Urano, dio del cielo, e di Gea, dea della Terra. In origine Oceano era considerato un grande fiume che circondava la Terra e originava tutti i corsi d'acqua. La progressiva antropomorfizzazione degli dei identificò in Poseidone la divinità acquatica principale, ma numerosissime furono le altre divinità legate all'acqua: Glauco, Nereo, Ioreo, Proteo, Tritone.

Al pensiero mitico subentrò quello filosofico e Talete di Mileto (624-548 a.C.) identificò nell'acqua il principio di tutte le cose. Concezioni analoghe si ritrovano presso altre culture: in Cina l'acqua corrisponde al caos primordiale da cui si è originato il tutto; in Polinesia l'acqua è considerata la materia prima fondamentale; per gli indiani Yuki (Canada) in principio tutto era acqua e dalla schiuma da essa generata ebbe origine l'intera creazione. Anche l'idea di un diluvio purificatore si ritrova non solo nella tradizione giudaico-cristiana, ma anche in molte altre culture: greca (mito di Deucalione e Pirra), indù (mito di Manu), babilonese (mito di Gilgamesh), ecc.

Il carattere mitico dell'acqua spiega anche il suo frequente uso nei riti magico-religiosi: dal battesimo cristiano, al potere purificatore dell'acqua del Gange degli induisti fino alle abluzioni rituali dell'islam.

Considerata ancora uno dei quattro elementi della tradizione ellenica, l'acqua venne apprezzata dagli alchimisti soprattutto per le sue eccellenti proprietà di solvente. I primi tentativi di approccio scientifico nei confronti dell'acqua si ebbero nel Settecento, in corrispondenza con la nascita della chimica moderna. I contributi di Henry Cavendish (1731-1810) e soprattutto di Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) consentirono di comprendere che l'acqua non era affatto un elemento nel senso moderno del termine, ma era al contrario costituita dalla combinazione di due elementi: idrogeno e ossigeno. Attualmente si conoscono moltissimi aspetti chimico-fisici dell'acqua, anche se alcuni suoi particolari comportamenti la rendono ancora estremamente interessante dal punto di vista scientifico.

A fianco a ricerche e studi serissimi, intorno all'acqua sono tuttavia nate, anche in epoca recente, bizzarre teorie pseudoscientifiche che, a una analisi approfondita, risultano non molto diverse dalle mitologie che essa ha alimentato fin dall'antichità. Nonostante la loro apparente scientificità, infatti, queste teorie non reggono di fronte a una analisi rigorosa e ad attenti controlli sperimentali.

Lo studio di tali teorie è sicuramente interessante per gli studiosi di storia e sociologia della scienza. Quello che invece preoccupa è il fatto che molte di esse, nonostante la loro ampiamente dimostrata inconsistenza scientifica, vengano tuttora utilizzate per sostenere improbabili discipline mediche o per commercializzare dispositivi tecnologici tanto costosi, quanto inefficaci. Nel presente articolo vengono analizzate alcune di queste bizzarre teorie.

### **La poliacqua[1]**

Nel 1962, sul periodico scientifico sovietico *Kolloid Zurnal*, apparve un articolo dal titolo "Cambiamento nella struttura dell'acqua durante la condensazione in capillari". Ne era autore Nikolay Fedjakin, uno sconosciuto fisico che lavorava all'Istituto tecnologico di Kostroma, una cittadina

a circa 300 km da Mosca. Nell'articolo Fedjakin riportava gli insoliti risultati di un suo esperimento. L'acqua contenuta in un capillare chiuso, evaporando e successivamente condensando, originava, molto lentamente, una colonna di liquido nella parte superiore del capillare. Sorprendentemente il liquido aveva una densità superiore a quella dell'acqua originaria.

I risultati di questa insolita ricerca suscitarono vasto interesse presso il prestigioso Istituto di Chimica delle Superfici dell'Accademia delle Scienze di Mosca. In particolare l'eminente chimico Boris Derjagin, allora direttore dell'Istituto di Chimica-Fisica, si interessò attivamente al problema.

Derjagin perfezionò il metodo di Fedjakin per ottenere «l'acqua anomala» (così fu chiamata inizialmente) in tempi più brevi. Inoltre sostituì i capillari di vetro con capillari di quarzo, onde evitare possibili contaminazioni. Una gran mole di lavoro venne rivolta alla determinazione delle proprietà fisiche dell'acqua anomala. La sua viscosità risultava essere 15 volte superiore rispetto a quella dell'acqua normale. Il suo coefficiente di dilatazione termica era circa una volta e mezza più grande. L'acqua anomala continuava a essere liquida fino a circa 250°C e solidificava soltanto a temperature inferiori a -30°C. Infine l'acqua anomala presentava una densità di 1.4 g/cm<sup>3</sup>.

In seguito ad alcune conferenze tenute da Derjagin, l'interesse per l'acqua anomala si diffuse in tutto il mondo.

La fase iniziale delle ricerche sull'acqua anomala venne rivolta principalmente alla determinazione delle sue insolite proprietà, senza che fossero formulate particolari teorie sulla sua struttura. Soltanto il 27 giugno 1969, sulla prestigiosa rivista americana *Science*, venne pubblicato un articolo dal titolo "Poliwater" che formulava precise ipotesi sulla sua struttura. Principale autore del lavoro era lo spettroscopista americano Ellis R. Lippincot, professore di chimica all'Università del Maryland. Lippincot e collaboratori sostenevano che l'acqua anomala fosse una forma polimerica dell'acqua, poliacqua appunto. Le singole molecole d'acqua, unendosi insieme, avrebbero formato lunghe catene o anelli esagonali, oppure le due forme contemporaneamente. Questo tipo di ipotesi strutturale avrebbe razionalizzato tutte le strane proprietà del nuovo fluido. L'articolo di Lippincot ebbe una risonanza enorme e non solo nel mondo scientifico. Quotidiani e riviste fecero a gara per diffondere presso il grande pubblico notizie, molto spesso fuorvianti e fantasiose, relative alla nuova straordinaria scoperta scientifica.

Fino al 1969 le ricerche sulla poliacqua furono prevalentemente sperimentali. Soltanto intorno al 1970 entrarono in scena gli scienziati teorici. I loro calcoli sembravano confermare la possibilità dell'esistenza della poliacqua.

Fin dall'inizio della vicenda della poliacqua emerse, occasionalmente, il dubbio che l'acqua anomala fosse frutto di qualche tipo di contaminazione. Tale ipotesi, tuttavia, venne costantemente rifiutata dalla maggioranza del mondo scientifico. Era molto più eccitante credere di aver scoperto uno straordinario nuovo composto, piuttosto che ammettere di aver ottenuto soltanto "acqua sporca". Il primo lavoro che sosteneva, su serie e concrete basi scientifiche, la tesi della contaminazione fu pubblicato il 27 marzo 1970 su *Science*. Esso riportava i risultati di un accurato studio analitico, condotto da un gruppo di ricerca diretto da Dennis L. Rousseau. I risultati sostenevano che i campioni di poliacqua contenevano dal 20 al 60% di sodio, il 3% di calcio e potassio, il 15% di cloruri e solfuri, inoltre erano presenti tracce di molti altri elementi, il tutto ...in pochissima acqua. Poco tempo dopo venne organizzato, dall'American Chemical Society, il primo congresso internazionale dedicato alla poliacqua, che si svolse presso la Lehigh University, in Pennsylvania. In tale occasione, oltre ai risultati di Rousseau, ci furono due clamorose conversioni. Ellis Lippincot, padre della teoria polimerica, comunicò di essere riuscito a riprodurre uno spettro identico a quello della poliacqua miscelando vari acidi organici. Leland Allen, uno dei teorici che credevano di aver dimostrato l'effettiva possibilità di esistenza di catene polimeriche dell'acqua, affermò che i nuovi calcoli da lui condotti dimostravano, al contrario, l'instabilità di tali strutture.

In seguito al congresso di Lehigh si assistette nuovamente a un proliferare di titoli giornalistici sensazionalistici, questa volta a favore della non esistenza della poliacqua. Contemporaneamente venivano raccolti altri dati che dimostravano che alcuni campioni di poliacqua erano in realtà costituiti da una sospensione colloidale di silice. Le cause della contaminazione potevano essere molteplici. Qualunque fosse l'origine delle contaminazioni, intorno al 1971-72, una cosa era ormai certa e condivisa da gran parte del mondo scientifico: la poliacqua non esisteva. Per usare una colorita espressione utilizzata all'epoca da uno dei protagonisti, «la vicenda della poliacqua è stata una poliballa» in cui gran parte della comunità scientifica ha ingenuamente creduto per circa un decennio. Il 17 agosto 1973, lo stesso Derjagin, principale protagonista di tutta la storia, su un articolo pubblicato su *Nature*, dovette ammettere il proprio abbaglio, sentenziando, caso mai ce ne fosse ancora bisogno, la fine della poliacqua.

### **La memoria dell'acqua[1]**

Jacques Benveniste (1935-2004) fu direttore di ricerca all'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) di Clamart e successivamente capo dell'unità di immunologia. Fino al 1988 fu un ricerca-

tore serio e stimato ed ebbe al suo attivo oltre 300 pubblicazioni, alcune delle quali spesso citate in letteratura scientifica. La sua fama, tuttavia, si diffuse in tutto il mondo nel 1988 in seguito alla pubblicazione di un articolo sulla prestigiosa rivista *Nature*. L'articolo si intitolava "Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE"[2] e portava la firma di ben 13 autori (6 francesi, 3 israeliani, 2 canadesi e 2 italiani). Coordinatore del gruppo di ricerca era proprio Jacques Benveniste.

L'articolo riportava i risultati di uno studio effettuato su una particolare reazione biologica chiamata "degranolazione dei basofili". I basofili sono un particolare tipo di globuli bianchi, presenti in piccola percentuale nel sangue, che svolgono un ruolo importante nello sviluppo delle allergie. Quando i basofili vengono a contatto con anticorpi (prodotti dalla presenza di un allergene) essi liberano dai loro granuli intercellulari (da cui il nome di degranolazione) determinati mediatori chimici (la principale è l'istamina) responsabili delle manifestazioni allergiche.

L'articolo di *Nature* riportava i risultati di esperimenti in cui i basofili venivano posti a contatto con soluzioni, di diversa concentrazione, di particolari anticorpi (detti anti IgE, ovvero anti immunoglobuline E). Il risultato clamoroso riportato nell'articolo era il seguente: la reazione di degranolazione continuava a verificarsi anche quando la soluzione veniva fortemente diluita fino al punto di non contenere più neanche una minima traccia di anticorpi.

Per spiegare il persistere della reazione di degranolazione da loro osservata a tali diluizioni, Benveniste e collaboratori azzardarono allora un'ipotesi rivoluzionaria. La presenza degli anticorpi nella soluzione produrrebbe delle modificazioni nella struttura dell'acqua. Tali modificazioni strutturali permarrrebbero nell'acqua anche quando, in seguito a ripetute diluizioni, ogni traccia di anticorpo venisse eliminata. In altre parole l'acqua manterrebbe una "memoria" delle sostanze che sono state preventivamente disciolte in essa, anche in seguito alla eliminazione di queste ultime per successive diluizioni. Tale ipotesi, se confermata, avrebbe rivoluzionato le conoscenze fisiche e chimiche.

Il contenuto dell'articolo di Benveniste e del suo gruppo era talmente clamoroso che la rivista *Nature*, prima di pubblicarlo, lo sottopose all'esame di numerosi referees (l'articolo arrivò a *Nature* il 24 agosto 1987 e venne accettato solo in data 13 giugno 1988). Alla fine decise di pubblicarlo. Per non venir meno al proprio prestigio e serietà, tuttavia, *Nature* fece precedere l'articolo da un'introduzione dal titolo significativo "Quando credere all'incredibile"[3] in cui si preannunciava un'indagine indipendente per verificare l'attendibilità dei risultati.

Nonostante le riserve con cui *Nature* aveva pubblicato l'articolo, la notizia dell'«acqua con la memoria» si diffuse a macchia d'olio, superò ben presto il ristretto ambito scientifico e raggiunse il grosso pubblico. Pochi giorni dopo la pubblicazione dell'articolo, verso i primi di luglio dell'88, sui quotidiani di tutto il mondo apparvero articoli sull'acqua con la memoria. Tutto questo clamore era dovuto al fatto che la presunta memoria dell'acqua avrebbe fornito una giustificazione teorica all'omeopatia, medicina alternativa estremamente diffusa e popolare, nonostante la totale mancanza di prove che ne dimostrino l'efficacia[4].

Senza lasciarsi influenzare dal clamore suscitato, la redazione di *Nature* nominò una commissione di indagine che, come preannunciato, avrebbe dovuto verificare la riproducibilità degli esperimenti di Benveniste e collaboratori. La commissione era composta da tre persone: John Maddox, direttore di *Nature*, Walter W. Steward, ricercatore dell'Istituto Americano della Sanità ed esperto in frodi scientifiche e James Randi. Quest'ultimo è un personaggio singolare. Illusionista di professione, è divenuto celebre in tutto il mondo per le sue indagini nel campo del presunto paranormale. Specializzatosi nello scoprire trucchi e inganni, i suoi meriti sono stati ampiamente riconosciuti dal mondo scientifico. La commissione di *Nature* trascorse una settimana presso il laboratorio del Prof. Benveniste immediatamente dopo la pubblicazione dell'articolo. Il resoconto del lavoro svolto e le conclusioni tratte vennero pubblicate dalla stessa *Nature* in data 28 luglio 1988 in un rapporto dal titolo significativo: "High-dilution experiments: a delusion"[5]. La lettura del rapporto è piuttosto interessante e divertente. Innanzi tutto i membri della commissione vennero a conoscenza del fatto che due dei collaboratori di Benveniste erano stipendiati grazie a un contratto stipulato tra l'Institut National de la Santé e de le Recherche Médicale e la casa farmaceutica Boiron et C., specializzata in prodotti omeopatici. Era una scoperta sospetta, ma di per sé non determinante. La commissione esaminò accuratamente gli appunti di laboratorio e cercò di ripetere gli esperimenti più significativi con procedure "a doppio cieco". I risultati di Benveniste non furono riprodotti. La commissione scoprì che negli esperimenti di Benveniste e collaboratori venivano considerati significativi soltanto quei risultati che confermavano le aspettative, mentre erano stati eliminati tutti quei risultati in disaccordo con esse. Tenendo conto di tutti i risultati (positivi e negativi) si otteneva un andamento in perfetto accordo con le previsioni statistiche. Di conseguenza non esisteva nessuna evidenza che dimostrasse la presunta memoria dell'acqua. Piuttosto energiche furono le proteste di Benveniste[6].

