

VITTORIO GEROSA

IL POSTO DI FELICE FONTANA NELLA STORIA DELLA CHIMICA

Senza alcun dubbio Felice Fontana (Pomarolo (Trento) 1730 - Firenze - 1805) può essere collocato fra i più importanti scienziati italiani del sec. XVIII, assieme ad Alessandro Volta e Lazzaro Spallanzani.

Egli fu una mente poliedrica, le cui attività scientifiche spaziavano dall'anatomia, alla fisiologia, alla patologia, alla farmacologia, alla tossicologia, alla fisica, alla chimica, alla botanica ecc.

Non è il caso di accennare in questa sede alla sua biografia, già descritta magistralmente da Mangili, Adami, Guareschi e Vedrani.

Scopo di questo lavoro è quello di mettere nella giusta luce i lavori di Felice Fontana di contenuto *fisico*, *chimico-fisico* e *chimico*, in modo da rivendicare allo scienziato trentino quei meriti, che per lunghissimi anni sono stati ignorati o quanto meno sottaciuti, anche da vari storici delle scienze.

Un campo di ricerca nel quale Felice Fontana ha sviluppato i suoi lavori sperimentali è senz'altro quello dei gas ed i suoi lavori sono contemporanei a quelli di Priestley (col quale era legato da profonda amicizia), di Scheele e di Lavoisier.

Forse ha nociuto alla fama di Felice Fontana l'essere stato seguace, fino alla fine, assieme a Priestley, della teoria del *flogisto* ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ La teoria del *flogisto*, principio materiale combustibile, è descritta da J.J. Becher, il quale ammette che i corpi siano costituiti da tre generi di terre, la prima vetrificabile, la seconda grassa e la terza sottile, denominata mercurio o arsenico. La prima terra conferisce alla sostanza la materialità e la sostanza. La seconda dà la consistenza ed altre proprietà (colore, sapore ecc.), mentre la terza attribuisce ai corpi la forma, la penetrabilità, l'odore, la lucentezza, ecc. Successivamente G. E. Stahl sviluppa la teoria di Becher e considera i metalli come sostanze miste o composte. Egli ipotizza che nel riscaldamento dei metalli venga eliminato il *flogisto* e che non avvenga alcuna combinazione chimica.

Nei suoi numerosi esperimenti egli considera l'aria solamente come solvente del *flogisto*, per cui una certa quantità d'aria può sciogliere una quantità limitata di

LAVORI DI CARATTERE FISICO

I lavori si possono riassumere nei seguenti punti:

- 1) Studi sulla compressibilità dei gas, verifica ed estensione della legge di Boyle a diversi altri gas ottenuti artificialmente;
- 2) Proprietà generali dei solidi, dei liquidi e dei gas;
- 3) Studi sulla solubilità dell'aria nell'acqua;
- 4) Studi sull'evaporazione dei liquidi nell'aria *non rinnovata*;
- 5) Costruzione e perfezionamento di apparecchi vari.

1) COMPRESSIBILITÀ DEI GAS

Su questa ricerca Felice Fontana sottopone a numerose prove di compressibilità ben dodici gas e cioè:

- *aria deflogisticata* (ossigeno)
- *aria flogisticata* (azoto)
- *aria infiammabile* (idrogeno)
- *aria nitrosa* (ossido di azoto, diossido di azoto)
- *aria fissa* (biossido di carbonio)
- *aria vitriolica* (biossido di zolfo)
- *aria acida marina* (acido cloridrico)
- *aria alcalina* (ammoniaca)
- *aria regia dello stagno, dell'oro, della platina* (cloruro di nitrosile) ⁽²⁾
- *aria spatosa* (?)
- *aria arsenicale* (idrogeno arsenicale)
- *aria epatica* (idrogeno solforato)

Le singole prove sono effettuate dal Fontana servendosi dell'aria comune come termine di paragone e le varie differenze di comportamento sono praticamente trascurabili.

flogisto. Quest'ultimo viene ritenuto una sostanza volatile, particolarmente leggera, che comunica la sua volatilità alle particelle delle sostanze con le quali si può combinare. Egli ammette che i metalli nella calcinazione perdano la loro compattezza, favorendo la volatilizzazione del flogisto. L'aumento di peso nella formazione delle calci metalliche (ossidi) viene spiegato dal fatto che il flogisto non è soggetto alla gravitazione, ma tende a disperdersi verso l'alto. Vari studiosi di quel tempo hanno attribuito al flogisto un peso negativo.

⁽²⁾ Felice Fontana ha ottenuto questo gas per azione dell'acqua regia sullo stagno, sull'oro e sul platino. Il gas è costituito, da cloruro di nitrosile NOCl, oltre che da NO₂.

Il Fontana osserva che tutti questi gas artificiali (*arie fattizie*) seguono la legge di Boyle, dimostrando che l'elasticità dei gas è una proprietà specifica di questi fluidi.

2) PROPRIETÀ GENERALI DEI SOLIDI, DEI LIQUIDI E DEI GAS

In questo lavoro il Fontana accenna alla coesione dei solidi (*principio di attrazione delle particelle*) e spiega l'esistenza dei fluidi come un equilibrio fra la coesione e le forze di repulsione. Successivamente lo scienziato mette in evidenza che nel raffreddamento prevale la coesione, per cui i fluidi solidificano, mentre col riscaldamento entra in gioco un'altra forza, chiamata dal Fontana *Forza Espansiva* (che corrisponde modernamente all'aumento del moto delle molecole), considerata certamente non inferiore alla forza di gravità.

Il Fontana constata che non solo i liquidi evaporano, ma possono passare allo stato di vapore anche i solidi (noi diciamo che *sublimano*) e fa notare che i liquidi *non* sono compressibili, ma che si dilatano con il riscaldamento.

Lo scienziato accenna a questo punto alla *tensione di vapore* dei liquidi, chiamata *forza de' vapori* e tratta del *calore latente di solidificazione*, messo in libertà dai liquidi che solidificano, così come pure ricorda il *calore latente di evaporazione*, che deve essere fornito al sistema per trasformare completamente in vapore i liquidi all'ebollizione.

Relativamente ai gas, egli osserva che la caratteristica fondamentale è quella che sono molto compressibili e per quanto riguarda la loro solubilità in acqua, li divide in tre categorie:

A) Gas solubili:

- *aria acida marina* (acido cloridrico)
- *aria vitriolica* (biossido di solfo)
- *aria alcalina* (ammoniaca)
- *aria spatosa* (?)

B) Gas parzialmente solubili:

- *aria fissa* (biossido di carbonio); (*un volume di gas si scioglie in un volume di acqua*)

C) Gas insolubili:

- *aria nitrosa* (ossido di azoto) ⁽³⁾
- *aria infiammabile* (idrogeno)
- *aria deflogisticata o purissima respirabile* (ossigeno) ⁽³⁾
- *aria flogisticata* (azoto) ⁽³⁾

Infine il Fontana fa un'ultima osservazione sull'*aria infiammabile*, che in assenza d'aria non brucia sul carbone rovente, nè una candela può ardere nell'atmosfera di questo gas.

3) STUDI SULLA SOLUBILITÀ DELL'ARIA NELL'ACQUA

Il Fontana aveva già notato che l'*aria deflogisticata* (ossigeno) è più solubile dell'*aria flogisticata* (azoto) nell'acqua. Il Kirwan asserisce che il Fontana gli ha comunicato che l'acqua assorbe 1/14 del suo volume di ossigeno e solo 1/28 di aria comune. Tale scoperta è di indubbio valore soprattutto dal punto di vista biologico.

4) STUDI SULL'EVAPORAZIONE DEI LIQUIDI

Il Fontana esegue numerosi esperimenti sull'evaporazione di diversi liquidi in un ambiente gassoso *non rinnovato* ⁽⁴⁾.

5) COSTRUZIONE DI APPARECCHI

Il Fontana perfeziona un apparecchio per misurare l'umidità atmosferica (igrometro) e migliora la sensibilità del barometro per ottenere rilievi altimetrici più accurati. Costruisce infine un nuovo apparecchio che consente la divisione dei quadranti astronomici, usando un reticolo di fili di ragnatela.

⁽³⁾ In realtà, come verrà spiegato più avanti (vedi punto 3), sia l'*aria nitrosa* (in cui l'ossido di azoto si trasforma rapidamente in biossido all'aria) sia l'ossigeno che l'azoto hanno una certa solubilità in acqua. Lo stesso Fontana fa presente tale fatto.

⁽⁴⁾ L'A. non ha avuto a disposizione il lavoro relativo.

