

Amedeo Avogadro Come Ritratto Da Eligio Perucca in Un Articolo Del 1957 (Amedeo Avogadro as Portrayed by Eligio Perucca in an Article of 1957)

Original

Amedeo Avogadro Come Ritratto Da Eligio Perucca in Un Articolo Del 1957 (Amedeo Avogadro as Portrayed by Eligio Perucca in an Article of 1957) / Sparavigna, Amelia Carolina. - In: SSRN Electronic Journal. - ISSN 1556-5068. - ELETTRONICO. - (2016). [10.2139/ssrn.2857102]

Availability:

This version is available at: 11583/2937719 since: 2021-11-15T09:17:56Z

Publisher:

Elsevier

Published

DOI:10.2139/ssrn.2857102

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Amedeo Avogadro Come Ritratto Da Eligio Perucca in Un Articolo Del 1957 (Amedeo Avogadro as Portrayed by Eligio Perucca in an Article of 1957)

19 Pages Posted: 25 Oct 2016 Last revised: 6 Nov 2016

[See all articles by Amelia Carolina Sparavigna](#)

Amelia Carolina Sparavigna

Polytechnic University of Turin

Date Written: October 23, 2016

Abstract

Italian Abstract: Eligio Perucca, che è stato professore di Fisica al Politecnico di Torino, ha scritto e pubblicato nel 1957 sul Nuovo Cimento, un articolo sulla vita e le opere di Amedeo Avogadro. Quello di Perucca è un lavoro che non solo ci riporta fatti e riferimenti bibliografici, ma che ci fornisce un ritratto appassionato di Amedeo, anzi di Aimé, come ogni tanto il professore del Politecnico chiama Avogadro. Questo articolo discute proprio il ritratto scritto da Perucca, che usiamo come guida per conoscere il lavoro scientifico di Amedeo Avogadro, lavoro che fu di un chimico-fisico di "quando la chimica fisica era scienza non ancora nata". Commentando l'articolo di Perucca, verranno aggiunti molti cenni storici al Piemonte ed alle vite di tanti altri illustri scienziati del tempo ed alcune digressioni di fisica.

English Abstract: Eligio Perucca, who was professor of Physics at the Polytechnic of Turin, wrote and published in 1957 on the Nuovo Cimento, an article on life and works of Amedeo Avogadro. The article by Perucca is a work that not only brings us facts and scientific references, but that gives us a passionate portrait of Amedeo, or Aimé, as sometime the professor of the Polytechnic calls Avogadro. This article discusses this portrait made by Perucca, which we use as a guide to know Amedeo Avogadro and his scientific work, a work that was of a "chemical-physicist when the chemical-physics was not born yet." Commenting on this article by Perucca, many historical notes will be added about Piedmont and the lives of many other illustrious scientists of the time and some digressions on physics.

Note: Downloadable document is available in Italian.

Keywords: History of Science, History of Physics, Amedeo Avogadro, Avogadro Constant, Specific Heat, Ideal gases, Kinetic theory of gases

Suggested Citation: [Suggested Citation](#)

Sparavigna, Amelia Carolina, Amedeo Avogadro Come Ritratto Da Eligio Perucca in Un Articolo Del 1957 (Amedeo Avogadro as Portrayed by Eligio Perucca in an Article of 1957) (October 23, 2016). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2857102> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2857102>

Amelia Carolina Sparavigna (Contact Author)

Polytechnic University of Turin ([email](#))

Corso Duca degli Abruzzi, 24
Torino, Torino 10129

Related eJournals

Cognition in Mathematics, Science, & Technology eJournal

Subscribe to this free journal for more curated articles on this topic

Cultural Anthropology eJournal

Subscribe to this free journal for more curated articles on this topic

Amedeo Avogadro come ritratto da Eligio Perucca in un articolo del 1957

(Amedeo Avogadro as portrayed by Eligio Perucca in an article of 1957)

Amelia Carolina Sparavigna

Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino

(Torino, October 23, 2016; revised, November 5, 2016)