In tutta la vicenda appare quasi con certezza che la buona fede di Benveniste fosse autentica. Egli può essere soltanto accusato di leggerezza, superficialità e ingenuità nell'accettare per buoni i risultati dei suoi collaboratori.

Nonostante la secca smentita della commissione di *Nature*, Benveniste non si diede per vinto e continuò fino alla morte a essere un acceso sostenitore della memoria dell'acqua. Per questa sua ostinatezza nel sostenere una teoria fasulla, Benveniste si aggiudicò una prima volta, nel 1991, il premio Ig-Nobel, il premio satirico e irriverente che corrisponde a una sorta di premio Nobel all'incontrario assegnato alle ricerche più buffe e inconcludenti. Non ancora soddisfatto, Benveniste arrivò all'assurdo quando, negli anni seguenti, sostenne che le informazioni memorizzate dall'acqua potevano essere addirittura trasmesse attraverso cavi telefonici e quindi via Internet[7]. Per questo motivo, nel 1998, gli venne assegnato per la seconda volta il premio Ig-Nobel. Benveniste è l'unica persona al mondo ad aver vinto per ben due questo poco invidiabile riconoscimento.

Più recentemente, sulla scia di Benveniste, altri quattro ricercatori, R. Conte, H. Berliocchi, Y. Lasne e G. Vernot, hanno pubblicato un libro dal titolo *Théorie des hautes dilutions et aspects expérimentaux* (Ed. Polytechnica, Paris 1996). In esso, per giustificare la presunta memoria dell'acqua, vengono formulate alcune singolari teorie secondo le quali le soluzioni omeopatiche emetterebbero "radiazioni beta e onde neutroniche" e conterrebbero "iperprotoni e buchi bianchi". Chiunque abbia un minimo di conoscenze chimico-fisiche non può che sorridere di fronte alle balzane teorie degli autori. A proposito del libro, il Prof. Claude Hennion, dell'Ecole Supérieure de Physique, ha scritto:

Si tratta di un libro destinato a confondere il lettore, visto che per uno scienziato è totalmente incomprensibile. O si tratta di uno scherzo, o i quattro ricercatori sono completamente pazzi, ma se si prendono sul serio la cosa è drammatica[8].

Teorie simili a quelle di Benveniste, infine, sono state di recente sostenute anche dal premio Nobel per la medicina Luc Montagnier[9]. Il fatto che siano sostenute da un premio Nobel non le rende però più credibili e le reazioni della comunità scientifica non si sono fatte attendere.

### **I cristalli di Masaru Emoto**

Masaru Emoto[10] è un sedicente scienziato giapponese che sostiene di aver scoperto che l'acqua memorizza ciò che le accade intorno. In pratica sostiene che facendo "ascoltare" musica e parole all'acqua, essa, una volta congelata, darebbe origine a cristalli di forma differente. Naturalmente la buona musica e le parole dolci originano cristalli belli e simmetrici. La

musica brutta (evidentemente secondo i gusti di Emoto), quale la “Heavy Metal”, e le parole “cattive” generano cristalli informi e disordinati.

Le teorie di Masaru Emoto sono semplicemente una fantasiosa variazione sul tema della memoria dell’acqua. Al pari di quest’ultima si tratta di una teoria priva di fondamento scientifico. È significativo che Masaru Emoto abbia sempre rifiutato di sottoporre i suoi esperimenti a un controllo in doppio cieco. Nel 2003 la James Randi Educational Foundation[11] ha lanciato a Masaru Emoto la famosa sfida del milione di dollari per chiunque dimostri sotto controllo l’esistenza di fenomeni paranormali o comunque anomali. Emoto, naturalmente, non l’ha mai accettata.

### **La magnetizzazione dell’acqua**

Da diversi anni si trovano in commercio dispositivi magnetici che ridurrebbero la formazione del calcare nell’acqua: si tratta di una questione piuttosto controversa. Esistono diversi dispositivi sia per uso domestico che industriale. Alcuni consistono semplicemente in un magnete permanente da applicare all’esterno delle tubature. In altri casi si tratta di dispositivi più complessi formati da un condotto, entro il quale circola l’acqua, e il campo magnetico viene prodotto da un elettromagnete.

Il presunto effetto del campo magnetico è stato studiato da vari autori e in letteratura scientifica si trovano numerosi articoli dedicati all’argomento. Coloro che sostengono l’esistenza di un effetto reale, lo giustificano ipotizzando che la presenza del campo magnetico modificherebbe la forma in cui cristallizza il carbonato di calcio. Il carbonato di calcio, responsabile delle incrostazioni, può infatti precipitare principalmente in due diverse forme: *calcite* e *aragonite*. Secondo alcuni esisterebbe anche una forma *amorfa*: in realtà sembra però trattarsi di una forma criptocristallina formata cioè da cristalli microscopici (esiste infine un’ulteriore fase chiamata *laterite*, metastabile). La calcite e il carbonato “amorfo” possono facilmente formare depositi aderenti alle tubature a causa della forma e delle dimensioni delle loro particelle. L’aragonite invece (che forma cristalli cosiddetti *aciculari*) aderirebbe meno e non darebbe quindi origine a incrostazioni. Da qui la necessità di far precipitare il carbonato di calcio in questa forma cristallina con qualche opportuno sistema fisico. Occorre tuttavia osservare che altri autori non hanno rilevato alcuna differenza nella formazione di incrostazioni in assenza o in presenza di campo magnetico. Altri ricercatori, infine, ammettono l’esistenza del fenomeno, ma sostengono la sua irriproducibilità, poiché dipenderebbe da molti fattori difficilmente valutabili.

Attualmente esistono studi che sembrano effettivamente a ver dimostrato che l’applicazione di un campo magnetico (statico o variabile) possa influenzare il tipo di cristallizzazione del carbonato di calcio. Tuttavia non si

è ancora arrivati a conclusioni univoche. Il problema principale resta la scarsa riproducibilità del fenomeno, dovuta ai molti fattori che influenzano il processo di cristallizzazione. A livello di laboratorio sembra oramai che la riproducibilità del fenomeno sia stata abbastanza dimostrata. Non è però detto che il fenomeno sia immediatamente trasferibile a livello applicativo, come i dispositivi commerciali affermano invece con certezza.

In definitiva si tratta di un'interessante problema scientifico che non ha ancora ricevuto una risposta definitiva[12].

### **L'acqua vitalizzata**

Se sui dispositivi magnetici anticalcare è lecito avanzare giudizi cauti, esistono altri dispositivi commerciale che, senza ombra di dubbio, non hanno la minima fondatezza scientifica.

L'acqua possiede fin dalle sue origini una particolare forza che a seguito degli influssi ambientali e del trasporto in condotte forzate può andare perduta. Attraverso il contatto con *l'acqua d'informazione secondo Johann Grander* si creano le condizioni in grado di ristabilire l'ordine e la forza primigenia; l'acqua in tal modo si rigenera e rafforza la sua capacità depurativa

Così inizia, ad esempio, un opuscolo illustrativo della ditta U.V.O. Vertriebs KG "Original Grander Technology"- A-6100 Seefeld, Gschwandtkopf 702 (rappresentata in Italia dalla U.V.O. Italia S.R.L. - I-39020 Schluderns (BZ), J. Pichlerstr. 7/A) che dispone anche di un sito Internet all'indirizzo [www.grander.com](http://www.grander.com) [13].

Il fondatore della ditta, Johann Grander, è un barbuto signore austriaco che ama farsi ritrarre nel costume tipico della sua terra. La ditta commercializza in tutto il mondo molti apparecchi che sarebbero in grado di rivitalizzare l'acqua. L'acqua rivitalizzata, come si legge sempre sull'opuscolo e sul sito Internet, sarebbe in grado di: conservarsi più a lungo, migliorare il suo sapore, risultare più dolce e più chiara, contribuire a un maggior benessere, dare agli alimenti maggior freschezza e sapore, migliorare la crescita delle piante e il rigoglio dei fiori, ridurre le quantità di detersivi grazie a una migliore capacità solvente, tornare rivitalizzata in natura a tutto vantaggio dell'ambiente, attrarre diversi animali, ecc.

Tutti gli apparecchi della ditta U.V.O.-Grander sfruttano lo stesso principio: l'acqua comune (di rubinetto, di piscine, pozzi, stagni, di scarico, ecc.) viene fatta passare all'interno di condotte in cui sono presenti piccole camere contenenti una porzione di "acqua d'informazione"; quest'ultima sarebbe in grado di trasmettere l'informazione consentendone la rivitalizzazione. In tutto il materiale illustrativo della ditta viene però taciuto

in che modo venga preparata l'acqua d'informazione e tanto meno secondo quale principio l'informazione verrebbe trasmessa all'acqua comune. Vengono per contro ampiamente enfatizzati i riconoscimenti che Johann Grander avrebbe ricevuto per la sua eccezionale invenzione, tra cui la Silver Medal of Honour of the Russian Academy of Natural Sciences e la Croce d'onore della Repubblica Austriaca. Relativamente a quest'ultimo riconoscimento, nell'opuscolo viene testualmente detto che:

Con questa onorificenza la Repubblica Austriaca riconosce in lui [Grander] un pensatore intuitivo ed alternativo e lo pone accanto agli studiosi di scienza naturale empirica e razionale.

Per dare ulteriore credibilità, i fautori della tecnologia Grander forniscono anche alcuni dati sperimentali, riguardanti test con batteri luminescenti. Da essi si avrebbe evidenza di formazione di "pin point" (letteralmente "capocchie di spillo", il termine sta a indicare piccolissime colonie batteriche) e di un'inibizione della proliferazione microbica. Purtroppo i risultati di questi lavori non sono mai stati pubblicati su riviste scientifiche e tantomeno presentati in ambito congressuale.

Oltre agli apparecchi di rivitalizzazione dell'acqua, la ditta offre ai suoi clienti anche altri prodotti: acqua vitalizzata in bottiglia, prodotti cosmetici, ciondoli contenenti acqua vitalizzata in grado di trasmettere la sua forza vitale all'organismo e allo spirito, una bacchetta energetica con cui mescolare le bevande per rivitalizzarle, tavolette di legno rivitalizzanti, fasce da indossare, cuscini e fili da mettere sotto il materasso, nonché un "catalizzatore ecologico" in grado di aumentare il rendimento dei motori a scoppio e ridurre i gas di scarico.

L'intera produzione della ditta U.V.O.-Grander appare, anche a un esame superficiale, pura paccottiglia pseudoscientifica destinata a confondere la clientela non dotata di particolare preparazione scientifica.

### **I "purificatori" elettrolitici**

Le vie dell'imbroglio sono infinite. Una delle più recenti è stata messa a punto da alcune ditte venditrici di filtri per la purificazione dell'acqua[14]. Per dimostrare che l'acqua del futuro cliente ha bisogno di essere purificata e che quindi è assolutamente necessario l'acquisto del loro dispositivo, queste ditte suggeriscono una semplice prova. Si tratta in sostanza di introdurre nell'acqua due elettrodi collegati a un generatore di corrente continua sottoponendo l'acqua a una elettrolisi (si utilizza in genere un raddrizzatore da 220 V da collegare direttamente alla rete elettrica: in tal modo i tempi di

esecuzione sono ridotti a circa 1 minuto). Secondo quanto affermato dalle ditte, se si osserva la formazione di depositi colorati l'acqua è "cattiva" e ha quindi bisogno di essere depurata. In genere i venditori ripetono poi l'esperimento su un campione di acqua che è stato depurato con i loro dispositivi: in tal caso non si osserva alcun deposito colorato. L'esperienza viene talvolta supportata da altre "evidenze" come la patina di calcare lasciata nel pentolino dalla bollitura di normale acqua di rubinetto, oppure la differente colorazione del tè fatto con acqua di rete o con acqua demineralizzata[15].

La validità della metodica elettrochimica viene anche sostenuta in un libro[16]. Con non poche inesattezze chimico-fisiche nel libro si legge:

In caso di un'acqua con residuo fisso alto, cioè con una conducibilità elettrica alta e una resistività bassa, si ottiene attraverso l'ossigeno atomico libero un processo di ossidazione e attraverso l'idrogeno libero un processo di riduzione.

Contemporaneamente il materiale degli elettrodi (alluminio e ferro) ha una reazione legante rispetto all'idrossido. Si osserva così il costituirsi di materiale solido galleggiante, un riscaldamento dell'acqua e una successiva sedimentazione delle sostanze solide. Queste possono avere diversi colori (verde, nero, marrone, rossastro, ecc.) a seconda del tipo di minerali e di altre sostanze nocive contenute nell'acqua.

In caso di acque con residuo fisso bassissimo e quindi con una conducibilità bassa e resistività alta, esse non si riscaldano e non si ha alcuna reazione solidificante; le acque restano trasparenti o hanno un leggero riflesso giallo.