LAVORI DI CARATTERE CHIMICO-FISICO

1) POTERE ADSORBENTE ⁽⁵⁾ DEL CARBONE

Un esperimento di carattere chimico-fisico è stato effettuato dal Fontana con l'importante scoperta del potere *adsorbente* del carbone.

Egli riempie un recipiente di pezzetti di carbone di legna, vi versa altri pezzetti accesi, lo chiude subito dopo e fa raffreddare il pallone, che viene pesato. Il Fontana apre il recipiente, lo lascia a riposo per qualche tempo e lo ripesa, annotando l'aumento relativo. Successivamente fa agire il vuoto sul recipiente o immerge i pezzetti di carbone in acqua, riuscendo ad estrarre dal carbone mediante i due diversi procedimenti una grande quantità d'aria, la cui composizione rivela una preponderante percentuale di *aria deflogisticata* (azoto) assieme a quantità variabili di *aria fissa* (biossido di carbonio) e una ridotta percentuale di aria comune.

La composizione del miscuglio gassoso riflette fedelmente i fenomeni che si sono verificati nell'esperimento. Il biossido di carbonio proviene infatti dalla parziale combustione del carbone ⁽⁶⁾, in modo da ridurre sensibilmente l'ossigeno dell'aria. Successivamente il Fontana compie altri esperimenti di *adsorbimento*, usando altri tipi di gas.

Il Fontana fa delle prove di *adsorbimento* in altre condizioni sperimentali. Egli dispone di un bagno di mercurio nel quale pesca un recipiente di vetro che contiene aria comune. Successivamente spegne nel mercurio dei pezzetti di carbone acceso, facendo in modo che questi ultimi passino nel recipiente senza essere in contatto con l'aria esterna e nota che l'aria *scompare*. La scoperta del Fontana è fondamentale e molto importante ed è confermata dal Priestley in una lettera al Bewly (in data 6-3-1779) con la frase seguente: «Una scoperta curiosa che, se si medita, darà forse dei nuovi chiarimenti, è quella che l'abate Fontana ha fatto, cioè la proprietà singolare che ha il carbone acceso poi spento, di attirare e assorbire delle grandi quantità d'aria quando si raffredda». Il Priestley

⁽⁵⁾ Non si confonda l'*adsorbimento* con l'*assorbimento*. Quest'ultimo è un fenomeno prettamente fisico, dovuto alla capillarità. Il primo invece è molto più complesso, di natura chimico-fisica e legato all'enorme sviluppo superficiale della sostanza *adsorbente*. Il carbone di legna ne è l'esempio tipico. Nella sua preparazione, il prodotto risulta estremamente poroso, per cui vi è uno stragrande numero di atomi di carbonio superficiali, che esercitano un'attrazione sulle molecole gassose, in particolare su quelle polari. Si pensi che un grammo di carbone attivo, ottenuto con speciali procedimenti, può avere uno sviluppo superficiale di molti metri quadrati.

⁽⁶⁾ È probabile che nelle combustioni parziali del carbone si sia formato del monossido di carbonio.

ricorda inoltre nelle sue opere tale scoperta. Le ricerche in questo campo furono confermate ed estese da altri scienziati e cioè il Priestely, lo Scheele, il Lametherie, il Morveau, il Morozio ecc.

La scoperta ha un grandissimo interesse pratico. Si pensi all'uso delle maschere antigas, alla rigenerazione di ambienti gassosi inquinati, all'uso di vari deodoranti, per non citare che alcune applicazioni di questo principio.

LAVORI DI CARATTERE CHIMICO

I lavori di carattere prettamente chimico, che Felice Fontana ha svolto nei suoi numerosissimi esperimenti, sono i seguenti:

- 1) Scoperta della costanza del peso nelle reazioni chimiche;
- 2) Ricerche sull'*aria nitrosa* e *deflogisticata*;
- 2a) Preparazione dell'ossigeno;
- 2b) Determinazione quantitativa dell'ossigeno;
- 3) Preparazione del *gas d'acqua*;
- 4) Studi sull'*aria fissa*;
- 5) Scoperta della costanza della composizione dell'aria atmosferica;
- 6) Studio sui gas che si ottengono dalle differenti specie di acqua;
- 7) Studio sulla trasformazione dell'acqua in terra;
- 8) Analisi mineralogiche.

1) SCOPERTA DELLA COSTANZA DEL PESO NELLE REAZIONI CHIMICHE

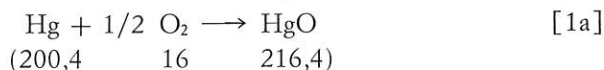
Consultando la lettera al prof. Murray sopra le nuove teorie *svezesi*, il Fontana critica l'ipotesi di Bergman, secondo la quale il calore è formato da *flogisto* e *aria purissima* «e che in questo stato passi liberamente attraverso a tutti i corpi». Allo scopo lo scienziato roveretano compie un esperimento classico, che sarà poi fatto anche da Lavoisier. Egli riscalda per lungo tempo (molti mesi) un'oncia di mercurio in un recipiente aperto e nota che il peso finale è aumentato di 1/8.

La reazione è nota ed è data dalla [1]:

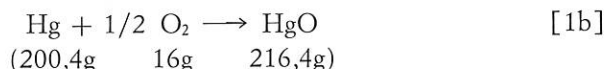


seconda la [1] un atomo di mercurio (peso atomico 200,4) si combina con un atomo di ossigeno (peso atomico 16) per dare ossido di mercurio (II).

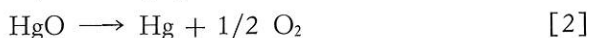
La stechiometria della reazione è la seguente [1a]:



Concludendo, un grammo atomo di mercurio si lega ad un grammo atomo di ossigeno per dare una mole di ossido di mercurio e cioè si ottiene la [1b]:



Il Fontana si esprime con queste parole: «Si trova ch'è cresciuto (il peso iniziale) di 1/8 circa del peso primitivo». In effetti, se osserviamo la stechiometria della reazione, l'effettivo aumento di peso del composto è proprio di 1/8. Con questo esperimento il Fontana non solo getta le basi per la futura legge che verrà attribuita a Lavoisier, ma la reazione contiene in embrione la legge di Proust. Il Fontana però non si ferma a questo punto. Egli prosegue l'esperimento, riscaldando a temperatura più alta l'ossido di mercurio, che a sua volta ridà il mercurio di partenza e ossigeno (*aria purissima*) cioè la [2]:



Il Fontana sottolinea la prova con questa frase: «Si revivifichi ora col solo fuoco la calce del nostro matraccio, e si ricevano i prodotti in vasi adatti. Il mercurio ritornerà ad un'oncia, come era prima di calcinarsi e sortirà *aria purissima* dal collo, cioè il peso, di cui era cresciuto il mercurio per l'aria certamente, che gli era unita, o per meglio dire da materia cavata dall'aria».

E in seguito il Fontana afferma: «Qui non si fa vedere decomposizione alcuna di calore, perché l'aria sortita è uguale in peso all'accrescimento della calce (ossido di mercurio) e non maggiore».

Fontana confuta magistralmente la teoria *svezze* con queste parole: «Se vi fosse stata la decomposizione del calore e la produzione di *nuova* aria 'pura, che è uno de' componenti nell'ipotesi *svezze*, sarebbe sortita dal matraccio una più grande quantità di aria e di peso molto maggiore, perché vi sarebbe stata tutta quella del matraccio, che era un ottavo di oncia, e l'altra del calore decomposto».

Il Fontana prosegue nei suoi esperimenti, allo scopo di dimostrare che nelle reazioni chimiche il peso rimane *invariato* prima e dopo la reazione. Esegue a questo riguardo numerosi esperimenti con la polvere pirica, lo zolfo, il fosforo, ecc., ponendo le singole sostanze in palloni di vetro e chiudendo ermeticamente il collo prima di eseguire la prova.

Mediante una lente il Fontana innesca la reazione e constata che il pallone prima e dopo la reazione rimane *invariato*, se la seconda pesata viene effettuata sul pallone raffreddato a temperatura ambiente.

Nelle prime prove invece egli eseguiva la pesata dei recipienti prima che fossero raffreddati completamente ed otteneva logicamente un peso *minore*.

2) RICERCHE SULL'ARIA NITROSA E SULL'ARIA DEFLOGISTICATA

Premessa

È questo il lavoro più ponderoso, che in particolare si presta ad una interpretazione chimica moderna, relativa alle complesse reazioni che avvengono specialmente nella prima parte della ricerca.

È pertanto intenzione dell'Autore mettere in evidenza in un primo tempo il contributo di Fontana sull'argomento, per poi passare ad un adeguato commento dei singoli processi che avvengono nell'ambito del chimismo relativo ai fenomeni studiati.