Abstract: Eligio Perucca, che è stato professore di Fisica al Politecnico di Torino, ha scritto e pubblicato nel 1957 sul Nuovo Cimento, un articolo sulla vita e le opere di Amedeo Avogadro. Quello di Perucca è un lavoro che non solo ci riporta fatti e riferimenti bibliografici, ma che ci fornisce un ritratto appassionato di Amedeo, anzi di Aimé, come ogni tanto il professore del Politecnico chiama Avogadro. Questo articolo discute proprio il ritratto scritto da Perucca, che usiamo come guida per conoscere il lavoro scientifico di Amedeo Avogadro, lavoro che fu di un chimico-fisico di “quando la chimica fisica era scienza non ancora nata”. Commentando l’articolo di Perucca, verranno aggiunti molti cenni storici al Piemonte ed alle vite di tanti altri illustri scienziati del tempo ed alcune digressioni di fisica. / Eligio Perucca, who was professor of Physics at the Polytechnic of Turin, wrote and published in 1957 on the Nuovo Cimento, an article on life and works of Amedeo Avogadro. The article by Perucca is a work that not only brings us facts and scientific references, but that gives us a passionate portrait of Amedeo, or Aimé, as sometime the professor of the Polytechnic calls Avogadro. This article discusses this portrait made by Perucca, which we use as a guide to know Amedeo Avogadro and his scientific work, a work that was of a "chemical-physicist when the chemical-physics was not born yet." Commenting on this article by Perucca, many historical notes will be added about Piedmont and the lives of many other illustrious scientists of the time and some digressions on physics.

Keywords: History of Science, History of Physics, Amedeo Avogadro, Avogadro Constant, Specific Heat, Ideal gases, Kinetic theory of gases

Introduzione

In un articolo recente [1], abbiamo proposto e discusso una prolusione di Eligio Perucca, che egli tenne in occasione dell’inaugurazione dell’anno accademico 1960-1961 del Politecnico di Torino. Perucca [2] si ritirava proprio nel 1960 dall’insegnamento della Fisica Sperimentale e dedicava il suo discorso, intitolato “I Solidi nella Fisica di Oggi”, alla Fisica dello Stato Solido. Questo discorso era anche il commiato del professore dal suo Politecnico. La Fisica dello Stato Solido era un settore scientifico che in quegli anni si presentava come emergente e di crescente importanza, poiché era fondamentale per lo sviluppo delle nuove tecnologie basate su semiconduttori e materiali magnetici, tecnologie che hanno finito col rivoluzionare in poco tempo la nostra società. E la prolusione di Perucca comincia proprio dal termine “solido”. In fisica, secondo Perucca, “solido” è sinonimo di “cristallo”, anzi di cristallo senza imperfezioni. E sempre per Perucca, il primo ad usare “solido” inteso proprio come “cristallo” è stato Amedeo Avogadro nel suo lavoro monumentale sulla "Fisica dei Corpi Ponderabili".

Ma il professore di Fisica del Politecnico non si è limitato a studiare solo questo lavoro di Avogadro; egli ha ricercato e studiato tutti i documenti disponibili riguardanti la vita e tutte le opere (compresi gli scritti conservati all'Accademia delle Scienze di Torino e i manoscritti della Biblioteca Civica) di Amedeo Avogadro. Questo gran lavoro ha prodotto un fantastico articolo che troviamo pubblicato sul Nuovo Cimento del 1957 [3]. Quello di Perucca è un lavoro che non solo ci riporta fatti e riferimenti bibliografici, ma che ci fornisce un ritratto appassionato di Amedeo, anzi di Aimé, come ogni tanto il professore del Politecnico chiama Avogadro.

Il lettore vedrà che l'articolo che proponiamo è proprio sull'Avogadro come ritratto da Perucca. Il lavoro [3] del professore del Politecnico verrà usato come guida per conoscere Amedeo Avogadro ed il suo lavoro scientifico, lavoro che fu di un chimico-fisico di “quando la chimica fisica era scienza non ancora nata” [3]. Notiamo che l'articolo [3] ne rievoca la vita e gli studi, in particolare quelli che sono più vicini alla fisica.