In realtà la formazione di depositi in corrispondenza dell'anodo non dipende dalla qualità dell'acqua, ma dal materiale di cui è costituito l'anodo stesso. Nelle prove effettuate dalle ditte, l'anodo è costituito da ferro. Questo elemento, durante l'elettrolisi, reagisce con gli ioni  $\text{OH}^-$  attirati dall'anodo per originare idrossidi insolubili, responsabili della colorazione osservata. Se si usa un anodo di materiale diverso (acciaio inossidabile, grafite, ecc.) non si osserva alcuna formazione di depositi colorati in nessun tipo di acqua. Quindi è assolutamente falso sostenere, come fanno i venditori dei filtri depuratori, che i depositi colorati rappresentano le sostanze nocive presenti nell'acqua. Gli stessi depositi, infatti, possono essere ottenuti anche con acqua distillata (e quindi priva di qualsiasi sostanza disciolta), avendo l'accortezza di renderla conduttrice solubilizzando in essa una piccola quantità di un qualsiasi elettrolita (è sufficiente ad esempio del comune sale da cucina).

Il metodo proposto tutt'al più fornisce solo una grossolana indicazione della conducibilità elettrica dell'acqua e quindi della quantità di sali in essa disciolti. Non è però assolutamente dimostrato che un'acqua con minore

contenuto di sali sia necessariamente più salubre di una che ne contiene una quantità maggiore. Anzi, la presenza di certi sali può essere talvolta benefica.

Per essere corretti, i venditori di depuratori dovrebbero semplicemente limitarsi ad affermare che i loro filtri riducono la quantità di sali (non necessariamente nocivi) disciolti in un'acqua con conseguente diminuzione della sua conducibilità elettrica e che la spesa (di circa 1500 euro) per l'acquisto di tali dispositivi è spesso ingiustificata, avendo a disposizione dal rubinetto acqua già potabile. Ma tali affermazioni avrebbero sicuramente un minor impatto emotivo sugli ignari clienti che rimangono tanto impressionati dai poco attraenti depositi che si formano all'interno della loro acqua.

### **L'acqua ionizzata alcalina**[17]

Da qualche tempo hanno fatto la loro comparsa sul mercato particolari apparecchi chiamati "ionizzatori d'acqua". Si tratta di apparecchiature compatte che, alimentate con l'acqua di rete del rubinetto di casa, sono in grado di erogare acque con varie gradazioni di pH: da altamente acida a fortemente alcalina.

L'acqua acida, secondo i produttori, possederebbe caratteristiche sterilizzanti e sarebbe quindi particolarmente indicata per lavarsi le mani, pulire alimenti ed utensili da cucina, per sterilizzare piccole ferite e per annaffiare le piante. L'acqua alcalina, invece, sarebbe molto appropriata durante le diete, per assumere medicine, per l'alimentazione degli anziani; essa verrebbe assorbita molto velocemente dal fegato e dagli altri organi interni e contribuirebbe a rallentare l'invecchiamento dell'organismo. Ma come riescono questi apparecchi a produrre acque con diversi valori di pH?

Uno ionizzatore tratta l'acqua del rubinetto, ma per funzionare necessita di un collegamento alla corrente elettrica. L'acqua in ingresso viene sottoposta all'azione sequenziale di più trattamenti: un primo step si effettua generalmente con filtrazione standard a base di carbone attivo e filtri a ceramica. Alcuni impianti fanno seguire un passaggio su una cartuccia a lento rilascio di sali di calcio o altri elementi. Successivamente l'acqua viene sottoposta a elettrolisi con la conseguente formazione dei due flussi: anodico (acqua acida) e catodico (acqua basica o alcalina)[18].

La denominazione "acqua ionizzata alcalina" merita qualche osservazione. Come è ben noto, l'equilibrio di autodissociazione (*autoprotolisi*) dell'acqua è fortemente spostato a sinistra in quanto sono pochissime le molecole d'acqua dissociate in ioni: a 25° C solamente una molecola su 550 milioni

risulta dissociata. Nessun apparecchio può aumentare la ionizzazione dell'acqua. Quello che si può fare è solubilizzare in acqua altre sostanze (*elettroliti*) che, dissociandosi, aumentano la quantità complessiva di ioni in soluzione. Ma in tal modo, ovviamente, non si può più parlare di acqua pura, bensì di soluzioni acquose (come in realtà sono le acque che beviamo).

L'unica maniera per alterare il pH dell'acqua consiste nel solubilizzare in essa qualche sostanza o acida o alcalina. Per avere un'acqua alcalina, la concentrazione degli ioni  $\text{OH}^-$  deve superare quella degli ioni  $\text{H}_3\text{O}^+$  e l'unico modo possibile per ottenere questo risultato è che l'acqua contenga ioni positivi metallici, quali  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , ecc. che bilancino l'eccesso di carica negativa. Un'acqua pura quindi non può in nessun caso essere alcalina.

Diversi apparecchi per la produzione di acqua ionizzata alcalina in commercio provvedono ad aggiungere all'acqua una certa quantità di elettroliti per rendere maggiormente conduttrice l'acqua e permettere quindi di effettuare la sua elettrolisi (a tale scopo sono dotati di un serbatoio contenente un "liquido di accelerazione dell'elettrolisi", acquistabile poi separatamente, costituito da sali, quali ipoclorito di sodio, cloruro di sodio o altri).

Se le due regioni anodica e catodica vengono tenute separate da una membrana semipermeabile, la soluzione catodica diventa alcalina per accumulo di ioni  $\text{OH}^-$  (naturalmente le cariche negative degli ioni  $\text{OH}^-$  devono essere bilanciate dalla presenza di cationi, richiamati dal catodo. Questi sono originati dai metalli normalmente presenti nell'acqua potabile o da quelli eventualmente aggiunti dallo stesso dispositivo); mentre la soluzione anodica diventa acida per accumulo di ioni  $\text{H}^+$  (se in soluzione è presente lo ione cloruro, come spesso accade, si formerà acido ipocloroso). Alcuni dispositivi commerciali consentono di prelevare diverse qualità di acqua. L'acqua alcalina è costituita dalla soluzione catodica che risulta essere, in definitiva, una soluzione acquosa diluita di idrossido di sodio o di altri idrossidi metallici. In alcuni apparecchi è anche possibile prelevare l'acqua acida di provenienza anodica che può risultare essere una soluzione acquosa di acido ipocloroso (viene consigliato di utilizzare quest'acqua non per usi alimentari, ma come disinfettante). In alcuni casi questa soluzione viene fatta reagire con quella catodica e in tal caso il risultato è una soluzione di ipoclorito di sodio, ovvero il costituente della normale candeggina.

Osserviamo che entrambi i prodotti finali ottenuti con i costosi apparecchi commerciali si potrebbero produrre, molto facilmente e in maniera molto più economica, preparando soluzioni acquose diluite di soda caustica e di candeggina!

Nelle schede pubblicitarie dei dispositivi per produrre l'acqua ionizzata alcalina si fa spesso riferimento alla cosiddetta teoria dei *cluster*. Secondo tale teoria nell'acqua "normale" sarebbero presenti particolari aggregati chiamati *cluster* (letteralmente grappoli), costituiti da 10-13 molecole legate da legami a idrogeno. Il trattamento cui viene sottoposta l'acqua ridurrebbe il numero delle molecole d'acqua nei *cluster* a 5 o 6 e questo avrebbe vantaggi sulla possibilità da parte dell'organismo di assorbire l'acqua per idratarsi.

Dal punto di vista scientifico tali affermazioni suscitano non poche perplessità. Indubbiamente le molecole d'acqua in fase liquida stabiliscono dei legami a idrogeno tra loro, ma questi legami si formano e si rompono continuamente senza che si possa davvero ipotizzare la formazione di strutture organizzate come i *cluster*. Ammesso che i *cluster* esistano, i loro tempi di vita sono brevissimi: dell'ordine del picosecondo.

In letteratura scientifica si trovano alcuni lavori che evidenzerebbero la presenza di *cluster* in acqua mediante spettroscopia NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*). Tali lavori sono stati tuttavia oggetto di severe critiche[19]. Infine le affermazioni secondo le quali il trattamento con i dispositivi elettrici ridurrebbe il numero di molecole d'acqua costituenti i *cluster* e che questa riduzione avrebbe qualche vantaggio fisiologico non hanno alcun fondamento scientifico.

Nelle schede pubblicitarie degli apparecchi che producono acqua ionizzata alcalina vengono vantate le sue proprietà antiossidanti in grado di combattere i radicali liberi, nemici della nostra salute e responsabili dell'invecchiamento. In realtà sui radicali liberi e sugli antiossidanti è stata costruita una vera e propria mitologia commerciale, priva di ogni fondamento scientifico[20]. Non vi è infatti alcuna evidenza che i prodotti antiossidanti svolgano qualche funzione utile, più di quanto non facciano gli enzimi anti-ossidanti (come la *perossidasi*) che il nostro organismo produce spontaneamente, grazie a millenni di evoluzione biologica. Per vantare le proprietà antiossidanti dell'acqua ionizzata alcalina, si fa riferimento all'ORP (Oxidation Reduction Potential) ovvero il potenziale di ossido-riduzione. Nel caso dell'acqua, la misura dell'ORP può dare un'indicazione generica del suo potere ossido-riduttivo. Tuttavia nelle schede pubblicitarie degli apparecchi che producono acqua ionizzata tale grandezza viene spesso citata a sproposito e in maniera non corretta. Il processo di elettrolisi inoltre non aumenta affatto le proprietà antiossidanti dell'acqua. Può accadere addirittura il contrario: l'acqua contenente ipoclorito di sodio ha un'azione ossidante.

Le precedenti considerazioni mostrano chiaramente che dal punto di vista chimico-fisico le affermazioni fatte dai produttori di dispositivi per ottenere l'acqua ionizzata alcalina hanno ben poco fondamento. Il loro punto di forza è tuttavia costituito dai presunti vantaggi biomedici che l'assunzione costante di acqua ionizzata alcalina produrrebbe sui consumatori. Le affermazioni che vengono fatte sono straordinarie e mirabolanti. Viene, ad esempio, sostenuto che:

- I bambini, gli adulti, gli sportivi possono trarre notevoli vantaggi dal consumo di acqua ionizzata alcalina. Negli atleti sono stati osservati miglioramenti notevoli nelle performances e nelle capacità di recupero dopo lo sforzo.
- Gli anziani e i malati possono avere notevoli miglioramenti, infatti negli ospedali giapponesi viene usata per accelerare i tempi di guarigione dei pazienti ricoverati.
- Tutti hanno notato un miglioramento dello stato di salute e dell'energia, infatti è considerata da molti scienziati tra le migliori acque che esistono al mondo.
- L'acqua ionizzata alcalina ripristina l'equilibrio acido-base, previene le problematiche e i sintomi correlati all'acidosi contribuendo così a rallentare l'invecchiamento e a migliorare la nostra salute.
- Grazie alla sua potente azione anti-ossidante combatte i radicali liberi, nemici della nostra salute. Questa proprietà la rende preziosa per la prevenzione di molte malattie causate dallo stress ossidativo.
- È un'acqua con struttura esagonale formata da micrograppoli (Cluster) di 5-6 molecole, con bassa tensione superficiale e capacità conduttive notevoli. Per queste caratteristiche l'acqua alcalina viene assimilata molto velocemente e idrata in profondità tutte le cellule del nostro corpo.
- L'acqua ionizzata alcalina pulisce il colon (viene citato un certo Dott. Shinya che prescriverebbe l'acqua ai suoi pazienti perché, tramite la colonscopia, ha verificato la profonda pulizia del colon. Non viene però citato alcun riferimento a lavori pubblicati).

Gli esempi potrebbero continuare[21]. Dal punto di vista medico le precedenti affermazioni hanno ben poco valore. Qualsiasi affermazione in campo medico va infatti sostenuta da prove evidenti e in tutta la letteratura scientifica queste prove non si trovano.

La nutrizionista Katherine Zeratsky, rispondendo a una domanda sull'utilità dell'acqua alcalina sul sito della prestigiosa Clinica Mayo negli USA, ha affermato molto esplicitamente[22]:

Per la maggior parte delle persone, l'acqua di rubinetto è migliore. L'acqua alcalina ha un più alto livello di pH di quanto non abbia l'acqua del rubinetto. Alcuni sostenitori dicono che l'acqua alcalina può neutralizzare l'acido nel sangue, aumentare il tuo livello di energia e il metabolismo, e aiutano il corpo ad assorbire sostanze nutritive in maniera più efficace. Altri dicono che l'acqua alcalina può aiutare a resistere alle malattie e rallentare il processo di invecchiamento. Tuttavia, i ricercatori non hanno verificato queste affermazioni.

Alcune ricerche suggeriscono che l'acqua alcalina possa rallentare la perdita ossea, ma sono necessari ulteriori studi per determinare se gli effetti positivi possano essere mantenuti a lungo termine o se possano influenzare la densità ossea.

Altri esperti hanno espresso pareri simili[23]. I presunti avalli da parte della comunità scientifica che vengono citati nelle schede pubblicitarie non hanno in definitiva alcun riconoscimento ufficiale.

D'altra parte se l'acqua alcalina fosse davvero in grado di mantenere le promesse salutistiche vantate dai suoi venditori alterando il pH dell'organismo, allora basterebbe sistematicamente bere acqua con l'aggiunta di una punta di bicarbonato!

Di fatto assumere acqua alcalina non ha molto senso perché la sua alcalinità viene rapidamente neutralizzata dall'acido cloridrico normalmente presente nel succo gastrico. Inoltre vale la pena osservare che il pH del sangue oscilla tra 7.35 e 7.45 (debolmente alcalino), mantenendosi pressoché costante grazie a un efficace sistema tampone. Per alzare ulteriormente questo valore di pH, si dovrebbero quindi assumere quantità enormi di acqua alcalina. Il che produrrebbe sicuramente seri problemi di salute, probabilmente con esiti letali.