Il Fontana ottiene *aria nitrosa* per azione dell'acido nitrico ⁽⁷⁾ su diversi metalli e dà alcune indicazioni sulla sua composizione. Riguardo alla solubilità dell'*aria nitrosa* in acqua, quest'ultima, secondo Priestely, ne scioglie appena un decimo del proprio volume. Il Fontana espone successivamente le ipotesi di Priesley e di Bewly sulla natura di questo gas, che contiene vapori di acido nitrico.

Da numerosi esperimenti eseguiti sull'*aria nitrosa* il Fontana nota, come Priestley ed altri, che quest'ultima riduce il volume dell'aria comune con cui è a contatto e riesce inoltre a stabilire una proporzionalità fra le diminuzioni di volume dell'aria in esame e la relativa *salubrità* (maggiore contenuto di *aria deflogisticata* o di ossigeno).

Sottoponendo il miscuglio di *aria nitrosa* e di aria comune a lavaggio con acqua, Fontana osserva che si ottiene un'aria più *sana*. Ciò è dovuto al fatto che l'*aria nitrosa*, pur non essendo molto solubile in acqua, vi si scioglie gradatamente nei ripetuti lavaggi, in modo che è possibile eliminarla completamente.

Il Fontana ricerca altri metodi per determinare la *salubrità* dell'aria ⁽⁸⁾ e compie una serie di esperimenti di sopravvivenza di vari animali

⁽⁷⁾ Non è nota la concentrazione dell'acido usato. Con grande probabilità si trattava di acido nitrico di media concentrazione. Ciò si desume dal copioso sviluppo di ossido di azoto durante la reazione.

⁽⁸⁾ Tale ricerca verrà commentata più avanti, al punto 2b.

nell'aria comune e in *quella deflogisticata* (ossigeno). Si accorge però che questo metodo non è nè sicuro, nè razionale.

Per quanto riguarda le ricerche sull'*aria deflogisticata* (ossigeno) il Fontana sviluppa quest'ultima partendo da ossido di mercurio, che viene posto in una storta, il cui tubo di sviluppo termina, attraverso un bagno di mercurio, in un recipiente riempito dello stesso metallo.

Da 192 grani ⁽⁹⁾ (= 9,6 g) di ossido di mercurio egli ottiene 26,5 pollici cubici ⁽¹⁰⁾ (434,6 ml) di ossigeno. Il peso di mercurio decomposto dall'ossido risulta di 178 *grani* e $1/9$ (= 8,905 g), mentre la perdita di 13 grani e $8/9$ (= 0,695 g) corrisponde al peso dell'ossigeno sviluppato. Il Fontana osserva giustamente che l'*aria deflogisticata* (ossigeno), che si ottiene dal trattamento del mercurio con l'acido nitrico, non può provenire che da quest'ultimo. Trattando poi delle *calci mercuriali* (del tipo *ossido di mercurio*) il Fontana considera tali composti come *un insieme* di un metallo con un gas dell'atmosfera. La reazione dà luogo ad un aumento di peso, confermando le ipotesi di Priestley e di Lavoisier.

Egli interpreta il fenomeno di ossidazione come una *deflogisticazione* e fa notare che i metalli si ossidano più facilmente in atmosfera di *aria deflogisticata* (ossigeno). Con felice intuizione il Fontana ipotizza l'*origine atmosferica* dell'*aria deflogisticata* contenuta nel *precipitato per sè* (ossido di mercurio). Quest'ultima, secondo lo scienziato, proviene dall'acido nitrico *atmosferico*, o quanto meno, dai relativi principi costituenti ⁽¹¹⁾. Egli si esprime con queste parole: «Il paroît donc certain, que cette augmentation de poids qu' on observe dans le mercure qui a été exposé à l'Air pendant plusieurs mois, & que l'Air déphlogistiqué qu'on tire de cette substance dans cet état de chaux, proviennent de l'acide nitreux de l'atmosphère, ou pour mieux dire, des principes constituants de cet acide».

Il Fontana ottiene *aria deflogisticata* anche dal minio (Pb_3O_4), sia esponendolo all'aria per lungo tempo o umettando la sostanza con acido nitrico. Il procedimento accennato è esteso ad altri ossidi e i risultati sono analoghi. Successivamente il Fontana riporta altri esperimenti ed ipotesi relative alle *calci* metalliche (ossidi).

Su un punto lo scienziato formula un'ipotesi molto interessante e geniale; egli considera l'aria come un *miscuglio* di gas, in cui i vari componenti devono avere percentuali ben stabilite. Egli si esprime con questa

⁽⁹⁾ Il grano corrisponde a circa 0,05 g.

⁽¹⁰⁾ Il pollice cubico è uguale a 16,4 ml.

⁽¹¹⁾ Per ottenere l'ossido di mercurio il Fontana ha fatto reagire il mercurio con l'acido nitrico.

frase: «Il est à propos de regarder l'Air, non comme une substance simple, mais bien comme un mixte, comme composé. Si toutes ses parties constituantes n'y sont point, si elles ne sont pas combinées ensemble d'une manière déterminée; il n'y aura point d'Air proprement dit, quoiqu'il puisse y avoir les parties constituantes de l'Air, ou toutes, on en partie».

In definitiva la teoria di Fontana sulla *rivivificazione* dei metalli senza *flogisto* e sulla natura dell'*aria deflogisticata* si basa sul fatto che quest'ultima è sviluppata dall'acido nitrico, spogliato del suo *flogisto* naturale. Il maggiore o minore contenuto in *flogisto* la rende più o meno salubre.

Infatti lo scienziato si esprime con queste parole: «L'Air déphlogistiqué est formé par l'acide nitreux dépouillé de son phlogistique naturel: à proportion que cet Air est plus ou moins chargé de phlogistique, il est aussi plus ou moins salubre» e più avanti: «d'où il paroît certain que l'Air atmosphérique est composé du seul acide nitreux en partie dépouillé de phlogistique, ou pour mieux dire, il est composé des principes de l'acide nitreux».

Infine Fontana confuta, giustamente, l'interpretazione dei risultati di alcuni esperimenti di Priestley, secondo il quale l'aria sarebbe formata da acido nitrico e da *terra*, pur riconoscendo che tale acido nella sua decomposizione produce *aria deflogisticata*.

INTERPRETAZIONE MODERNA DELLE REAZIONI RELATIVE ALL'ARIA NITROSA E ALL'ARIA DEFLOGISTICATA

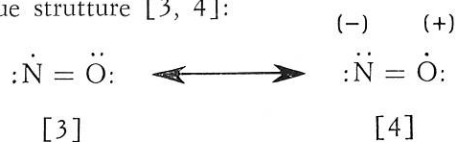
A) CONSIDERAZIONI GENERALI

Prima di affrontare l'argomento è opportuno accennare all'interpretazione moderna relativa alle formule di struttura degli ossidi di azoto, allo scopo di renderci conto delle loro caratteristiche specifiche, che si riflettono in definitiva sulle proprietà fisiche e chimiche.

Un'interpretazione chimica generale in questo campo non è agevole né facile, sia perché non abbiamo a disposizione dati precisi sulle condizioni sperimentali nelle quali sono state effettuate le singole prove (concentrazione dei reattivi, temperatura, pressione ecc.) sia perché le osservazioni enunciate dal Fontana, pur essendo molto particolareggiate, non sono sufficienti a trarre delle conclusioni definitive sui singoli esperimenti.

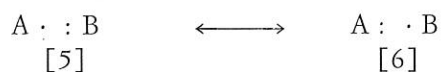
È ormai assodato che l'*aria nitrosa* è principalmente costituita da ossido di azoto od ossido nitrico (NO). È un composto interessante in

quanto contiene un numero dispari di elettroni, per cui la molecola può risuonare fra le due strutture [3, 4]:



Il composto è paramagnetico, data la presenza di un numero dispari di elettroni.

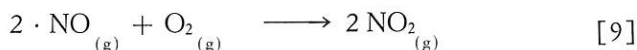
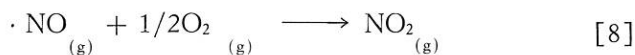
Nella [4] viene messo meglio in risalto l'eccesso di carica negativa sull'atomo d'azoto e il difetto di carica (negativa) sull'atomo di ossigeno. Pauling propone un legame *a tre elettroni*, messo in evidenza dalla risonanza fra le due forme generali [5, 6]:



Detto legame viene rappresentato da tre elettroni, secondo la [7]:



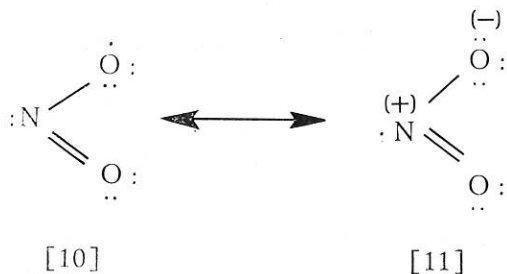
Un altro fatto interessante, dipendente dal numero dispari di elettroni esistenti nella molecola, è che l'NO può essere considerato un radicale, e perciò dotato di una sensibile reattività, soprattutto verso l'ossigeno col quale si combina a temperatura ambiente secondo le [8, 9]:



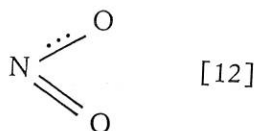
La reattività però non è sufficiente alla dimerizzazione di $\cdot \text{NO}$ allo stato gassoso, ma solo quando è liquido.