Commentando questo ritratto di Avogadro fatto da Perucca, verranno aggiunti molti cenni storici al Piemonte ed alle vite di tanti altri illustri scienziati del tempo ed anche alcune digressioni di fisica. Alla fine, Avogadro ci apparirà un po' meno perseguitato dalla sorte di quanto non sembri dalle parole di Perucca (o almeno, si vedrà che è stato in buona compagnia e che ad altri scienziati sono toccate sorti ben peggiori). Nella seguente discussione, le frasi originali di Perucca saranno riportate in corsivo.

Amedeo e Felice, avvocati

Dei lavori scientifici di Amedeo Avogadro fanno fede gli scritti che, secondo Perucca, sono tutti a nostra conoscenza. Della sua vita, si conoscono pochi elementi sicuri, sicché il professore del Politecnico considera “*piuttosto fallita l'impresa di scrutar l'uomo [Avogadro]*”. Forse, dice Perucca, è possibile che esista un suo epistolario non ancora scoperto (solo quest'anno ne è stato pubblicato un epistolario inedito, di cui si parlerà in seguito).

Amedeo fu una persona quasi schiva, secondo quanto testimoniato da chi lo conobbe. Era un uomo dedito alla sua famiglia numerosa di otto figli [3]. E non aveva altra passione che gli studi scientifici. Il padre, Filippo, era avvocato ed era stato nominato conte nel 1787 da Vittorio Amedeo III (1726–1796), che fu re di Sardegna e duca di Savoia, Piemonte e Aosta dal 1773 al 1796 [4]. In effetti, i Savoia erano diventati re di Sardegna dopo la Guerra di successione spagnola, per via dei trattati di Londra del 1718 e dell'Aia del 1720. E così, nel 1720, il regno di Sardegna era passato a Vittorio Amedeo II di Savoia che lo aveva aggregato agli stati ereditati della sua casata.

La famiglia Avogadro era di nobiltà piemontese di antica origine. C'era stato un Alberto Avogadro di Vercelli, che era vissuto al tempo di Cosimo dei Medici, di cui aveva intessuto le lodi, ed uno Avogadro di Novara, detto Nestore Dionigi da Novara, che dedicava le sue opere a Ludovico Sforza, duca di Milano [5].

Filippo Avogadro aveva un buon stipendio. Nel 1795 era di 4000 lire all'anno, che con altre entrate garantiva una “*distinta ma non doviziosa situazione familiare*”. Ci spiega Perucca che i professori meglio pagati dell'Università di Torino all'epoca raggiungevano le lire 2000 annue, e questo ci può servire da termine di paragone per avere un'idea delle condizioni economiche degli Avogadro. In quanto alla casa ove Amedeo nacque in Torino, Perucca l'ha cercata invano. Doveva essere nella Parrocchia della Madonna del Carmine, probabilmente “*presso l'antica Porta Susina*”, porta della città romana che è stata distrutta col rinnovamento urbanistico di Torino nel primo Ottocento, insieme alla Cittadella [6], di cui ci resta solo il Mastio. Della città romana, Torino però mantiene ancora l'originale centuriazione [7]. Amedeo abiterà con la sua famiglia, dal 1829 fino alla morte in un alloggio, anch'esso scomparso, al 3° piano di Via Garibaldi 49, all'epoca Via Dora Grossa (Figura 1).

Nella casa a noi ignota della Parrocchia del Carmine, nasce Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro il 9 Agosto 1776 e il giorno dopo fu battezzato nella chiesa del Carmine. Poco altro si conosce del giovane Amedeo. Dei registri universitari di Torino, si sa che il 5 Dicembre del 1795 prende la "licentia in diritto". Il 16 Marzo 1796, non ancora ventenne, è laureato in diritto ecclesiastico e civile. Subito dopo è nominato Avvocato dei Poveri.