In definitiva, si può affermare che fino a quando i produttori di apparecchi per la produzione di acqua ionizzata alcalina non presenteranno prove concrete a sostegno delle loro affermazioni, è legittimo considerare questa tecnologia, così come l'acqua prodotta da questi impianti, come una pura mossa commerciale di cui è doveroso diffidare.

## **Conclusioni**

Questa breve rassegna (ma gli esempi potrebbero essere più numerosi) mostra come l'importanza dell'acqua per l'uomo, che nell'antichità ha generato tante mitologie, continua ancora oggi ad alimentarle, sia pure mascherate da teorie scientifiche.

Per il cittadino qualunque può essere talvolta piuttosto difficile valutare l'attendibilità scientifica di certe affermazioni che appaiono indubbiamente suadenti e accattivanti. Ancora una volta una maggiore diffusione della cultura chimica sarebbe auspicabile. In attesa che questo accada, tuttavia, è compito della comunità scientifica e dei divulgatori scientifici fornire corrette informazioni per evitare che tante persone possano cadere vittime di illusioni o di veri e propri inganni.

### Riferimenti e note

- 1) L'argomento di tale paragrafo è tratto in parte dal libro dell'autore: S. Fuso, *La falsa scienza. Invenzioni folli, frodi e medicine miracolose dalla metà Settecento a oggi*, Carocci, Roma 2013.
- 2) E. Davenas, F. Beauvais, J. Amara, M. Oberbaun, B. Robinzon, A. Miadonna, A. Tedeschi, B. Pomeranz, P. Belon, J. Sainte-Laudy, B. Poitevin & J. Benveniste, "Human basophil degranulation triggered by very dilute antiserum against IgE", *Nature* 333, 816, 1988.
- 3) Anonimo, "When to believe the unbelievable", *Nature* 333, 787, 1988;
- 4) Si veda, ad esempio: G. Dobrilla, *Le alternative. Guida critica alle cure non convenzionali*, Avverbi-Zadignoa, Grottaferrata e Roma 2008.
- 5) J. Maddox, J. Randi, W.W. Steward, "High-dilution experiments: a delusion", *Nature* 334, 287, 1988.
- 6) J. Benveniste, "Dr. Jacques Benveniste replies", *Nature* 334, 291, 1988.
- 7) J. Benveniste, P. Jurgens, W. Hsueh e J. Aissa, "Transatlantic Transfer of Digitized Antigen Signal by Telephone Link", *Journal of Allergy and Clinical Immunology* (Program and Abstracts of Papers to be Presented During Scientific Sessions AAAI/AAI-CIS Joint Meeting) 99, S 175, 1997.
- 8) Citato in: J.M. Abgrall, *I ciarlatani della salute*, Editori Riuniti, Roma 1999;
- 9) L. Montagnier, J. Aissa, E. Del Giudice, C. Lavalley, A. Tedeschi and G. Vitiello, "DNA waves and water", *Journal of Physics: Conference Series* 306, 012007, 2011;
- 10) Si veda il suo sito: <http://www.masaru-emoto.net/>.
- 11) [www.randi.org](http://www.randi.org).
- 12) Per maggiori dettagli si veda: L. Garlaschelli, "Acqua e magneti", *La Chimica e l'Industria* 81, 474, 1999, disponibile in rete alla pagina: <http://www.luigigarlaschelli.it/Altrepubblicazioni/H2OMAGN.htm>. Nell'articolo è anche disponibile una esauriente bibliografia sull'argomento.
- 13) Si veda: S. Fuso e G. Temporelli, "Il business dell'acqua vitalizzata" *Scienza & Paranormale* n 49, CICAP, Padova 2003.
- 14) Si veda: S. Fuso e G. Temporelli, "La truffa dell'acqua purificata", *Scienza & Paranormale* n. 60, CICAP, Padova 2005.
- 15) Si veda ad esempio il sito: [http://www.sognidicasa.it/sdc/schede%20prodotti/depuratore\\_perch%E8.html](http://www.sognidicasa.it/sdc/schede%20prodotti/depuratore_perch%E8.html).

16) A. Fellin, *Quale acqua per la nostra salute*, Edizioni Tecniche Nuove, Milano 2001.

17) L'argomento di tale paragrafo è stato trattato in dettaglio nel seguente articolo: G. Temporelli e S. Fuso, "Acqua ionizzata alcalina: nuova tecnologia o bufala commerciale?", *Ingegneria ambientale*, vol. XL n. 6 novembre-dicembre 2011.

18) Per completezza ricordiamo anche un'altra tecnica disponibile sul mercato per produrre acqua alcalina, anche se molto meno diffusa di quella utilizzando l'elettrolisi: la borraccia Alkalark, definita come alcalinizzatore portatile per acqua da bere. Il principio di funzionamento è in questo caso semplicissimo: la borraccia presenta una sede nella quale contiene una miscela salina costituita da calcio, potassio, ecc, che, entrando in contatto per un certo intervallo di tempo con l'acqua, si scioglie alcalinizzandola. La tecnica di produzione è diversa ma anche in questo caso le promesse salutistiche derivanti dal consumo di quest'acqua sono elevate.

19) P. Shin, "Water, Water, Everywhere, Caveat Emptor (Buyer Beware)!" [http://www.csun.edu/~alchemy/Caveat\\_Emptor.pdf](http://www.csun.edu/~alchemy/Caveat_Emptor.pdf).

20) L. Melton, "The antioxidant myth: a medical fairy tale", *New Scientist* 2563, 43-44, 2006: <http://www.bogrees.com/Articles/TheAntioxidantMyth.pdf>.

21) Ad esempio, le presunte virtù salutari dell'acqua alcalina sono ampiamente decantate nel seguente volume: S. Whang, *Invertire l'invecchiamento*, Macro Edizioni, Cesena 2007.

22) K. Zeratsky, "Is alkaline water better for you than plain water?": <http://www.mayoclinic.com/health/alkaline-water/AN01800>.

23) S. Lower, "Ionized and alkaline water": <http://www.chem1.com/CQ/ionbunk.html>; R. Johnson, "Health Effects of Drinking Alkaline Water": <http://www.cyber-nook.com/water/alkaline.htm>.

## L'ACQUA VIRTUALE E LE IMPRONTE

Pasquale Fetto  
pasquale.fetto@didichim.org



*"Se le guerre di questo secolo sono state combattute per il petrolio, quelle del secolo prossimo avranno come oggetto del contendere l'acqua". Le guerre dell'acqua non sono una prospettiva lontana nel futuro. Il conflitto è già in corso, anche se non è sempre visibile. Molti conflitti politici di questo tipo sono infatti celati o repressi: chi controlla il potere preferisce mascherare le guerre dell'acqua travestendole da conflitti etnici e religiosi.<sup>1</sup>*

**Vandana Shiva**

### **Premessa**

La quantità totale di acqua richiesta nella produzione di beni dipende dal tempo e dal luogo di produzione. I vegetali hanno bisogno di quantità variabili di acqua, per completare il loro ciclo vegetativo, in relazione al clima presente nelle diverse aree produttive. Questa variazione avviene per evaporazione dell'acqua in ciascuna regione. Altra considerazione è data dalla convenienza, rispetto al consumo di acqua, di produrre un determinato bene in loco ovvero di importare lo stesso bene. La totalità delle acque piovane è distribuita in modo diseguale, c'è carenza di questo elemento essenziale per la vita.

Questa premessa ci conduce a porci degli interrogativi:

- *Quale sarà la quantità di acqua disponibile per il genere umano nel prossimo futuro?*
- *Quali le iniziative internazionali al fine di diminuire il cattivo utilizzo e gli sprechi a livello mondiale?*

---

1. Questa previsione inquietante fu fatta, nel 1995, da Vandana Shiva e riportata nel suo libro *Le guerre dell'acqua*, Feltrinelli 2006

### **Di quanta acqua potrà disporre ogni essere umano?**

Il vicedirettore della divisione Terra e Acqua della FAO, Pasquale Steduto, lancia l'allarme sulle risorse idriche del Pianeta. Nel 2025 la dote idrica pro capite si ridurrà di un terzo rispetto a quella del 1950. I dati che seguono sono ripresi da un articolo di Antonio Cianciullo apparso su *“il venerdì di Repubblica”* del 31 maggio 2013. Il dato da cui si parte è che il numero delle persone prive di acqua potabile tende a ridursi: nel 2011 erano circa l'11% della popolazione globale (738 milioni), mentre si stima che nel 2025 dovrebbe scendere all'8%. Questo dato potrebbe sembrare positivo in valore assoluto, non si tiene conto che in molte aree l'irregolarità del servizio cresce. L'effetto diventa devastante se si considera la combinazione della pressione demografica e l'aumento dei consumi pro capite; la quantità di acqua a disposizione di ogni essere umano è diminuita del 40% tra il 1980 e il 2004. Si stima, inoltre, che per il 2050 la superficie irrigua aumenterà del 20-22% e questo aumento sarà concentrato nei paesi in via di sviluppo. Non si può sottovalutare la necessità idrica legata alla produzione di energia che viene così stimata: 1.000 chilowattora necessitano di un quantitativo di acqua tra i 30 e gli 80 mila litri (per le centrali a gas), tra gli 80 e i 200 mila litri (per le centrali a carbone o a gasolio ed infine occorrono da 100 mila a 240 mila litri di acqua (per gli impianti nucleari).

Secondo la **Royal Society of Engineers**, due terzi del totale dell'acqua utilizzata per produrre alimenti e bevande per la sola Gran Bretagna, viene da Paesi che già soffrono per le poche risorse idriche disponibili.

I Paesi in via di sviluppo, incalzati da una sempre maggiore richiesta di merci dall'Occidente, stanno utilizzando gran parte delle loro risorse per prodotti d'esportazione, rischiando così di restare a corto d'acqua. Afferma la Society of Engineers: *“Secondo le previsioni, quando la popolazione mondiale supererà gli 8 miliardi, la domanda generale di cibo e energia crescerà del 50% e quello di acqua del 30%, il che potrebbe determinare una crisi idrica mondiale”*.

### **La dichiarazione su acqua e sviluppo sostenibile**

Alla Conferenza Internazionale delle Nazioni Unite su Acqua e Ambiente - International Conference on Water and the Environment (ICWE), svoltasi a Dublino dal 26 al 31 gennaio 1992, si è legata, per la prima volta, l'acqua al concetto di sviluppo sostenibile a partire dalle preoccupazioni emergenti rispetto alla scarsità e qualità della risorsa.

**L'acqua ha un valore economico**<sup>2</sup> in funzione della sua scarsità. Questo principio fu introdotto per la prima volta in una conferenza internazionale.

Purtroppo ignorare, in passato, questo principio ha portato a sprechi e cattiva gestione di questa risorsa; questa tendenza sembra debba subire una inversione “*grazie*” ai problemi di siccità che sempre più spesso colpiscono ampie zone della terra.

I principi guida, emersi dalla conferenza, sono parte integrante delle raccomandazioni che da Dublino sono sollecitate per promuovere azioni a livello locale e internazionale.

**I° - Principio** - L'acqua dolce è una risorsa limitata e vulnerabile, essenziale per sostenere la vita, lo sviluppo e l'ambiente.

**II° - Principio** – Lo sviluppo e la gestione delle acque dovrebbero essere basati su un approccio partecipativo, coinvolgendo gli utenti, progettisti e responsabili politici a tutti i livelli.

**III° - Principio** - Le donne svolgono un ruolo centrale nella fornitura, gestione e tutela delle acque.

**IV° - Principio** - L'acqua ha un valore economico in tutti i suoi usi concorrenti e deve essere riconosciuta come un bene economico.<sup>3</sup>

### **La Commissione per lo Sviluppo Sostenibile**

Durante la Conferenza sull'Ambiente e lo Sviluppo delle Nazioni Unite, - *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)* nota, anche come, *Eco'92* o *Conferenza di Rio*, tenutasi a Rio de Janeiro dal 3 al 14 giugno 1992, venne istituita la Commissione per lo Sviluppo Sostenibile - *Commission on Sustainable Development (CSD)* quale organo incaricato di assistere e vigilare l'attuazione del Piano d'Azione di Rio e degli altri accordi internazionali.

La CSD ha la funzione di rendere note le questioni di sviluppo sostenibile all'interno del sistema delle Nazioni Unite e aiuta a migliorare il coordinamento delle attività in materia di ambiente e sviluppo. Incoraggia governi e organizzazioni internazionali ad ospitare seminari e conferenze sulle varie tematiche ambientali e di sviluppo sostenibile. I risultati di questi incontri di esperti danno impulso al lavoro della Commissione e le forniscono supporto nell'attività di collaborazione con i governi e i vari partner non governativi per la promozione dello sviluppo sostenibile a livello globale.

---

2. “Water is no different from any other economic good. It is no more a necessity than food, clothing, or housing, all of which obey the normal laws” - Duane D. Baumann, John Boland, W. Michael Hanemann - McGraw-Hill Professional 1998

3. (<http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/documents/english/icwedece.html>)

### **L'Acqua virtuale dal concetto alla filosofia applicativa**

Il concetto di **Acqua Virtuale** definisce la quantità di acqua necessaria alla produzione e alla commercializzazione di alimenti e/o beni di consumo.

Il primo ad introdurre il concetto di acqua virtuale è stato nel 1993 il professor John Anthony Allan geografo inglese del King's College di Londra. Allan nei suoi studi concluse, per esempio, che per produrre una tazzina di caffè sono necessari 140 litri d'acqua. Da qui l'idea che l'importazione e l'esportazione di beni comporta, di fatto, lo scambio di acqua necessaria per la loro produzione.