Molto più interessante è il diossido di azoto, $\cdot \text{NO}_2$.

D'altro canto anche quest'ultimo composto contiene un numero dispari di elettroni e può risuonare nelle due forme [10, 11]:

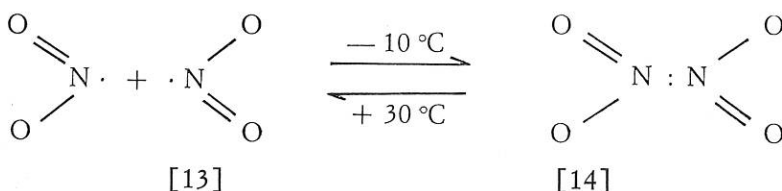


che possono essere rappresentate dalla [12]:



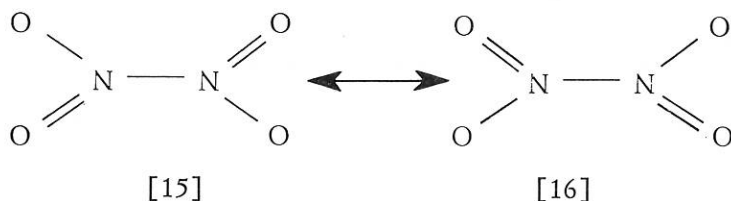
in base alle considerazioni già fatte per l'ossido di azoto, relativamente al legame a tre elettroni. In tal caso però l'energia di risonanza relativa alle [10, 11] impegna l'elettrone meno di quanto avviene nel primo ossido: NO.

Per tale fatto NO_2 è più reattivo di NO e dimerizza già allo stato gassoso; la relativa reazione è rappresentata dalle [13, 14]:

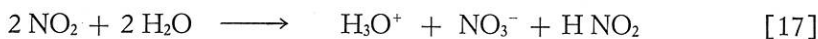


Si osserva che la dimerizzazione è favorita da una bassa temperatura, mentre un riscaldamento porta alla formazione di NO_2 .

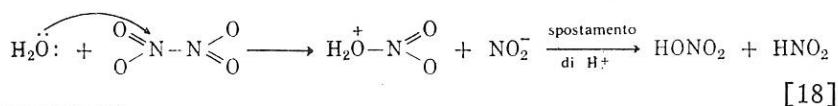
Il dimero è stabilizzato per risonanza fra le due strutture [15, 16]:



Il diossido di azoto con acqua dà acido nitrico e nitroso secondo la [17]:



Analogamente anche il dimero ⁽¹²⁾ con acqua dà luogo ad acido nitrico e nitroso, secondo la [18]:



⁽¹²⁾ La reazione del dimero è estremamente probabile, in quanto a 60° si ha un miscuglio di due parti di NO_2 (rosso) e una parte di N_2O_4 (incolore).

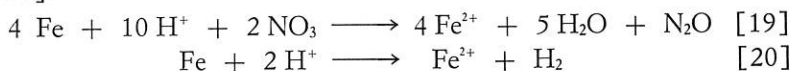
Queste sono a grandi linee le interpretazioni moderne sulle caratteristiche strutturali degli ossidi di azoto e sulle reazioni relative con l'ossigeno e l'acqua.

B) COMMENTO AGLI ESPERIMENTI DEL FONTANA

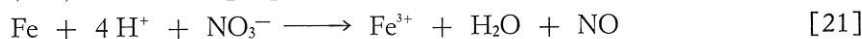
Nel suo lavoro, Felice Fontana fra presente che l'aria *nitrosa* (NO) viene ottenuta dalla reazione dell'acido nitrico sui metalli. In particolare il Fontana fa reagire il ferro con l'acido nitrico ⁽¹³⁾.

È noto che l'acido usato non può essere stato acido nitrico concentrato, in quanto il ferro in queste condizioni si passiva e perciò non reagisce. È probabile che il Fontana abbia usato un acido nitrico meno concentrato.

Le ipotesi che si possono fare a tale proposito sono le seguenti: a freddo l'acido nitrico diluito attacca il ferro secondo le equazioni seguenti [10, 20]:



A caldo si ottiene come prodotto principale gassoso l'ossido di azoto (NO) secondo la [21]:



L'ossido d'azoto che si forma, si ossida facilmente a NO₂ secondo le [8, 9]:



o meglio:

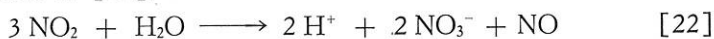
$$2 \text{ NO} + \text{ O}_2 \longrightarrow 2 \text{ NO}_2 \quad [9]$$

Il Fontana nella preparazione dell'aria *nitrosa*, parla di una reazione vivace che dà luogo ad un *vapore* fortemente colorato in *rosso*, il biossido di azoto (NO₂) più stabile ad alta temperatura.

Il dimero N₂O₄ è stabile invece a bassa temperatura, come già è stato accennato.

Pertanto l'aria *nitrosa* di cui parlano Fontana, Priestley e Scheele, è composta prevalentemente da NO, che, come si è già detto, si ossida molto facilmente a NO₂.

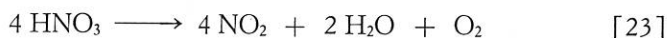
Il diossido di azoto si scioglie in acqua, formando nuovamente acido nitrico, secondo la [22]:



⁽¹³⁾ L'acido era noto agli alchimisti egiziani fin dall'antichità. Era denominato: *aqua fortis*, *spiritus nitri acidus*, *spiritus nitri fumans Glauberi*.

L'ossido di azoto ritorna successivamente in ciclo, riossidandosi all'aria ad NO_2 , che a sua volta produce nuovo acido nitrico. Dai numerosi esperimenti condotti dal Fontana nella prima parte del suo lavoro sull'*aria nitrosa* si possono fare alcune prime osservazioni. L'*aria nitrosa* è evidentemente composta da NO che si ossida a NO_2 all'aria e viene assorbita dall'acqua, producendo acido nitrico, secondo la [22]. La sua natura acida è messa in risalto dall'arrossamento della tintura di tornasole.

Che l'acido nitrico conservi le sue proprietà acide anche dopo distillazione è confermato dal fatto che durante la distillazione la relativa decomposizione è messa in evidenza dalla [23]:



Il diossido di azoto con acqua forma nuovamente acido nitrico secondo la [22], come si è già detto ripetutamente.

La presenza dell'acido nitrico in soluzione è confermata dallo stesso Fontana ed è basata su due fatti sperimentali:

- I) La soluzione scioglie l'argento;
- II) La soluzione trattata con soluzioni alcaline dà dei nitrati che cristallizzano.

L'osservazione del Fontana relativa all'esaurimento delle proprietà acide dell'*aria nitrosa* dopo un prolungato gorgogliamento di quest'ultima in vari recipienti contenenti acqua, è perfettamente logica. Infatti gli ossidi di azoto, sciogliendosi, si esauriscono e il gas residuo non ne contiene più.

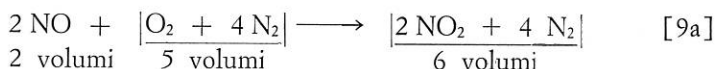
L'*aria trasparente* del Fontana evidentemente non può dimostrare più le reazioni dell'*aria nitrosa*.

Da numerosi esperimenti eseguiti sull'*aria nitrosa* il Fontana nota, come Priestley ed altri, che quest'ultima riduce il volume dell'aria comune con cui è a contatto e riesce inoltre a stabilire una proporzionalità fra la diminuzione di volume dell'aria in esame e la relativa *salubrità* (maggiore contenuto di *aria deflogisticata*).