Ci informa Davide Bertolotti nella sua "Descrizione di Torino" [8], 1849, che l'Ufficio dell'Avvocato dei poveri era stabilito presso "tutti i Senati ed alcuni dei principali Tribunali di Prefettura". L'Avvocato dei poveri sosteneva la pubblica gratuita clientela di tutte le persone che, riconosciute sfornite di mezzi ed aventi plausibili argomenti di ragione, si trovavano impegnate in cause civili. Era anche il difensore nato degli accusati per casi criminali, ai quali era concessa la facoltà d'eleggersi per difensore uno degli avvocati del foro. "Antica è la creazione dell'Ufficio dell'Avvocato dei poveri, leggendosi registrata con degne e sante parole nel secondo libro degli Statuti generali di Amedeo VIII promulgati nel 1430." [8] Tra parentesi, il libro di Bertolotti cita il libro di Avogadro, Fisica de' corpi ponderabili, tra le opere più eminenti in materia scientifica, pubblicate in Torino dopo il 1840.

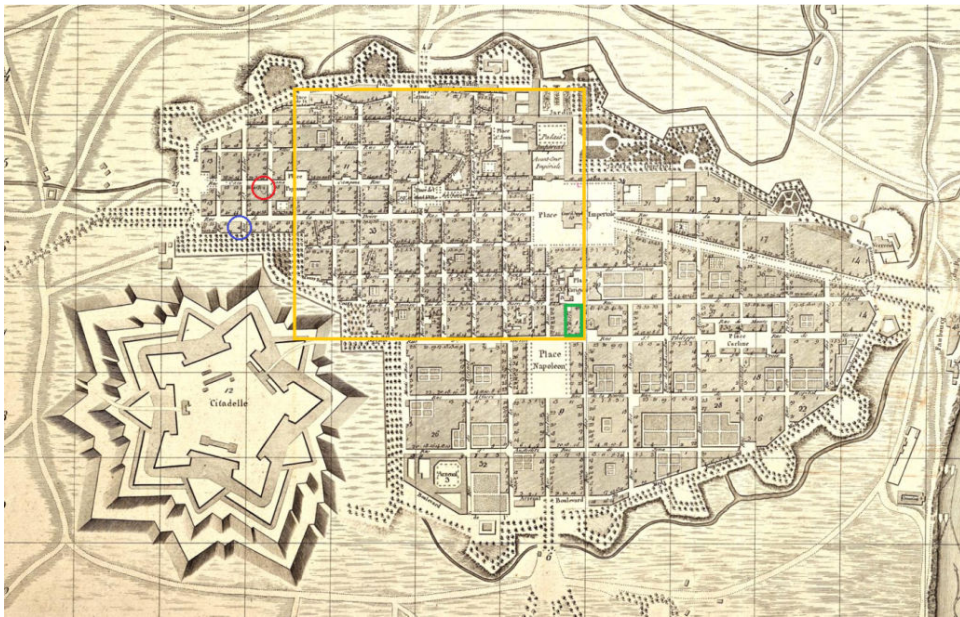


Figura 1: Mappa di Torino del 1808. La mappa mostra come l'attuale Piazza San Carlo fosse la Place Napoleon. Nel circoletto rosso c'è la chiesa del Carmine e nel circoletto blu la casa di Amedeo Avogadro. Il rettangolo giallo corrisponde alla città romana, col decumano corrispondente a Via Garibaldi. Il rettangolo verde (angolo sud-est della città romana) indica il palazzo dell'Accademia delle Scienze.

Amedeo Avogadro aveva quindi intrapreso la strada giuridica seguita dal padre, conforme alla tradizione e al nome stesso della casata che viene dal latino "avvocato". Lo segue negli studi legali il fratello Felice, divenuto anche lui dottore in legge. Ma i giovani Avogadro stavano vivendo anni particolari. Si era vicini "alla fine del secolo e fortissimi furono in quegli anni i rivolgimenti scientifici: chimica e fisica sono sovvertite dalla conservazione della materia di

Lavoisier, dalla corrente elettrica di Volta. Ambedue i fratelli si appassionarono alle scienze fisiche.” [3]

La rivoluzione

Vediamo allora brevemente che cosa stava appassionando tutti gli scienziati, e non solo i fratelli Avogadro, in un periodo di poco precedente e poi contemporaneo alla Rivoluzione Francese, la rivoluzione che occorse in Francia tra il 1789 e il 1799, dalla presa della Bastiglia il 14 luglio 1789 al colpo di Stato del 9 novembre 1799. Questo colpo di Stato, detto "del 18 Brumaio", rovesciò il Direttorio e instaurò un triumvirato con Napoleone che proclamava l'atto di chiusura della Rivoluzione: "Citoyens, la révolution est fixée aux principes qui l'ont commencée, elle est finie".