**La teoria di Allan** sottolinea i benefici in termini economici e ambientali dei flussi di acqua virtuale tra Paesi. Una nazione può conservare le sue risorse idriche importando un prodotto idro-intensivo. Di conseguenza il commercio internazionale può implicare un risparmio globale, se un bene è esportato da un'area ad alta produttività idrica, quindi a basso contenuto di acqua virtuale, verso un'area con bassa produttività idrica.

A livello globale, però, il traffico di acqua virtuale ha implicazioni geopolitiche che non vanno sottovalutate, come ha dichiarato nel 2008 il Consiglio Mondiale dell'Acqua, inducendo ad una dipendenza tra i Paesi che può diventare uno stimolo alla cooperazione, ma può anche innescare potenziali conflitti.

### **L'acqua virtuale - risorsa strategica**

Una indagine, organizzata da Last Minute Market e dalla Commissione Agricoltura del Parlamento Europeo, ha evidenziato, a livello domestico, che in Italia si buttano in media il 17% dei prodotti ortofrutticoli, il 15% di pesce, il 28% di pasta e pane, il 29% delle uova, il 30% di carne e il 32% di latticini. Indagini di questo tipo sono state effettuate in altri paesi con risultati analoghi.

### **IMPRONTA ECOLOGICA**

*L'impronta ecologica può avere un valore educativo e di forte impatto comunicativo, ma rimane uno strumento non definitivo per le scelte dei governi: può essere sicuramente di aiuto ma, anche se si dovesse raggiungere la parità tra consumi e disponibilità questo non ci assicurerebbe la soluzione dei nostri problemi.*

Il concetto di impronta ecologica<sup>4</sup> è stato introdotto, per la prima volta, da William Rees<sup>5</sup> e Mathis Wackernagel nel loro libro "*Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*", pubblicato nel 1996.

William Rees, assieme al suo dottorando Mathis Wackernagel, cercarono di sviluppare il concetto dell'impronta ecologica analizzando il possibile metodo di calcolo. Gran parte del lavoro di Rees si è sviluppato nel campo dell'economia ecologica e dell'ecologia umana.

Il suo interesse primario riguarda le azioni delle politiche pubbliche in merito alla pianificazione relativa alle tendenze ambientali globali e alle condizioni ecologiche per lo sviluppo socio-economico sostenibile.

Le ricerche di Rees hanno rivelato l'incompatibilità fondamentale fra sviluppo economico materiale continuato e sicurezza ecologica; hanno inoltre contribuito a riaprire il dibattito sulla (**carrying capacity**)<sup>6</sup> *capacità di carico* umana come considerazione per lo sviluppo sostenibile.

L'impronta ecologica è uno strumento quantitativo che stima l'impatto ecologico dell'umanità sulla ecosfera in termini di ecosistema appropriato (terreni e acqua) ad una zona.

A partire dal 1999 il WWF aggiorna periodicamente il calcolo dell'impronta ecologica nel suo Living Planet Report.

## Indice statistico

L'impronta ecologica è un *indicatore* utilizzato per valutare il consumo umano di risorse naturali rispetto alla capacità della Terra di ricostruirle.

L'*impronta ecologica* misura, quindi, l'area biologicamente produttiva di mare e di terra necessaria per rigenerare le risorse consumate da una popolazione umana e per assorbire i rifiuti prodotti. Utilizzando l'impronta ecologica, è possibile stimare quanti "pianeti come la Terra" servirebbero per sostenere l'umanità, qualora tutti vivessero secondo un determinato stile di vita.

---

4. La prima pubblicazione accademica sulla impronta ecologica, di William Rees, fu pubblicata nell'ottobre 1992 con il titolo "*Impronte ecologiche e appropriata capacità di carico: ciò che l'economia urbana lascia fuori*".

5. William Rees ha insegnato presso l'Università della British Columbia dal 1969-1970.

6. **carrying capacity** (letteralmente *capacità di carico*) è la capacità naturale che un ecosistema possiede di produrre in maniera stabile le risorse necessarie alle specie viventi che lo popolano, senza rischi per la sopravvivenza.

La *capacità portante dell'ambiente* (traduzione più usata in italiano), più sinteticamente, è la capacità di un ambiente e delle sue risorse di sostenere un certo numero di individui.

Per il calcolo dell'impronta ecologica non si può prescindere dalla stima dei diversi consumi che vengono riuniti in categorie di consumo:

- 1) gli alimenti
- 2) le abitazioni
- 3) beni di consumo
- 4) trasporti
- 5) servizi

I territori che entrano nel calcolo non devono essere esclusivamente i terreni produttivi legati al consumo di beni, ma anche i territori che sono indispensabili per la costruzione di infrastrutture legate ai servizi.

Nella formulazione di impronta ecologica si considera il territorio suddiviso in sei categorie.

Viene calcolato il consumo individuale medio delle principali categorie di consumo.

Le categorie di consumo comportano un'impronta ecologica specifica per più motivi:

- ▶ il terreno necessario alla produzione, in forma sostenibile, di energia (l'invaso per la costruzione di centrali idroelettriche, superficie utilizzata per il boscamiento al fine di assorbire la CO<sub>2</sub> prodotta dalla combustione di prodotti fossili);
- ▶ la terra coltivata per la produzione degli alimenti;
- ▶ i terreni a pascolo per l'allevamento degli animali;
- ▶ il terreno forestale per la produzione di legname e carta;
- ▶ la superficie marina per allevamento di pesci e frutti di mare;
- ▶ il territorio per infrastrutture edilizie.

**Tabella 1.** Sono riportate la destinazione d'uso e le percentuali di utilizzo della superficie delle terre emerse.

<b>Destinazione d'uso della superficie terrestre</b>	<b>Percentuale di utilizzo</b>
Foreste ed aree boschive	33
Pascoli permanenti	23
Terre arabili	10
Terre costruite	2
Altri suoli: ghiacciai, rocce, deserti, ecc.	32

Se si vuole considerare l'impronta ecologica dal punto di vista energetico in questo caso dobbiamo considerare *l'emissione di diossido di carbonio espressa quantitativamente in tonnellate, e conseguentemente la quantità di terra forestata necessaria per assorbire le suddette tonnellate di CO<sub>2</sub>.*

## IL CALCOLO

Nel successivo paragrafo in cui si descrive il procedimento, ho pensato che fosse utile evitare le formule statistiche e affrontare un calcolo “discorsivo” rimandando successivamente la parte matematico-statistica del calcolo. In questo stesso parametro sono riportati dati statistici che si possono utilizzare come degli ottimi esempi di calcolo,.

### Il procedimento

Il calcolo può essere effettuato individualmente con misurazioni dirette dei consumi personali o familiari oppure può essere applicato a comunità ampie di individui (nazioni, regioni, città) ricavando il consumo individuale medio partendo da dati statistici regionali o nazionali aggregati che vanno poi divisi per il numero di abitanti:

$$\text{consumo netto} = \text{produzione} + \text{importazione} - \text{esportazione}$$

Il passo successivo consiste nel calcolare la superficie pro-capite necessaria per la produzione di ciascuno dei principali beni di consumo, dividendo il consumo medio annuale pro-capite di quel bene (espresso in Kg/pro-capite) per la sua produttività, cioè per la superficie di terreno necessaria a produrre quel bene (espressa in Kg/ha):

$$\text{superficie necessaria per la produzione di un singolo bene} = \frac{\text{consumo medio annuale pro-capite}}{\text{produttività media annuale per ettaro}}$$

I dati riflettono non solo le superfici direttamente occupate dai consumi, ma anche il territorio usato per la loro produzione e mantenimento. Le abitazioni, ad esempio, comprendono il terreno su cui la casa è stata costruita (inclusa una percentuale proporzionale di area urbana occupata dalle infrastrutture) il territorio necessario per produrre i materiali da costruzione e i territori per l'energia per il riscaldamento. Poiché parecchi beni di consumo (ad esempio, il vestiario e l'arredamento) incorporano input diversi (es. tessuti, legno), è necessario identificare gli input primari e calcolare la superficie necessaria alla produzione di ciascuno di essi: ad esempio per produrre un chilo di pane sono necessari 24 m<sup>2</sup> di terreno agricolo per coltivare il grano e 31 m<sup>2</sup> di terreno “energetico” per i concimi, i pesticidi, i macchinari usati per la coltivazione, la lavorazione ed il trasporto.

**L'impronta ecologica complessiva** è la somma di tutte le superfici necessarie per la produzione della totalità dei beni consumati da una persona. L'impronta dell'intera popolazione si ottiene moltiplicando l'impronta ecologica pro-capite per la popolazione totale:

$$\text{impronta ecologica totale} = \text{impronta ecologica pro-capite} \times \text{popolazione}$$

Ad esempio se un'impronta ecologica è pari a 1,8 ha/pers significa che, in base allo stile di vita e di consumo della popolazione, sono necessari 1,8 ha/pers.

Se confrontiamo l'impronta ecologica con la **biocapacità**<sup>7</sup> della stessa area considerata, cioè gli ettari di Terra messi a disposizione pro-capite, otteniamo il "saldo ecologico".

Alcuni esempi chiariscono meglio il concetto precedentemente espresso: In Italia 4,99 ettari di terra producono le risorse naturali necessarie ad un singolo italiano, se si considera che il territorio italiano dispone di circa 1,14 ha/pers, il saldo ecologico è pari a -3,85 ha/pers.

Nel 2007 l'impronta ecologica media a livello mondiale era pari a 2,7 ha/pers, la biocapacità media era di 1,8 ha/pers, il saldo ecologico globale era di -0,9 ha/pers.

Disponendo di una quantità sufficiente di dati, è possibile calcolare con precisione l'impronta di gruppi di consumatori (ad esempio una città, una famiglia, tutte le persone appartenenti ad una specifica classe di reddito) e fare dei confronti da cui partire per discussioni, riflessioni critiche e stimoli al cambiamento del proprio stile di vita.

È bene sottolineare che il risultato ottenuto non è qualcosa di statico, di immutabile, ma è provvisorio e necessariamente approssimato, perché cerca di fotografare una realtà in continuo mutamento.

Per il **calcolo dell'impronta ecologica**<sup>8</sup> si mette in relazione la quantità di ogni bene consumato (es. grano, riso, mais, cereali, carni, frutta, ecc.) con una costante di rendimento espressa in kg/ha; le costanti di rendimento variano per ogni prodotto e tanto sono maggiori tanto meno terreno richiede la produzione di quel bene. Il risultato è una superficie espressa in ettari.

L'impronta ecologica totale **F** viene calcolata con la formula:

$$F = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n C_i q_i$$

$$E_i = C_i q_i$$

7. Capacità di un territorio di fornire le risorse e assorbire i rifiuti

8. <http://www.consumieclima.org/modulo2/impronta.html>

dove  $E_i$  è l'impronta ecologica derivante dal consumo  $C_i$  del prodotto  $i$ -esimo e  $q_i$  è la produttività media per il prodotto  $i$ -esimo.

- $C_i$  rappresenta la quantità di ogni bene consumato (ad esempio kg di grano, di carne, di formaggio)
- $q_i$  è la produttività media ovvero una costante di rendimento del suolo espressa in kg/ha.

**Tabella** – I valori riportati in tabella sono ricavati da (Wackernagel et al. 1999)

Categoria	Costante di rendimento $q^*$	Terreno necessario per la produzione in $m^{2**}$
Carne bovina	33 kg/ha	303 $m^2$
Cereali	2744 kg/ha	3,6 $m^2$
Latte	502 kg/ha	20 $m^2$
Frutta, Verdura	18000 kg/ha	0,6 $m^2$
* indica i kg di prodotto che 1 ha di terreno può produrre in 1 anno. ** indica i $m^2$ di terreno per produrre 1 kg di prodotto		

Esempio di calcolo: riferito al terreno necessario alla produzione di 1 kg di carne bovina in 1 anno

$$1 \text{ ha}/33(q) = 10000 \text{ m}^2/33 \text{ kg} = 303 \text{ m}^2$$

Per l'energia, il consumo viene espresso in superficie forestale necessaria ad assorbire le tonnellate di carbonio equivalente emesse per la produzione di energia consumata.

- $C_i$  rappresenta la quantità di energia consumata (espressa ad esempio in GJ)
- $q_i$  è l'impronta media specifica dell'energia misurata in GJ/ha

Esempio di calcolo:  $q$ , per il carbone vale 55 GJ/ha per anno, per ogni GJ di energia prodotta dal carbone occorrono 181  $m^2$  di foresta per assorbire le emissioni di carbonio equivalente derivante dalla sua produzione.

Per 1 GJ di energia prodotta dal carbone occorre 1 ha/55 GJ= 10000  $m^2$ / 55 GJ = 181  $m^2$

Il valore di  $q$  per il petrolio è 71 GJ/ha per anno ovvero occorrono 141  $m^2$  per assorbire le emissioni di carbonio derivate dalla produzione di 1 GJ di energia.

Per l'energia idroelettrica il valore  $q$  esprime la superficie occupata dalle infrastrutture necessaria per produrla.

Essendo  $q$  pari a 1000 GJ/ha per anno significa che bastano 10 m<sup>2</sup> di terreno per produrre 1 GJ di energia idroelettrica.

Tutti i consumi  $C_i$  possono rappresentare i consumi individuali o collettivi (ad esempio di un'intera nazione).

In questo caso si parla di impronta ecologia pro capite  $f$  che viene calcolata dividendo  $F$  per la popolazione  $N$  residente nella regione considerata:

$$f = \sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{N}$$

### **Limiti dell'impronta ecologica**

Il **limite evidente** dell'impronta ecologica era dato dalla riduzione di tutti i valori ad una sola unità di misura “*superficie terrestre*”, ciò comportava una distorsione nella rappresentazione dei problemi complessi che necessitano di risoluzioni multidimensionali.