La spiegazione è molto semplice: l'*aria nitrosa* è formata prevalentemente da ossido di azoto, che a contatto con l'ossigeno dell'atmosfera dà il biossido di azoto secondo la [9]:



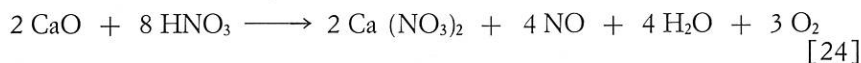
Sappiamo però che l'aria è formata (in prima approssimazione) da un volume di ossigeno e da quattro volumi di azoto, per cui la [9] dovrà essere modificata nella [9a]:



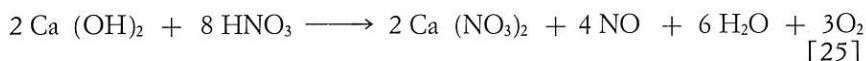
Dalla [9a] possiamo osservare che nel primo membro dell'equazione sono presenti *sette* volumi, che vengono ridotti ai *sei* volumi nel secondo membro. Pertanto da un punto di vista teorico riusciamo a stabilire *a priori* che la massima diminuzione dell'aria comune è di 1/7 del volume totale, cioè corrisponde ad un valore del 14,3%, qualora noi mescoliamo due volumi di *aria nitrosa* con cinque volumi di aria.

Il Fontana costruisce vari *eudiometri* per determinare la *salubrità* dell'aria, o per esprimerci più scientificamente, per il dosaggio dell'ossigeno atmosferico. Di questa particolare analisi si parlerà più avanti, al punto 2b.

Infine Fontana riporta un lavoro sul trattamento della calce viva e spenta con acido nitrico, con la produzione di *aria deflogisticata*. L'interpretazione dei due processi è semplice: infatti la prima reazione può essere interpretata dalla [24]:



La seconda reazione è rappresentata dalla [25]:



2a) PREPARAZIONE DELL'OSSIGENO

È accertato che Fontana è stato il primo a preparare l'*aria deflogisticata* (ossigeno) partendo dall'*olio di vetriolo* (acido solforico) e dal mercurio. Lo scienziato si esprime con queste parole:

«Je savois aussi qu'on obtenoit de l'air déphlogistiqué du *turbith minéral* et du *turbith nitreux*, c'est-à-dire du *turbith* fait en unissant des sels vitrioliques avec le mercure dissous dans l'acide nitreux, ainsi ques du mercure en le combinant avec l'huile de vitriol».

2b) DETERMINAZIONE QUANTITATIVA DELL'OSSIGENO

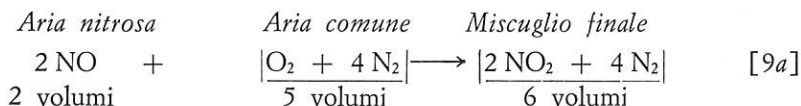
(Determinazione della *salubrità* dell'aria)

Il Fontana, basandosi sulle ricerche di Priestley relative alla riduzione di volume che si ha nel mescolare l'aria comune con l'*aria nitrosa*, riesce a quantificare il fenomeno (come si è già detto a pag. 106) e costruisce una serie di apparecchi per la misura della *salubrità* dell'aria.

Il principio sul quale il Fontana ha costruito il suo *eudiometro* (presentato in otto tipi differenti) è molto semplice. Egli mescola *aria nitrosa* e aria comune (provenienti da due recipienti uguali) in un terzo recipiente che pesca in un bagno di mercurio e riesce a determinare la

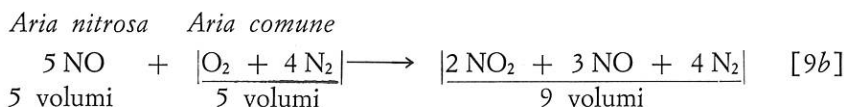
diminuzione di volume che avviene nel mescolamento dei due gas dal peso o dal volume supplementare di mercurio che viene ad occupare lo spazio relativo a tale diminuzione.

Dalla [9a] che metteva in evidenza i vari volumi di *aria nitrosa* ed *aria comune* che entrano in gioco nella reazione:



Osserviamo che *due* volumi di *aria nitrosa* reagiscono con *cinque* volumi di *aria* per dare *sei* volumi di miscuglio finale.

Mettendoci nelle condizioni sperimentali del Fontana, dobbiamo rendere uguali i volumi di *aria nitrosa* e di *aria* da mescolare e pertanto la [9a] deve essere modificata dalla [9b]:



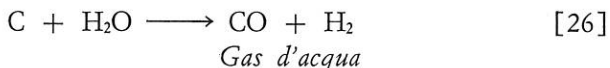
Pertanto la diminuzione massima che Fontana poteva ottenere con il suo *eudiometro* era del 10%.

3) PREPARAZIONE DEL GAS D'ACQUA

È merito del Fontana aver preparato per primo il *gas d'acqua* immergendo il carbone acceso nell'acqua e ottenendo *aria infiammabile* (idrogeno).

Nella sua lettera al prof. Murray egli si esprime con queste parole: «Io ho una lunghissima serie di esperienze fatte col carbone spento nel mercurio e nel vuoto, che formano un nuovo ramo di Scienza sopra questa materia, e principalmente ha de' risultati inaspettati sopra le arie, che si ottengono immergendo il carbone acceso ne' differenti fluidi, come negli acidi, negli oli, e nell'acqua medesima. È mirabile che si ottenga dell'aria infiammabile tuffando il carbone acceso nell'acqua anche distillata, e potrebbe aver l'aspetto di paradosso, se si domandasse di cavar l'aria infiammabile da un corpo coll'acqua la più fredda. Ma mi riservo di trattar questa materia nel più gran dettaglio nella mia Opera sulle arie».

La reazione è molto semplice e facilmente interpretabile secondo la [26]:



Fontana non riesce a mettere in evidenza il monossido di carbonio, in quanto è mescolato all'idrogeno.

È ben vero che il Priestley scopre l'ossido di carbonio nel 1776, ma probabilmente Fontana non si era reso conto della presenza di questo gas nel *gas d'acqua*. D'altro canto non esisteva un metodo per separare i due gas. Fontana ha trovato un altro metodo per la preparazione del *gas d'acqua*, facendo passare del vapore d'acqua sul carbone incandescente. Anche in questo caso la reazione è spiegata dalla [26].

4) STUDI SULL'ARIA FISSA (biossido di carbonio)

Il Fontana studia l'acidità del biossido di carbonio, partendo dalle ricerche di Priestley in questo campo e confuta l'ipotesi di Priestley (esatta) secondo la quale l'acidità della soluzione acquosa della CO_2 è dovuta a tale sostanza gassosa. Infatti una moderna interpretazione del fenomeno spiega la reazione acida della soluzione secondo la [27]:



L'ipotesi di Priestley si basa sul fatto che lo scienziato inglese aveva messo in evidenza l'acidità della CO_2 dopo averla fatta passare attraverso un tubo contenente una soluzione alcalina.

Il Fontana dà un'altra interpretazione del fenomeno suaccennato e suppone che il gas sciolga l'*acido vitriolico* (solforico) e che sia quest'ultimo a conferire acidità all'*aria fissa*.

L'ipotesi però è errata.

Il Fontana ha però il grande merito di aver messo in evidenza la produzione di *aria fissa* (biossido di carbonio) nella respirazione degli animali sottoposti a prove di sopravvivenza in atmosfera di *aria deflogisticata* (ossigeno).

Dopo la morte dell'animale, lo scienziato elimina la CO_2 con acqua di calce, in modo da usare nuovamente l'ambiente gassoso per prove successive.

La sua conclusione è ovvia: l'aria espirata contiene biossido di carbonio che si era formato nell'interno dell'organismo, a livello dei polmoni, confutando la tesi di allora secondo la quale l'*aria fissa* era prodotta dal *flogisto*.

5) SCOPERTA DELLA COMPOSIZIONE COSTANTE DELL'ATMOSFERA

Fontana è stato il primo a constatare che l'aria atmosferica ha una composizione costante in quanto aveva analizzato l'aria di numerose località

e le aveva trovate uguali, almeno nel campo degli errori sperimentali e con i mezzi a disposizione di quel tempo.

Dei suoi lavori ne informa il Priestley in una lettera (1779).

6) STUDIO SUI DIVERSI GAS CONTENUTI NELL'ACQUA

Il Fontana ha messo a punto numerosi esperimenti sulla natura dei gas sciolti in diverse specie di acqua, mettendo in evidenza la maggiore solubilità dell'*aria deflogisticata* (ossigeno) rispetto all'*aria flogisticata* (azoto) in acqua ⁽¹⁴⁾ e la presenza di *aria fissa* (biossido di carbonio) in quantità variabile.

7) STUDIO SULLA TRASFORMAZIONE DELL'ACQUA IN TERRA

In un suo lavoro: «Sur le conversion de l'eau en terre» egli critica l'ipotesi di quel tempo relativa alla trasformazione dell'acqua in terra. Lo scienziato roveretano in questa ricerca si basa su precedenti esperimenti di Scheele e Lavoisier, che dimostravano errata l'ipotesi suaccennata. Egli ripete questi esperimenti, modificandoli e conferma quanto è stato esposto dai due ricercatori.