Oltre ai rivolgimenti sociali, c'erano quelli scientifici, prodotti da Volta e Lavoisier. Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) fu chimico e biologo, ed anche un filosofo ed economista francese [9]. Enunciò la prima versione della legge di conservazione della massa, legge che dice che la somma delle masse dei reagenti è uguale alle masse del prodotto. Identificò e battezzò l'ossigeno (1778) e l'idrogeno (1783), ed aiutò a riformare la nomenclatura chimica [9]. E per questi motivi è universalmente riconosciuto come il padre della chimica moderna [9]. Accusato di tradimento, Lavoisier venne portato di fronte al tribunale rivoluzionario. Secondo una diffusa leggenda, a chi gli faceva osservare che Lavoisier era un grande scienziato, il giudice avrebbe risposto "La République n'a pas besoin de savants". [9,10] Il tribunale condannò a morte Lavoisier, che salì sulla ghigliottina l'8 maggio 1794.

Alessandro Volta (1745-1827) è stato un ingegnere e fisico italiano. È universalmente riconosciuto per l'invenzione del primo generatore elettrico mai realizzato, la pila, e per la scoperta del metano. Prima di costruire la pila, Volta aveva messo a punto un "elettroforo perpetuo", che oggi è detto anche elettroforo di Volta. Lo strumento è un generatore elettrostatico in grado di accumulare una modesta quantità di carica elettrica e fu ideato da Volta intorno al 1775 durante i suoi studi sull'elettricità. L'anno successivo, Volta scopre presso Angera sul Lago Maggiore l'aria infiammabile nativa delle paludi, cioè il metano. Questa scoperta lo porta a far esperimenti con le "arie infiammabili".

Nel 1778, in una lettera al de Saussure "Sulla capacità dei conduttori elettrici", Volta introduce il concetto fisico della "capacità elettrica" C e quello di "tensione elettrica" V , oggi chiamata "differenza di potenziale" [11]. Nel 1780 inventa il "condensatore di elettricità". Nel 1781-1782 viaggia in Europa e visita Parigi e Londra. A Parigi incontra il naturalista Georges-Louis Leclerc de Buffon, Pierre Simon Laplace e Lavoisier. A Londra, alla Royal Society, legge una dissertazione sul condensatore, che viene subito pubblicata nelle Philosophical Transactions [12]. In questa dissertazione Volta introduce a parole ciò che in formula oggi scriviamo come la carica Q è uguale al prodotto $C \cdot V$.

Nel 1792, Volta inizia a studiare l'elettricità animale, partendo dalla teoria proposta da Luigi Galvani, e che Volta stesso definì "galvanismo". A seguito dei suoi esperimenti, Volta arrivò a creare, nel 1800, la cosiddetta "pila voltaica", che era in grado di produrre, non solo una scarica, ma una corrente elettrica costante [11]. Nei primi esperimenti, egli usava delle celle collegate in serie, fatte con calici da vino riempiti di salamoia, in cui erano immersi due elettrodi di metalli diversi. Nella pila, sostituì i calici con dischi di cartone imbevuti di salamoia e gli elettrodi con dischi di metallo [11]. L'annuncio dell'invenzione della pila avvenne nel 1801 presso la Royal Society. Ricordiamo che già nel 1794, questa Società gli aveva conferito la Medaglia Copley, equivalente a un moderno premio Nobel [11]. Nel 1801, Volta vince la medaglia d'oro dell'Institut des Sciences di Parigi, e nel 1805, Napoleone lo nomina Cavaliere della Legion

d'Onore. Così, la Francia che aveva ghigliottinato Lavoisier, ora, con Napoleone, premia la scienza.