Altro **limite**, non secondario, è quello **relativo all'energia**, che denuncia una stima per difetto. Viene considerata solo l'emissione di CO<sub>2</sub>; non si fa riferimento all'approvvigionamento delle fonti energetiche non rinnovabili (minerali, petrolio).

Per quanto riguarda la **produzione di rifiuti** e materiali non smaltibili come pure le **scorie radioattive** sono semplicemente non conteggiate.

Poiché i consumi sono riferiti alle sole risorse rinnovabili, il problema della dipendenza da risorse non rinnovabili non viene misurato.

L'inquinamento non è considerato, il reale danno ambientale è molto maggiore di quello che l'impronta ecologica mostra.

La necessità di migliorare la misura dell'impronta ecologica ha spinto, nel 2003, Mathis Wackernagel e altri ricercatori a fondare il **Global Footprint Network (GFN)**, che si proponeva e si propone, di migliorare la misura<sup>9</sup> dell'impronta ecologica e di conferirle un'importanza analoga a quella del **PIL (Prodotto Interno Lordo)**.

Il GFN collabora con molti paesi - tra cui Australia, Brasile, Canada, Cina, Finlandia, Francia, Germania, Italia, Messico, Regno Unito, Russia, Sudafrica, Svizzera - e con agenzie governative, autorità locali, università, istituti di ricerca, società di consulenza e associazioni.

9- Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework <http://www.footprintnetwork.org/images/NFA%20Method%20Paper%202011%20Submitted%20for%20Publication.pdf>

La collaborazione italiana con il Global Footprint Network è al momento sostenuta dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi dell'Università di Siena, dall'Istituto Ricerche Economiche Sociali della Regione Piemonte, da Ambiente Italia Srl (società di ricerca e consulenza) e dalla Rete Lilliput.

In Italia l'impronta ecologica viene calcolata per l'intera nazione. Su scala regionale il Cras (Centro ricerche applicate per lo sviluppo sostenibile) ha calcolato l'impronta per Basilicata, Calabria, Campania, Liguria, Puglia, Sardegna, Sicilia e Toscana. Su scala locale l'IRIS (Istituto Ricerche Interdisciplinari sulla Sostenibilità), costituito dalle Università di Torino e di Brescia, ha calcolato l'impronta ecologica per la province di Ancona, Ascoli Piceno, Cagliari, Forlì-Cesena, Pesaro Urbino, Siena e per il comune di Follonica. Anche la Provincia di Bologna ha pubblicato i calcoli relativi all'impronta del proprio territorio.

Nel 2002 **Arjen Y Hoekstra**<sup>10</sup>, direttore del **Water Footprint Network**, ha introdotto, sul modello dell'impronta ecologica, il concetto di **Water Footprint** (Impronta d'acqua) con cui calcolare il contenuto d'acqua di un prodotto.

*"E' sicuramente sempre più facile da spiegare", afferma Hoekstra, "Lo sapevate che solo il 3% dell'impronta idrica del consumatore medio nel Regno Unito riguarda l'utilizzo di acqua in casa?" L'altro 97% proviene dai prodotti che acquistiamo. Lui non sta dicendo che doccia a basso flusso non sono importanti, ma che non sono la storia completa. "Circa il 60% della vostra impronta idrica totale è al di fuori del Regno Unito. Pensate uso dell'acqua in acqua scarseggia Spagna maturano fragole o pomodori per l'esportazione, l'uso di soia in Brasile per alimentare il bestiame nel Regno Unito, o in Pakistan o in Asia centrale per la produzione a basso costo cotone".*

Hoekstra ritiene che il singolo consumatore potrà calcolare la propria impronta idrica semplicemente consultando, come avviene per il calcolo delle calorie, le tabelle nelle quali sono riportati i litri d'acqua richiesti per la produzione dei singoli prodotti.<sup>11</sup>

Lo stesso consumatore potrà comprendere, se si calcola la quantità virtuale di acqua necessaria per fornire un alimento, e rendersi conto della quantità di

---

10. Docente di Gestione delle risorse idriche presso l'Università di Twente Facoltà di Ingegneria Tecnologia, Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Gestione, Enschede, Paesi Bassi

11. <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>

acqua che viene “sprecata” e quindi male utilizzata quando gli alimenti finiscono nella spazzatura. Tabella

<b>Alimento</b>	<b>Acqua necessaria alla produzione in litri</b>
1 Hanburger	2400
1 Fiorentina da 1/2 Kg	8000
1 Uovo	200
Cereali 1 Kg	1543
Aglione 1 Kg	518
Pistacchi 1 Kg	10864
Vaniglia 1 Kg	96649
1 tazza di caffè	140
1 tazza di the	30
1 paio di scarpe di cuoio	8000
1 Kg di pane	1600
1Kg di riso	2500

### **IMPRONTA IDRICA**

Al concetto di acqua virtuale è strettamente legato un altro concetto che definisce l'**impronta idrica** e che a sua volta prende in considerazione le risorse idriche utilizzate sia dal paese sia dagli individui.

Il concetto di impronta idrica, pur non differenziandosi molto da quello di impronta ecologica, pone alla base delle misure l'utilizzo dell'acqua invece dell'utilizzazione del suolo.

L'**impronta idrica** è un **indicatore** che, come i precedenti, consente di calcolare l'utilizzo di acqua, prendendo in considerazione sia l'utilizzo **diretto** che quello **indiretto** del consumatore o del produttore.

Il **calcolo dell'impronta idrica** comprende anche il concetto di **acqua virtuale**, quindi rappresenta non solo il contenuto di acqua reale di un prodotto (materia prima, merce, servizio) ma anche il volume di acqua necessario per rendere tale prodotto disponibile al consumo. Nel calcolo del volume totale di acqua consumata viene inserita anche l'acqua inquinata.

**L'impronta idrica** di un individuo, di una comunità, di un'azienda è definita come **il volume totale di acqua dolce utilizzata per produrre i beni e i servizi consumati da quell'individuo, comunità o impresa.**

Nella formulazione di impronta idrica si considera il volume di acqua totale come somma di tre componenti o categorie:

- ▶ l'impronta idrica blu, ossia il volume di acqua dolce sottratta al ciclo naturale (prelevata dalle acque superficiali e sotterranee ossia fiumi, laghi e falde acquifere) per scopi domestici, industriali o agricoli (in quest'ultimo caso, per l'irrigazione);
- ▶ l'impronta idrica verde, ossia il volume di acqua piovana traspirata dalle piante durante la coltivazione;
- ▶ l'impronta idrica grigia, ossia il volume di acqua inquinata, quantificata come il volume di acqua necessario per diluire gli inquinanti al punto che la qualità delle acque torni sopra gli standard di qualità.

### **L'acqua che usiamo**

Se consideriamo che a livello mondiale il 70% dell'acqua viene utilizzata in agricoltura e nelle zone aride si raggiunge il 90%.

Per un'alimentazione giornaliera a base di carne occorrono 3600 litri di acqua, mentre per una dieta vegetariana ne bastano 2300 litri.

Usiamo molta acqua per bere, cucinare e lavare, ma ancor più per produrre cibo, carta, vestiti in cotone, etc.

**L'impronta idrica di un Paese:** *è il volume totale di risorse idriche utilizzate per produrre i beni e i servizi consumati dagli abitanti della stessa nazione.*

In questa quantità si deve includere l'acqua prelevata dai fiumi, dai laghi e dalle falde acquifere; ed ancora quella impiegata nel settore agricolo, in quello industriale, in quello domestico e tutta l'acqua utilizzata per tutte le attività umane.

Per quale motivo dovremmo preoccuparci della nostra impronta idrica o di quella della collettività di cui facciamo parte?

A questa domanda retorica si risponde con un proverbio giapponese: ***l'acqua caduta dal vassoio non torna indietro***

**L'impronta idrica individuale:** *è la quantità di acqua che ogni individuo utilizza per le sue attività giornaliere.*

Chiedersi a quanto corrisponde la nostra impronta idrica ci aiuta a capire quanta acqua c'è nei beni e nei servizi di cui fruiamo ogni giorno, quindi quanta acqua virtuale.

Ciascuno di noi può calcolare la propria impronta idrica individuale accedendo al footing **calculator**<sup>12</sup> messo a disposizione da Water Footprint Network. Un'opportunità per capire, nel nostro piccolo, quanta acqua "sottraiamo" alla terra e quanta ne potremmo risparmiare.

Confrontando l'impronta di un individuo (o regione, o stato) con la quantità di terra disponibile pro-capite (cioè il rapporto tra superficie totale e popolazione mondiale) si può capire se il livello di consumi del campione è sostenibile o meno.

**Ridurre la propria impronta idrica**, apparentemente, non è molto difficile.

È sufficiente modificare le proprie abitudini con piccoli accorgimenti individuali come:

- chiudere i rubinetti quando non è necessaria l'acqua corrente,
- preferire la doccia al bagno,
- usare le bacinelle per lavare la frutta e così via.

Le difficoltà si presentano quando dobbiamo fare scelte sui beni e sulle merci che compriamo. In questo caso è opportuno valutare quali beni o merci necessitano di grandi quantitativi d'acqua per essere prodotti e anche da dove provengano.

È molto diverso infatti se un bene molto idrovoro viene prodotto in un territorio molto ricco di risorse idriche o in uno che già soffre per carenza d'acqua.

In seguito alle considerazioni evidenziate il comportamento di ciascuno è la conoscenza di quanta acqua serve per produrre un certo alimento, o indumento, o un qualsiasi bene che utilizziamo.

Per produrre un paio di jeans servono 11 mila litri d'acqua.

Altri esempi si possono trovare su internet alle voci: acqua virtuale, impronta idrica e simili.

---

12. <http://www.waterfootprint.org/?page=cal/WaterFootprintCalculator>

## LAVOISIER E L'ACQUA

Gianmarco Ieluzzi

gianmarco.ieluzzi@unito.it

Parlare di acqua fa andare la mente di un chimico alle ricerche di Lavoisier. Come è noto, lo scienziato francese ottenne risultati notevoli dalle sue ricerche tanto che molti storici attribuiscono a quel periodo la nascita di una nuova chimica, moderna e scientificamente attendibile. È qui impossibile ricostruire nei dettagli l'avventura che condusse Lavoisier a dimostrare che l'acqua è una sostanza composta, risultante dalla combinazione, in proporzioni definite, di idrogeno e ossigeno. Questa scoperta gli consentì di contrastare definitivamente la dottrina di Stahl e le successive varianti che imperavano nell'ambito chimico. Siamo infatti nel 1785 e le sue *Réflexion sur le phlogistique*, lette davanti agli accademici di Francia, sono uno spartiacque importantissimo per il cammino della chimica.

Lavoisier, si sa, compì ricerche e indagini che rientravano in un piano mirante ad affrontare i problemi che la chimica del tempo presentava. È bene ricordare al lettore che la teoria scientifica che godeva di maggior credito all'epoca era quella del flogisto, i cui capisaldi riguardavano la combustione dei corpi e la calcinazione dei metalli (in questi fenomeni il flogisto fuggirebbe dai corpi e dunque sono processi di scomposizione), la convinzione che la natura del fuoco e della luce fosse il flogisto, l'esistenza naturale di un acido naturale (di cui gli altri acidi sono modificazioni), e la inveterata tradizione secondo la quale gli elementi dei corpi fossero i quattro famosi elementi (Aria, Fuoco, Terra e Acqua).

Lo scienziato parigino compì nei primi anni Settanta del XVIII secolo ricerche sulla combustione, calcinazione e respirazione, e parallelamente investigò anche la natura degli acidi. Alla fine degli anni Settanta si concentrò sulla natura del fuoco; in tale occasione lavorò assieme a Laplace elaborando la teoria del fluido igneo o calorico. Nell'interpretazione teorica che ne fu data dallo stesso Lavoisier il calorico, imponderabile che partecipava a tutti i fenomeni termici, era la forza molecolare opposta all'attrazione che determinava la affinità tra sostanze. Questa sostanza fluida poteva esistere libera o sotto forma di combinazione corporea e entrava in gioco tanto nelle trasformazioni dei passaggi di stato quanto in fenomeni come calcinazione e combustione. Le sue teorie si opponevano frontalmente alle teorie variamente formulate e rimaneggiate, e sortirono l'effetto di provocare accese controversie, ma non condussero a nessun impegno ontologico da parte dei rimanenti chimici, i quali invece rimanevano persuasi della validità del flogisto.

Fu però il lavoro sulla decomposizione dell'acqua che convinse alcuni chimici ad abbandonare lo stahlismo e nel giro di diversi anni a convertirsi alle teorie di Lavoisier.

La scoperta che l'acqua non fosse un elemento semplice iniziò con esperimenti condotti sin dal giugno del 1783<sup>1</sup>, miranti alla sintesi dell'acqua partendo dalle due *arie*, quella infiammabile e quella deflogisticata. Fu però sul finire dello stesso anno che insieme ai suoi collaboratori Lavoisier procedette alla scomposizione dell'acqua nelle due arie.