8) ANALISI MINERALOGICHE

Il Fontana per primo esegue l'analisi qualitativa e quantitativa della *malachite* ($\text{Cu CO}_3 \cdot \text{Cu (OH)}_2$), osservando che contiene ossido di rame, *aria fissa* ed acqua. Lo scienziato estende le sue ricerche anche all'*azzurrite* ($2 \text{ Cu CO}_3 \cdot \text{Cu (OH)}_2$) e nota che quest'ultima ha una composizione simile alla *malachite*.

È opportuno riportare, a titolo di esempio, i risultati analitici dello scienziato roveretano, allo scopo di mettere in risalto il grado di esattezza dei metodi di analisi di quel tempo.

Nella tab. 1 si possono osservare le differenze fra il valore percentuale dei componenti trovati dal Fontana e i corrispondenti valori teorici:

Tab. 1 - ANALISI SULLA MALACHITE

Componente	Risultato del Fontana %	Valore teorico %	Differenza %
CuO	71	71,95	— 0,95
CO ₂ H ₂ O	29,05	28,05	+ 1,0

(¹⁴) V. punto 3 a pag. 102.

Fontana analizza per primo la *calamina* (Zn CO_3) e i risultati sperimentali ottenuti sono contenuti nella tabella 2, assieme ai valori teorici e alle relative differenze.

Tab. 2 - ANALISI DELLA CALAMINA

Componente	Risultato del Fontana %	Valore teorico %	Differenza %
ZnO	68	64,8	+ 3,2
CO ₂	32	35,2	— 3,2

Come si può notare dalle due tabelle, i risultati conseguiti dal Fontana si sono rivelati molto vicini ai valori teorici.

CONCLUSIONE

In questo lavoro si è tentato di mettere in risalto e nella sua giusta luce le serie di ricerche *chimiche del Fontana*, i cui lavori possono stare alla pari di quelli di Priestley, Scheele e Lavoisier. Lo scienziato roveretano merita certamente una rivalutazione per le sue numerosissime ricerche anche in questo campo, poiché gli storici della scienza del secolo XIX, anche italiani, lo hanno spesso trascurato. La sua abilità di sperimentatore può essere considerata eccezionale. Nelle operazioni di pesata il Fontana era riuscito a raggiungere un errore sperimentale che si aggirava sui 5 mg. Tale sensibilità, che ora ci può far sorridere, era molto spinta, se pensiamo ai mezzi tecnici a disposizione in quel tempo.

Indubbiamente Fontana era molto modesto e un po' pigro nello scrivere e nel pubblicare i risultati delle sue ricerche. Il fatto di essere ancorato alla teoria del *flogisto*, assieme a Priestley, non gli ha dato la possibilità di fare sua la legge della costanza del peso nelle reazioni chimiche, ricavabile dai suoi numerosissimi esperimenti. Per tale ragione la legge è stata (e giustamente) attribuita a Lavoisier che, facendo cadere definitivamente la teoria del *flogisto*, è stato considerato il padre della chimica moderna. Tale fatto però non lede e non diminuisce in alcun modo i grandissimi meriti dello scienziato roveretano, che ha spaziato in quasi tutti i campi delle scienze naturali, apportando un notevolissimo contributo al progresso incessante della scienza.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMI C., *Di Felice e Gregorio Fontana scienziati pomarolesi del secolo XVIII*, Rovereto, Ed. Grandi, 1905.
- BRESCIA E. A., *Fundamentals of Chemistry*, Academic Press N. Y., 1975.
- FONTANA F., *Ricerche fisiche sopra l'aria fissa*, Firenze, Ed. Cambiagi, 1975.
- , *Descrizione di alcuni stromenti per misurare la salubrità dell'aria*, Firenze, Ed. Cambiagi, 1975.
- , *Recherches Physiques sur la nature de l'air nitreux et de l'air déphlogistiqué*, Paris, Ed. Nyon, 1776.
- , *Opuscoli scientifici*, Firenze, Ed. Cambiagi, 1783:
- , Lettera I scritta al Duca di Chaulnes a Parigi sopra la respirazione, 1-4-1783,
- , Lettera II scritta al prof. Murray a Upsal sopra le nuove teorie svezze, 20-10-1781.
- , Risultati di diverse sperienze sopra l'elasticità de' fluidi aeriformi permanenti sul mercurio.
- , Principj generali della Solidità e della Fluidità de' corpi.
- , Lettera III scritta al Duca di Chaulnes a Parigi sopra i Termometri e il Calore.
- , Articolo di lettera, scritta al Padre Fontana a Pavia sopra la Luce, la Fiamma, il Calore, e il Flogisto.
- , Sur la conversion de l'eau en terre (Yourn. de Phys. t. XIII, 1779).
- GIORDANI M., *Corso di analisi chimica semimicroqualitativa*, Roma, Ed. Studium, 1960.
- GUARESCHI I., *Nuova Enciclopedia di Chimica*, Torino, Ed. Unione tipografica editrice, 1906.
- GOULD E. S., *Chimica inorganica*, Ed. Piccin, 1964.
- PRIESTLEY G., *Experiments and Observations on different Kinds of Air*, London, (3 vol.) 1774-77.
- , Lettre à G. Bewly, 1779.
- , *Experiments and Observations relating to various branches of Natural Philosophy*, (3 tomi), 1779, 1781, 1786.
- PROVENZAL G., *Felice Fontana e il Flogisto*, Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, AA. 1930-31, Venezia, Ed. Ferrari, 1935.
- SILVESTRONI P., *Fondamenti di Chimica*, Ed. Veschi, Roma, 1969.
- SOLOV'EV J. I., *L'evoluzione del pensiero chimico*, Milano, Ed. EST Mondadori, 1976.

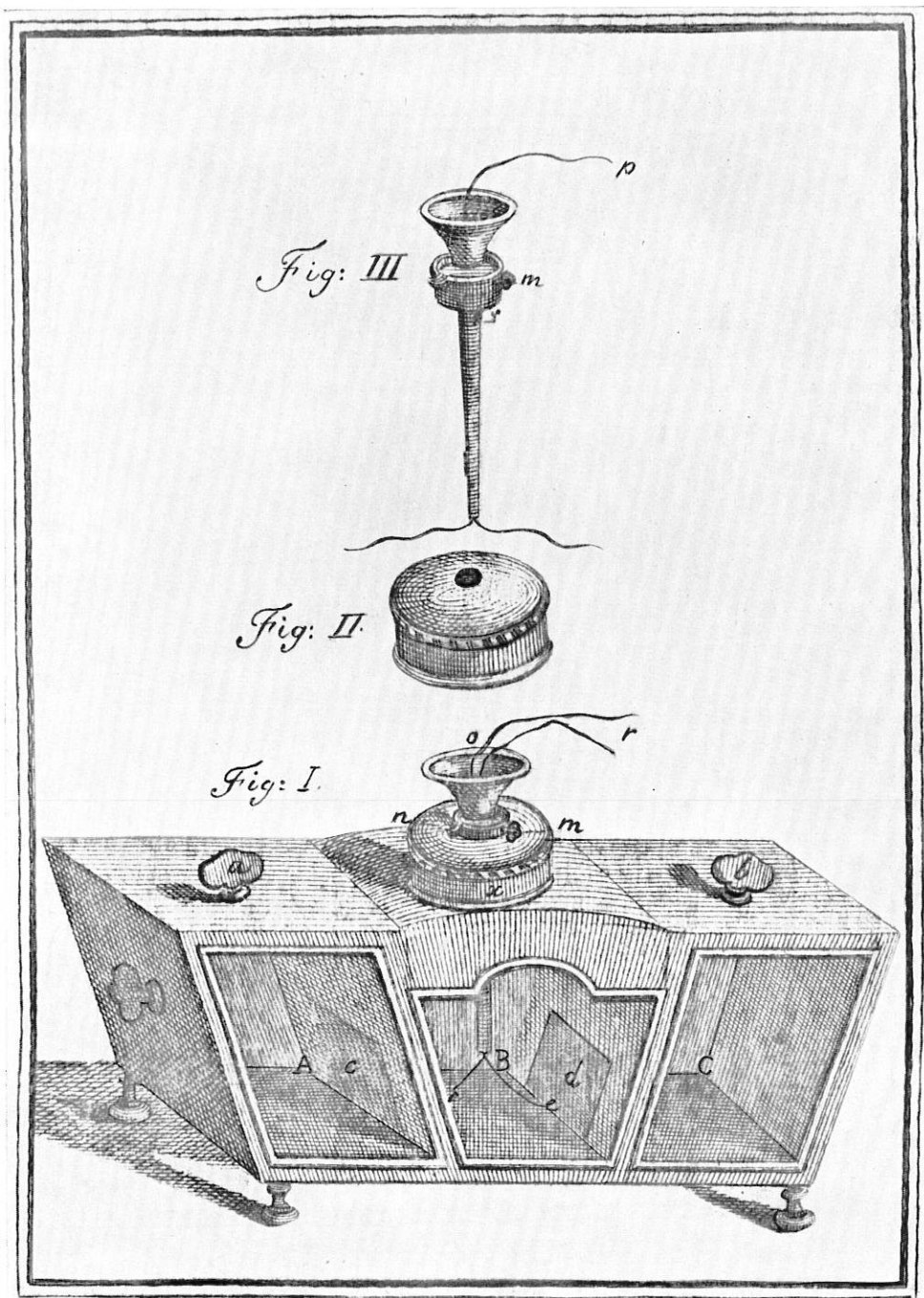
RIASSUNTO - Il posto di Felice Fontana nella storia della chimica - Vengono messe nel dovuto risalto le ricerche, nel campo della chimica, di Felice Fontana, uno dei maggiori scienziati italiani del secolo XVIII, che può essere considerato una mente poliedrica, contemporaneo di Priestley e di Lavoisier. Il Fontana ha apportato notevolissimi contributi scientifici nell'ambito delle scienze della natura. L'essere stato seguace della Teoria del flogisto ha indubbiamente impedito di assegnare al Fontana la legge della conservazione della massa, messa in evidenza per primo dallo scienziato e attribuita a Lavoisier. Fra i lavori più significativi si ricordano: Studi sulla compressibilità dei gas; Scoperta del potere adsorbente del carbone; Scoperta della costanza della massa