Come spesso accade nel corso della storia, questo risultato era nell'aria da qualche tempo. Infatti poco prima, nel dicembre del 1782, l'inglese Priestley, profondo sostenitore del flogisto e pervicacemente anti-lavoisieriano fino alla morte, giunse alla presunta scomposizione dell'acqua in aria in presenza di calce viva quando viene fortemente riscaldata. Dicevo presunta, perché si trovò infatti che l'aria permanente prodotta nell'esperimento non era originata dall'acqua ma proveniva in realtà dall'esterno: le storte usate erano fatte di terracotta e la porosità del materiale consentiva l'ingresso di aria dall'ambiente esterno.<sup>2</sup>

Lo stesso Priestley alla fine di dicembre del 1782 scrisse a Joseph Banks evidenziando tutto il suo scetticismo poiché, ripetendo l'esperimento usando storte di vetro invece che di terracotta, l'esperimento sortiva esito differente. Lavoisier in un esperimento di prova trovò che l'aria proveniva dall'esterno e la comunicò in una memoria critica all'Accademia il 31 maggio 1783. Ma pochi giorni prima lo stesso Priestley scrivendo a James Watt riconobbe la non validità del suo esperimento.

La notizia della trasmutazione dell'acqua in aria svolta dal fisico inglese venne anche data all'italiano Alessandro Volta da Magellan (una "scoperta singolare", scrisse) il 31 dicembre 1782 ma già l'8 agosto dell'anno seguente dovette scrivere la smentita.

---

1. Nell'inverno a cavallo tra il 1781 e 1782 Lavoisier lavorò insieme a Philippe Gengembre dell'aria infiammabile sottoponendola a esperienze di combustione in presenza di ossigeno. Va detto che Lavoisier però aveva in mente la ricerca di un acido, convinto che ogni combustione dovesse produrre un acido, avvenendo queste sempre in presenza di ossigeno.

Un altro tassello di questo mosaico complesso è il ruolo di Gaspard Monge: ripetendo gli esperimenti di Volta nel 1780 non aveva potuto corroborare l'individuazione di acqua come invece era capitato all'italiano.

2. è in una lettera del fisico inglese a Josiah Wedgwood che abbiamo la prima notizia della presunta scoperta, datata 8 dicembre 1782.

Gli storici si sono dati molto da fare per ricostruire con precisione il complesso disegno che portò Lavoisier al brillante risultato della decomposizione. Un ruolo rilevante è stato svolto nella vicenda da Volta e da Cavendish. Ci si è domandati quale fosse il ruolo delle informazioni avute da esperimenti simili a quelli di Lavoisier nel modo in cui il francese ideò i suoi esperimenti per la sintesi dell'acqua. Nel 1783 C. Bladgen, segretario di Cavendish, era a Parigi e comunicò certamente con i chimici francesi. Tralasciando di inoltrarci nella querelle causata da una famosa lettera inviata a von Crell dallo stesso Bladgen in cui lamentava lo scarso peso attribuito da Lavoisier a Cavendish nel ricostruire come fosse pervenuto alla scoperta della sintesi dell'acqua, dobbiamo però riferire che nella fine del 1782 Volta era a Parigi, ed egli ebbe la possibilità di seguire alcuni corsi (tra cui quelli di fisica tenuti da Charles) e frequentare alcuni scienziati tra cui lo stesso Lavoisier.<sup>3</sup> Molti sono gli indizi documentari che fanno ritenere per certo che la presenza di Volta abbia influenzato costruttivamente la sintesi dell'acqua.<sup>4</sup>

Possiamo anche dire che è pacifico stabilire che le esperienze di Volta e di Cavendish (che fu il primo ad osservare la formazione di acqua nell'apparecchio di Volta) furono la base di quelle di Lavoisier e Monge sulla sintesi, avvenuta in un contesto in cui contemporaneamente molti scienziati ci stavano lavorando; ma il primo che fu consapevole del significato fisico di ciò che era avvenuto fu certamente il chimico francese.

Negli anni successivi i molti protagonisti di queste indagini si dibatterono in discussioni, anche accese, e in riformulazioni delle teorie flogistiche. In particolare le teorie elaborate in Gran Bretagna sostenevano che l'acqua fosse un elemento e l'idrogeno e l'ossigeno modificazioni d'acqua ad opera del flogisto.

Nel 1784, in un quadro del genere, Lavoisier procedette a verificare la sua teoria che invece affermava essere l'acqua un composto chimico. Durante il 1783 i primi lanci di palloni aerostatici operati dai fratelli Montgolfier avevano destato notevole interesse nella comunità scientifica e alcuni scienziati, tra cui Lavoisier, furono incaricati d'esaminare la macchina aerostatica. Stabilito che la presenza di aria infiammabile nel pallone fosse di

---

3. Collaborò, tra le altre cose, a ricerche sull'elettricità dell'aria con Lavoisier e Laplace.

4. Ad esempio una lettera di D'Arcet dell'agosto del 1784 (un vapore nebuloso che risulta dalla distruzione delle due arie) e una nota presente nel *Chemische Abhandlung* di Scheele. Da F. Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie, Il mulino*, 1984, p. 296.

gran lunga meglio che riscaldare l'aria in esso contenuta, divenne gioco forza importante la sintesi di aria infiammabile in grosse quantità. Questa necessità spinse Lavoisier e Meusnier a ottenere aria infiammabile dall'acqua. Nei locali dell'*Arsenal*, dove Lavoisier era solito lavorare, ottennero piccole quantità di idrogeno da acqua e ferro arroventato immerso in essa e successivamente facendo fluire acqua in una canna di fucile riscaldata. In questo secondo modo i due poterono ottenere quantitativi di idrogeno ingenti e così sottoposero il loro sistema alla commissione dell'*Académie* per gli aerostati.<sup>5</sup> Lavoisier, come descrive in un suo primo *Mémoire*,<sup>6</sup> si concentra sulla determinazione di un'aria infiammabile specifica, l'idrogeno («air inflammable aqueu») poiché le ricerche chimiche di diversi scienziati avevano a che fare con differenti arie infiammabili (ad esempio l'aria infiammabile nativa delle paludi, ossia il metano). In questo contesto enunciò il nucleo della sua teoria e il suo impegno ontologico: due parti di aria infiammabile acquosa e una parte di aria vitale compongono l'acqua. Scrive:

[...] le due arie, che sono corpi pesanti, non potevano dunque essere scomparse; non potevano essere state distrutte [...] poiché è vero in fisica come in geometria che il tutto è uguale alle sue parti, dal fatto che noi non avevamo ottenuto che acqua pura in questa esperienza, senza altro residuo, ci siamo creduti in diritto di concluderne che il peso di questa acqua era uguale a quello delle due arie che erano state utilizzate per ottenerle.

Continua con la descrizione delle esperienze condotte con Meusnier: usando acqua distillata ottengono ossidazione di limatura di ferro e riducono il minio (ossido misto di piombo II e IV) in aria infiammabile. Questo secondo metodo era già stato usato positivamente da Priestley, ma annota Lavoisier che il fisico inglese non s'era accorto che l'aria infiammabile non poteva essere il flogisto che rientra nel metallo poiché il piombo andava incontro a diminuzione di peso. In realtà l'aria infiammabile si combina con aria vitale e si forma acqua. Dunque la combinazione di calci metalliche (ossigeno e metallo) con aria infiammabile produce metallo e acqua e non sono metalli, come Priestley sosteneva.

5. In due *Mémoires* pubblicate nell'*Histoire* dell'*Académie* sono rintracciabili questi risultati.

6. *Mémoire* dans lequel on a pour but de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recomposition.

Dopo viene descritto il processo di analisi dell'acqua, che susciterà discussioni e critiche da parte dei flogisti. Nel seguente *Mémoire*<sup>7</sup> descrissero come procedettero: una canna di fucile con le due estremità aperte veniva collegata da una parte a un imbuto di ferro con acqua, e poi a un tubo collegato contemporaneamente a una serpentina per la raccolta dei fluidi e a un apparecchio pneumatico per i residue aeriformi. La canna veniva arroventata e l'acqua fatta passare a gocce, e si annota che l'ossigeno dell'acqua si combina con il ferro calcinandolo e l'idrogeno si svolge sotto forma di gas. Nel Trattato elementare di chimica scriverà:

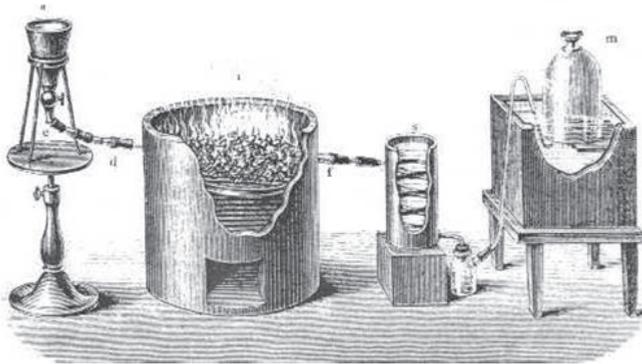
«Il risultato di questa esperienza presenta una vera ossidazione del ferro per mezzo dell'acqua; ossidazione tutta simile a quella che si fa nell'aria col soccorso del calore. Cento grani d'acqua sono stati decomposti: 85 grani di ossigeno si sono uniti al ferro, per costituirlo nello stato di ossido nero, e si sono sviluppati 15 grani di un gas infiammabile particolare. Dunque, l'acqua è composta di ossigeno e della base di un gas infiammabile nella proporzione di 85 parti contro 15». Al gas infiammabile «ci troviamo costretti a dare un nome e il più adatto ci è sembrato quello di idrogeno, cioè principio generatore dell'acqua». <sup>8</sup>

I due scienziati continuarono le loro esperienze, usando anche gasometri fatti costruire da Pierre Mégnié per misurare i volumi dei gas.

I loro risultati ebbero immediatamente risonanza in Europa e la teoria di Lavoisier, basata sul calorico e sulla combustione e a cui i lavori sull'acqua diedero robusta corroborazione, si affermò come totalmente inconciliabile con lo stahlismo.

7. *Memoire ou l'on prouve, par la decomposition de l'eau, que ce fluide n'est point une substance simple, et qu'il y a plusieurs moyens d'obtenir en grand l'air inflammable qui y entre comme principe constituant*, Paris, 1784.

8. Trattato elementare di chimica, tradotto in italiano per l'uso del corpo regale dell'artiglieria di Napoli, presso Donato Campo, 1791, Tomo primo, pp. 82 e segg.



### **Bibliografia**

F. Abbri, *Le terre, l'acqua, le arie*, Il mulino, Bologna (1984).

M. Beretta, *Lavoisier; la rivoluzione chimica*, Le Scienze S.p.A., Milano (1998).

J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, Dover Publications Inc., New York (1989)

B. Bensaude-Vincent e I. Stengers, *A History of Chemistry*, Harvard University Press, Cambridge (1996)

## ACQUA DOLCE DAL MARE

Giorgio Nebbia

Università di Bari, nebbia@quipo.it

### **Non una goccia da bere**

"Acqua, acqua dovunque / e non una goccia da bere". Il vecchio marinaio della "Ballata" del poeta inglese Coleridge aveva di fronte, dopo il naufragio, una distesa di acqua imbevibile ed era tormentato dalla sete. Milioni di chilometri delle coste del pianeta sono toccati dall'acqua salata dei mari e non hanno acqua dolce: così diventa difficile viverci, sviluppare l'agricoltura e il turismo. Si prova quasi rabbia a pensare di essere circondati da enormi quantità di acqua imbevibile, per l'eccessivo contenuto di sali disciolti, e di non avere acqua potabile.

Questo stesso senso di disperazione deve aver colpito milioni di navigatori e di abitanti delle isole, nel corso dei secoli, e molti devono essersi chiesti come togliere i sali dall'acqua di mare in modo da recuperare acqua a basso contenuto salino, adatta per bere. L'acqua di mare, come è ben noto, contiene disciolti circa 35 grammi di sali in un litro, e di questi 29 sono costituiti da cloruro di sodio. L'acqua potabile non deve contenere, invece, più di 0,5 grammi di sali totali disciolti in un litro. Per trasformare perciò l'acqua di mare in acqua dolce occorre eliminare circa il 98 - 99 per cento dei sali che contiene.

La storia è ricca di tentativi di dissalare l'acqua marina e qualche volta l'operazione è stata condotta con successo. Plinio nella sua "Storia naturale" riferisce che si può recuperare acqua dolce facendo condensare su velli di pecora, posti sulla superficie del mare, il vapore che si solleva spontaneamente: infatti il calore solare fa evaporare dalla superficie del mare dell'acqua; se il vapore viene a contatto con una superficie relativamente fredda e molto estesa, come quella dei peli di una pelle di animale, una parte del vapore acqueo si condensa sotto forma di acqua priva di sali.

### **Dall'alchimia alla tecnologia**

In alcune opere latine o arabe del Medioevo si trova qualche accenno a processi di dissalazione, ma è difficile dire se effettivamente qualcuno di questi processi è stato applicato per ottenere acqua potabile. Soltanto a parti-

re del XVI secolo si hanno notizie di veri e propri distillatori di acqua marina; uno di questi salvò la vita dei soldati di Filippo II assediati, nel 1560, dai Turchi nell'isola di Djerba, nell'attuale Tunisia.

Questi distillatori --- derivati dagli alambicchi già noti nel Medioevo --- erano costituiti da caldaie metalliche più o meno rudimentali, riempite di acqua marina; sotto la caldaia veniva acceso un fuoco che faceva evaporare una parte dell'acqua; dalla caldaia usciva un tubo metallico nel quale entrava il vapore. A contatto con l'aria fredda esterna il vapore in parte condensava sotto forma di acqua dolce.

Nel 1589 Giovan Battista Della Porta, nel suo trattato sulla "Magia naturale", un'opera ricca di informazioni di fisica, chimica, ottica, alchimia, eccetera, descrive addirittura un distillatore di acqua marina che utilizza come fonte di calore l'energia solare, un'anticipazione dei moderni distillatori solari. Della Porta espone anche un ingegnoso sistema per recuperare acqua dolce facendo condensare il vapore acqueo dell'atmosfera su un recipiente pieno di ghiaccio.

A partire dalla metà del 1600, con la prima rivoluzione scientifica e con la diffusione delle navigazioni a grandi distanze, il problema della trasformazione dell'acqua di mare in acqua dolce diventa molto importante e viene affrontato con metodi scientifici. Cominciano ad esserci in ballo anche molti soldi; chi riesce ad inventare qualche sistema di dissalazione efficace attira l'interesse dei governi e ottiene dei premi in denaro e molta pubblicità: proprio come avviene oggi per qualsiasi invenzione che colpisca la fantasia e risolva, o dia l'impressione di risolvere, qualche importante problema. E cominciano, anche, le liti per la priorità delle varie invenzioni, in un tempo in cui ormai la proprietà di una invenzione è protetta da brevetti.

Il primo brevetto per un distillatore di acqua marina fu assegnato in Inghilterra nel 1675 a un inventore di nome Walcot; qualche anno dopo un certo Robert Fitzgerald, parente del grande fisico Robert Boyle, ottenne, in società con quattro finanziatori, un altro brevetto per rendere dolce e potabile l'acqua marina e salmastra. Boyle era un uomo potente a corte e sostenne Fitzgerald che pubblicò un volume illustrativo dell'invenzione (un dépliant pubblicitario, si direbbe oggi), ben presto tradotto in latino, francese, tedesco e olandese; una commissione scientifica esaminò l'acqua distillata e la trovò "di ottima qualità". Fu addirittura pubblicata una poesia che esaltava l'invenzione e furono coniate delle monete commemorative d'argento, conservate al British Museum di Londra.

In quella miscela di scienza e affari che caratterizzò l'avvio della rivoluzione industriale, Fitzgerald e i suoi soci riuscirono a vendere al governo inglese vari distillatori che furono installati sia a bordo delle navi, sia a terra, nelle isole inglesi del canale della Manica. Davanti al successo del rivale, Walcot rivendicò la priorità della sua invenzione e tutti e due finirono per tribunali, con periti che difendevano l'uno o l'altro, finché nel 1695 fu riconosciuto che era stato Walcot il primo a inventare il distillatore.

### **Acqua dolce per i naviganti sugli oceani**

Questa polemica brevettistica ebbe così grande risonanza in tutta Europa, che vari altri studiosi e inventori si dedicarono alla costruzione di distillatori di acqua marina. Nel 1717 un medico francese, Gautier, presentò all'Accademia delle Scienze di Parigi un dispositivo che ebbe qualche successo e fu installato sulle navi che attraversavano gli oceani. Il sistema era abbastanza ingegnoso; il vapore acqueo che si formava nella caldaia piena di acqua marina, scaldata a legna, si condensava su una estesa superficie metallica ondulata raffreddata ad aria e disposta in modo da consentire la condensazione anche se il distillatore non era perfettamente orizzontale. Il sistema, insomma, si prestava bene per essere applicato proprio sulle navi esposte al rullio.

All'inizio del 1700 il traffico mercantile oceanico era così intenso che il problema di avere acqua dolce divenne sempre più urgente; per tutto il XVIII secolo si succedettero inventori e costruttori di distillatori di acqua marina che venivano usati sempre più spesso a bordo delle navi. I grandi esploratori del 1700, Bougainville, Wallis e Cook, nei loro viaggi nell'Oceano Pacifico, utilizzarono apparecchi per ottenere acqua dolce distillando l'acqua di mare.

Col passare del tempo dovettero essere affrontati altri problemi: l'acqua dolce a bordo della navi subiva alterazioni e putrefazioni, veniva invasa da alghe e diventava puzzolente. In questo periodo nasce un importante capitolo dell'igiene marittima, i cui risultati sarebbero poi stati utilizzati con successo nei secoli successivi.

Ma intanto erano maturi i tempi per altre invenzioni. Cook nel gennaio 1773 riferisce di essere riuscito a rifornire di acqua potabile la sua nave recuperando acqua dolce dalla fusione dei ghiacci galleggianti. Sembra che sia stata questa una delle prime osservazioni che nei mari freddi le grandi masse di ghiaccio, costituite da acqua solida priva di sali, sono utilizzabili come fonte di acqua potabile. La stessa idea di ottenere acqua dolce dai ghiacci galleggianti ha indotto, alcuni anni fa, alcuni imprenditori arabi a

costituire una società con l'obiettivo di trasportare dei grossi iceberg dai mari polari nelle zone aride. Si dava per scontato che una parte del ghiaccio sarebbe fuso durante la navigazione e l'acqua dolce sarebbe andata perduta; la parte di iceberg che fosse arrivata solida nel porto di destinazione, fondendo avrebbe fornito, secondo i proponenti, acqua dolce molto meno costosa di quella ottenuta per dissalazione.

Alla fine del 1700 un professore di Verona, Anton Maria Lorgna, per ottenere acqua dolce dal mare della Laguna Veneta, mise a punto un sistema di dissalazione basato sul congelamento. Non avendo a disposizione dei frigoriferi, Lorgna dovette accontentarsi di condurre i suoi esperimenti durante l'inverno, in maniera avventurosa; metteva dei vasi contenenti acqua di mare fuori dalla finestra, separava il ghiaccio, lo faceva fondere e ne misurava la salinità. Alla fine "trassi dunque una misura di acqua dal gelo --- racconta in una delle sue memorie scientifiche --- e la feci evaporare. Non ebbi come residuo avanti alcun vestigio salino, né sedimento". Insomma l'acqua ottenuta fondendo il ghiaccio formato nell'acqua di mare, era dolce, priva di sali.

Ma la fantasia di Lorgna lo indusse a cercare di recuperare acqua dolce, sempre per congelamento, anche dall'urina: e riuscì nei suoi esperimenti. L'interesse di questa citazione sta nel fatto che qualche anno fa sono stati resi noti i risultati di prove fatte negli Stati Uniti, certamente ignorando l'illustre precedente, sulla possibilità di recuperare, per congelamento, acqua dolce dall'urina degli astronauti a bordo dei veicoli spaziali.

L'avvento delle navi a vapore nel diciannovesimo secolo pose fine all'uso dei rudimentali alambicchi impiegati per la distillazione dell'acqua di mare; era infatti più facile ottenere acqua dolce utilizzando il vapore delle caldaie, recuperato in un semplice condensatore. Un dispositivo di questo tipo permise di rifornire di acqua dolce le truppe inglesi in Egitto nel 1884. Furono inoltre costruiti e utilizzati dei distillatori moderni di cui, a partire dall'inizio del 1900, la maggior parte delle navi venne dotata.

### **Progressi tecnici**

L'era moderna della dissalazione si può dire cominciata con le grandi siccità verificatesi in California fra il 1930 e il 1940. Fu però specialmente durante la seconda guerra mondiale, quando milioni di persone di tutti i paesi furono costrette a vivere in zone aride e in isole deserte, che il problema della dissalazione dell'acqua di mare si presentò sotto nuove prospettive e solo l'acqua dolce ottenuta dal mare riuscì a salvare innumerevoli vite.

Dopo la fine della seconda guerra mondiale la dissalazione apparve come un mezzo per far fronte alle crescenti necessità idriche dell'umanità. Nel 1952 lo Stato della California finanziò un programma di ricerche nel campo della dissalazione delle acque salmastre e dell'acqua di mare e nello stesso anno, nell'ambito del Dipartimento dell'Interno degli Stati Uniti, fu creato uno speciale ufficio, l'Office of Saline Water, con il compito di incoraggiare ricerche di base e la costruzione di impianti sperimentali.

Il 23 febbraio 1961 John Kennedy, allora presidente degli Stati Uniti, lanciò un messaggio per sottolineare l'importanza della dissalazione. "Nessun programma ha maggiore importanza per il futuro, non solo per noi, ma per i paesi aridi di tutto il mondo, della ricerca di un mezzo efficiente ed economico per trasformare l'acqua degli oceani, la più grande, gratuita riserva idrica della natura, in acqua usabile dagli uomini e dalle industrie. Tale realizzazione metterebbe fine alle lotte fra vicini, fra stati e nazioni e darebbe nuove speranze a quanti soffrono per la mancanza di acqua dolce e di tutti i relativi vantaggi materiali ed economici, pur passando la loro vita stentata accanto ad un'enorme massa di acqua".

Negli anni successivi l'Office of Saline Water pubblicò oltre 600 rapporti scientifico-tecnici (la rarissima collezione completa si trova a Brescia presso la Fondazione Luigi Micheletti) nei quali sono contenute anche molte idee che potrebbero ispirare nuovi processi. Come risultato, negli anni sessanta del Novecento fu possibile perfezionare vari sistemi di dissalazione, fra cui quelli che oggi sono applicati su larga scala.

## **Oggi e domani**

La separazione di una certa quantità di acqua priva o povera di sali dall'acqua di mare (o dalle acque salmastre) "costa" energia, quella necessaria per superare la forza che tiene insieme le molecole di acqua e quelle dei sali disciolti. La termodinamica mostra che il minimo consumo teorico di energia per la separazione di un metro cubo di acqua priva di sali da una quantità infinita di acqua marina risulta, a 25°C, circa 2,5 MJ. Questo potrebbe essere considerato il minimo "costo energetico" dell'acqua dissalata.

La produzione di acqua dissalata nel mondo è passata da 3 miliardi di m<sup>3</sup>/anno nel 1990 agli attuali (2014) 25 miliardi di m<sup>3</sup>/anno ed è in continuo aumento, soprattutto nei paesi del Golfo Persico. Tale produzione è ottenuta per circa un terzo in impianti di distillazione a effetti multipli sotto vuoto, o

multiflash, un perfezionamento, realizzato oltre mezzo secolo fa, dei distillatori a effetti multipli. Gli impianti multiflash sono per lo più abbinati a centrali termoelettriche a combustibili fossili e utilizzano in parte vapore per l'evaporazione e in parte elettricità per azionare le pompe per la circolazione dell'acqua e per il vuoto. Il costo energetico dell'acqua distillata in questi impianti è in continua diminuzione, grazie a perfezionamenti tecnici, in gran parte di natura chimica, relativi ai materiali impiegati per gli scambiatori di calore e alla diminuzione delle incrostazioni e precipitazioni dei sali nelle varie fasi del processo. Circa la metà dell'acqua di mare in entrata viene eliminata sotto forma di salamoia. Il processo richiede circa 100 MJ di calore e 2 – 3 kWh di elettricità per ogni m<sup>3</sup> di acqua dissalata, un valore circa 40 volte superiore al “costo energetico minimo”.

I due terzi dell'acqua dissalata nel mondo sono ottenuti negli impianti a osmosi inversa, l'unica veramente nuova tecnologia di dissalazione messa a punto negli anni 50 in seguito alla scoperta che alcune membrane, originariamente di acetato di cellulosa e poi di materiali sintetici, possono essere preparate con delle asimmetrie sulle due facce, un successo di ricerche chimiche dovuto in gran parte all'israeliano Sidney Loeb.

Comprimendo l'acqua da dissalare ad una pressione di 40-80 bar (la pressione osmotica dell'acqua di mare è 27 bar) su una delle due facce della membrana, attraverso la membrana passa acqua con basso contenuto salino mentre dall'altra parte resta una soluzione (salamoia) con salinità superiore a quella dell'acqua originale. Nel caso dell'acqua di mare il consumo di elettricità per le pompe e i compressori è ormai 3 – 4 kWh/m<sup>3</sup> di acqua dissalata, circa 6 volte il “costo energetico minimo”. Il processo di osmosi inversa si presta bene ed è largamente usato anche per la dissalazione di acque salmastre.

Un importante problema riguarda lo smaltimento delle salamoie che si formano in entrambi i processi; la loro immissione di nuovo nel mare può provocare alterazione degli ecosistemi costieri.

Non ha superato la fase sperimentale il pur ingegnoso sistema di dissalazione per congelamento sotto vuoto di parte dell'acqua di mare, con recupero del vapore che si forma e di acqua dolce per fusione del ghiaccio, inventato dal chimico israeliano Aleksander Zarchin, un emigrato dall'Unione Sovietica. Gli ingegnosi sistemi di dissalazione con l'uso dell'energia solare consentono la produzione di acqua dolce solo in piccole quantità, qualche litro al giorno per ogni m<sup>2</sup> di superficie esposta al Sole, adatti peraltro per piccole comunità, famiglie, residenze turistiche nelle isole o sulle coste aride.

A titolo di conclusione si può affermare che in futuro aumenterà la diffusione di impianti di dissalazione soprattutto nelle zone in cui è, o si farà, scarsa la disponibilità di acqua per le città e le industrie. Vorrei raccomandare ai colleghi chimici di prestare qualche attenzione ai numerosi processi che sono stati proposti ma non hanno superato la fase sperimentale a causa di insufficiente sperimentazione o di mancanza di adatti materiali. Nei processi di dissalazione il ruolo della chimica è preponderante; il successo dell'osmosi inversa è partito da una semplice osservazione di fenomeni chimico-fisici; altre simili osservazioni potrebbero ispirare nuovi processi di dissalazione essenziali per alleviare dalla sete milioni di terrestri che vivono vicino al mare o in zone contenenti acque salmastre.



Impianto di dissalazione negli Emirati Arabi Uniti  
<http://flickr.com/photos/70594506@N00/416477696>





AREE SCIENTIFICO–DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – Scienze fisiche

AREA 03 – **Scienze chimiche**

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione

AREA 10 – Scienze dell'antichità, filologico–letterarie e storico–artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

*Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su*

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)

Compilato il 3 luglio 2014, ore 12:38  
con il sistema tipografico  $\text{\LaTeX}$  2 $\epsilon$

Finito di stampare nel mese di luglio del 2014  
dalla «ERMES. Servizi Editoriali Integrati S.r.l.»  
00040 Ariccia (RM) – via Quarto Negroni, 15  
per conto della «Aracne editrice S.r.l.» di Roma