nelle reazioni chimiche; Ricerche sull'aria nitrosa; Determinazione della salubrità dell'aria; Preparazione e determinazione quantitativa dell'ossigeno; Preparazione del gas d'acqua.

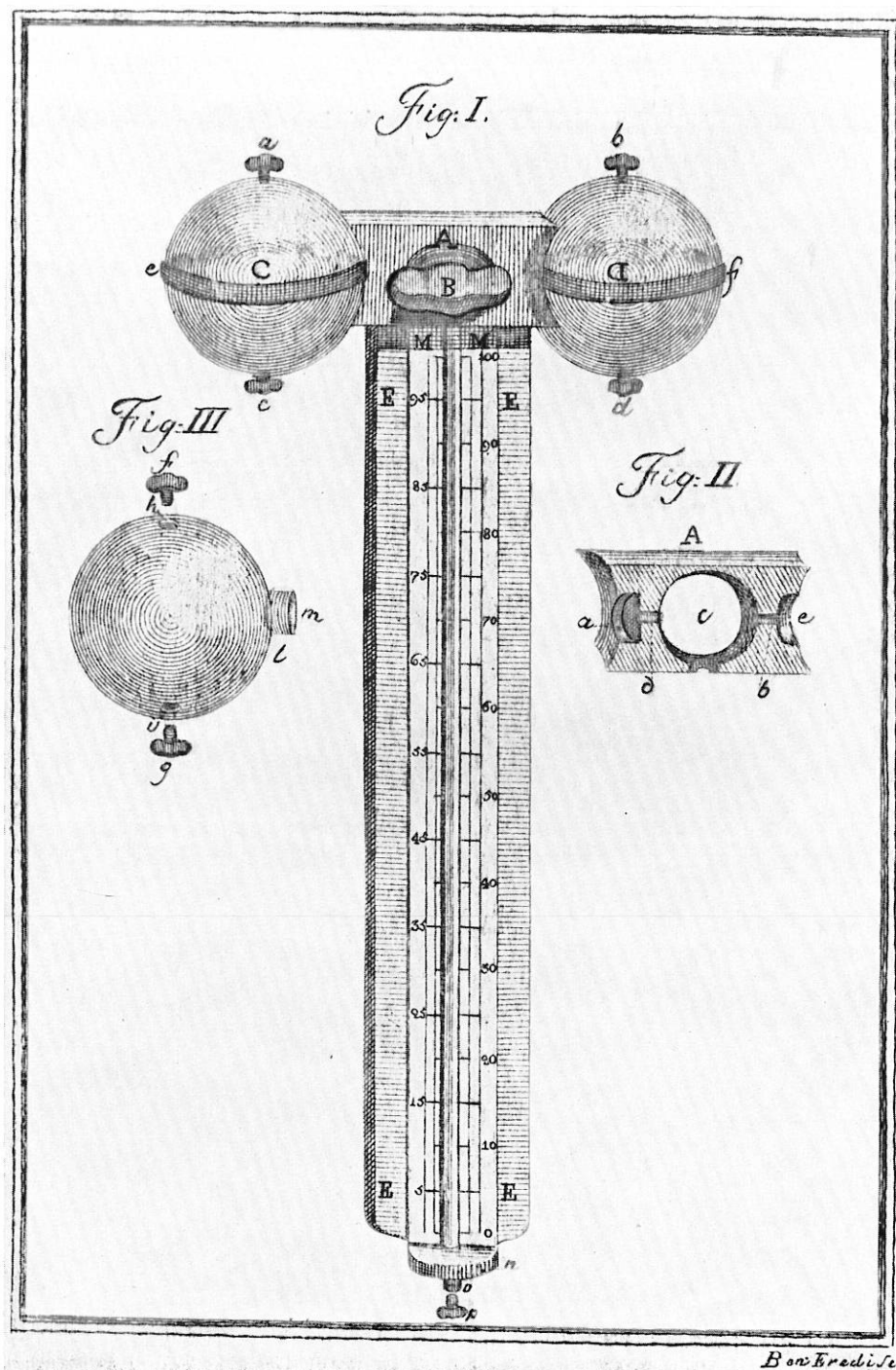
SUMMARY - The place of Felice Fontana in the history of chemistry - *The Author points out the researches made in the field of chemistry by Felice Fontana. He is one of the greatest Italian scientists of the XVIII century and can be considered a versatile mind, being a contemporary of Priestley and Lavoisier. Mr. Fontana has given very great scientific contributions within the science of nature. Having been a follower of the phlogist theory has undoubtedly prevented the assignement to Mr. Fontana of the law of mass conservation, put into evidence, first, by himself and attributed to Lavoisier. Among his works we remember: Studies on gas compressibility; Discovery of absorption power of coal; Discovery of mass constancy in the chemical reactions; Researches on the nitrous air; Analysis of air salubrity; Preparation and quantitative analysis of oxigen; Preparation of water gas.*

ZUSAMMENFASSUNG - Der Platz von Felice Fontana in der Geschichte der Chemie - *Ein besonderes Gewicht im Feld der Chemie fällt den Forschungen von Felice Fontana, einem der prominenten italienischen Wissenschaftler des XVIII Jhs zu. Zeitgenosse von Priestley und von Lavoisier, kann man ihn als einen vielseitigen Forscher betrachten. Fontana hat sehr wichtige wissenschaftliche Beiträge im Bereich der Naturwissenschaft geleistet. Dass er Nachfolger der Theorie des Phlogisten gewesen ist, hat zweifellos verhindert, ihm das Gesetz der Massenerhaltung zuzuschreiben. Als erster hatte er es aufgestellt, aber es wurde dann Lavoisier zugeschrieben. Unter den bedeutungsvollsten Werken kann man die folgenden hervorheben: Studien von der Gasdruckarbeit; Entdeckung der Massenkonzanz in den chemischen Reaktionen; Forschungen über die nitrose Luft; Analyse der Heilsamkeit der Luft; Herstellung und quantitative Analyse des Sauerstoffs; Herstellung des Wassergases.*

Indirizzo autore: Prof. dott. Vittorio Gerosa - Via dei Mille, 57 - 38100 Trento (Italy)
Tel. (0461) 35.393



Un eudiometro di F. Fontana

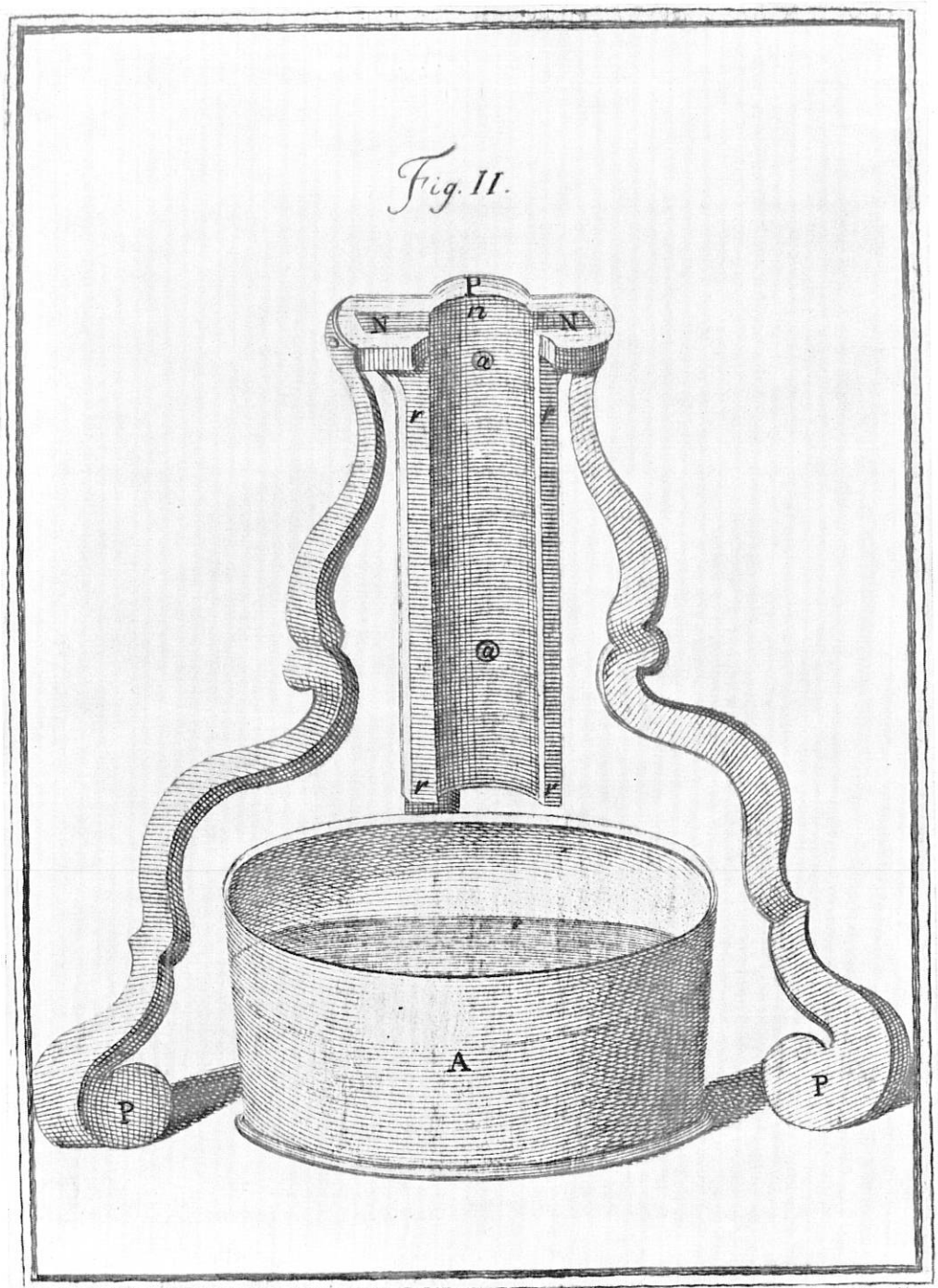


L'apparecchio del Fontana, cioè l'eudiometro per la misura della salubrità dell'aria, è formato da un lungo tubo di vetro montato su una tavoletta di legno *EEEE* (v. Tav. XIV). Due recipienti sferici di vetro *C* e *D*, possono essere messi in comunicazione fra loro mediante il rubinetto *B* (Fig. I). I due recipienti hanno ciascuno due aperture che possono essere chiuse dai turaccioli *a, c, b, d*.

In particolare nella Fig. III si possono notare il due tappi *f, g*, mentre nella Fig. II è rappresentato il mozzo di legno *A* nel quale sono ricavati i due tubi di comunicazione *a, e* coi due recipienti sferici e in cui si inserisce il rubinetto *B*.

Nella parte inferiore di *c* (Fig. II) si osserva una scanalatura adatta a contenere il tubo di vetro, graduato in 100 parti. Levando i due tappi *a c* della Fig. I, il recipiente *C* viene

Fig. II.

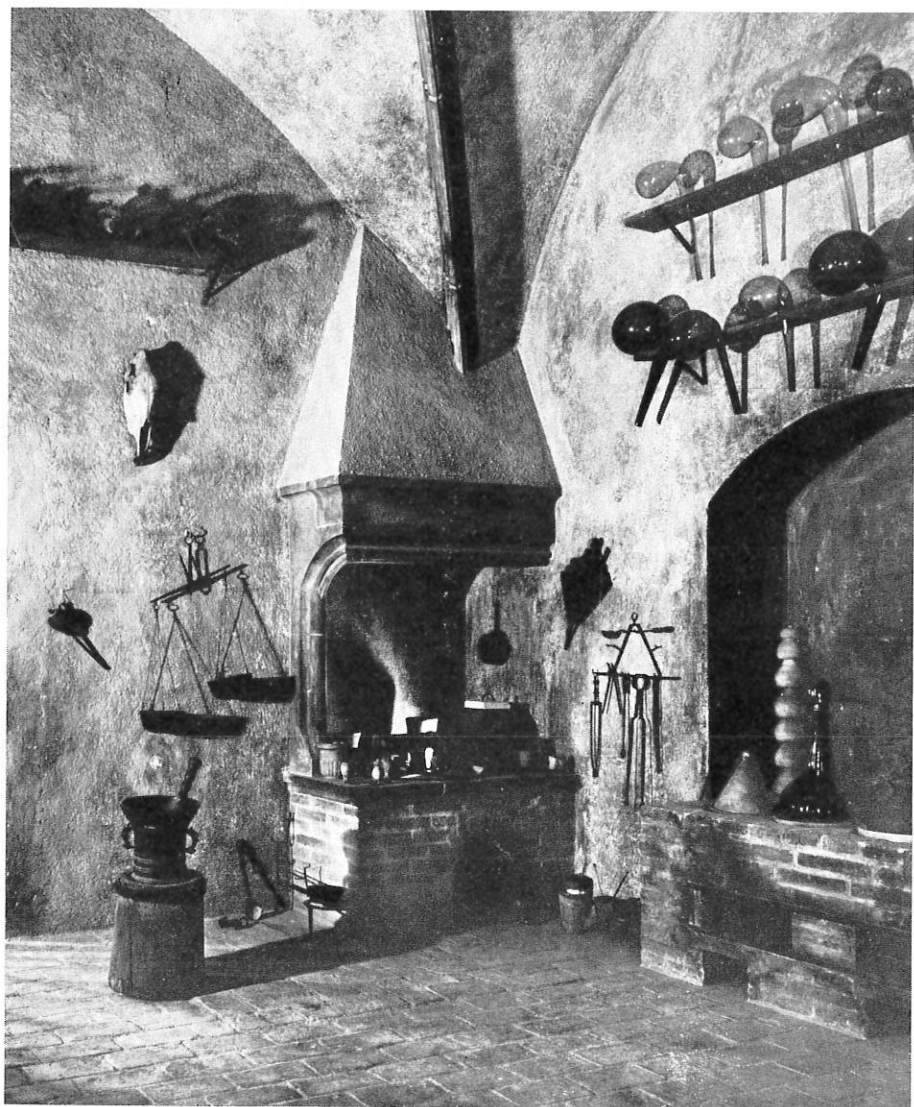


Ben-Erdi

riempito con *aria nitrosa* ed analoga operazione viene effettuata con il recipiente *D*, riempiendolo di *aria respirabile*, dopo aver levato i tappi *b, d*.

Si gira il rubinetto a tre vie *B*, in modo che non metta in comunicazione *C* né con *D* né con il tubo di vetro. Si capovolge l'apparecchio e si riempie il tubo di vetro con il mercurio attraverso l'apertura *o* (Fig. I) che viene chiusa subito dopo dal tappo *p*. Si gira il rubinetto *B* in modo che il tubo di vetro sia in comunicazione con i due recipienti *C, D*. Il mercurio verrà assorbito nell'interno dei due recipienti. Si raddrizza l'apparecchio e si immerge nel bagno di mercurio (rappresentato dalla Tav. XV) l'estremità *o* del tubo di vetro, si leva il tappo *p*, controllando che l'anello *n* si trovi al di sotto del livello del mercurio. Quest'ultimo sale, arrestandosi al punto esatto, corrispondente alla misura della *salubrità* dell'aria.

TAV. XVI



Ricostruzione di un laboratorio di ricerche chimiche e alchimistiche della fine del sec. XVII. (Per gentile concessione della Redazione di «Natura Alpina». (Foto del Deutsches Museum, München, n. 32941).