L'Accademia delle Scienze

“Sono gli anni di Napoleone e della Repubblica Cisalpina, anni caldi per tutti, anche per la giovane, ma già autorevole Accademia delle Scienze di Torino. A seconda del vento che spira, l'Accademia chiude i battenti, li riapre mutando e ancor mutando nome. A questa Accademia, che allora si chiamava Académie des Sciences, Littérature et Beaux-Arts, il 20 Settembre 1803” è presentata una nota scientifica [3,13].

La nota ha titolo “Essai analytique sur la nature du fluide électrique”. L'Accademia, secondo norma, nomina una Commissione per esaminare la nota, fatta dai soci B. C. Bonvoisin [14] e A. M. Vassalli Eandi [15]. Bonvoisin, a nome di entrambi, riferisce nella seduta del 25 Novembre 1803: “Les rapporteurs croient que la théorie adoptée par les jeunes auteurs du mémoire, qui déclarent être les citoyens Aimé et Félix Avogadro, n'est pas entièrement appuyée, mais qu'il mérite des éloges et une mention honorable dans l'histoire” [3]. La nota non passa, ma i due Avogadro sono nominati Soci Corrispondenti dell'Accademia. La memoria, che non viene pubblicata, è negli archivi dell'Accademia [3]. La detta Accademia disapprovava gli autori sulla possibilità di identificare il fluido elettrico col fluido calorico [3].

Dobbiamo al Journal de Physique di Parigi, detto “de La Métherie” o “de Lamétherie” dal nome del suo editore [16], *“se le fantasticherie giovanili degli Avogadro sono pubblicate, sicché prendono data e sono consegnate ai fisici di allora e di oggi.”* [3] La memoria è divisa in due parti [17,18], ed esse sono al nome del solo Amedeo. La collaborazione del fratello Felice è ricordata in una nota. E' chiaro che il più interessato alla scienza dei due fratelli era Amedeo.

Ci spiega Perucca che in questa memoria compare *“l'intervento del fluido calorico negli affari elettrici”* e che Amedeo si spinge fino a porsi la domanda *“se fluido elettrico e fluido calorico non siano per caso identificabili. ... Su ciò gli Accademici di Torino ebbero buon motivo di esprimere un giudizio non favorevole; ma ciò infirma, se mai, solo la seconda parte della memoria, e sol nei punti ove quella supposizione appare.”* [3]

La polarizzazione dei dielettrici

Cosa si è perso, non valorizzando questo lavoro di Avogadro? Ci spiega Perucca che è stata persa l'ipotesi della polarizzazione dielettrica e l'ipotesi del campo elettrico in un mezzo. Ecco le parole di Avogadro: *“Voilà donc l'idée que les faits nous ont conduit à nous former de toute couche isolatrice, ... prise entre deux électricités d'espèce contraire; c'est qu'on doit la concevoir comme formée d'une infinité de couches, qui toutes, quelque minces qu'elles soient, offrent sur leurs surfaces opposées deux électricités d'espèce contraire, de même que l'assemblage qui en résulte. ... Nous avons donc là une modification particulière qui a lieu dans toutes les molécules d'une couche d'air interposée entre deux corps qui s'attirent par leur électricité contraire Il me semble difficile de ne pas admettre que cette modification, qu'elle qu'en soit la nature intime, est le moyen par lequel l'attraction s'opère, puisque il ne paroît pas convenable d'admettre une autre force que l'attraction universelle, qui agisse à distance entre électricités contraires.”* [3,19]. E' difficile, leggendo queste righe, non immaginare subito come, di solito, viene rappresentata la polarizzazione dei dielettrici, fatta a strati con superfici aventi cariche di segno opposto.

Dentro questa memoria scritta da Avogadro, ci sono anche Coulomb e Haüy: “Coulomb et Haüy ont été conduits à un résultat analogue dans leurs recherches sur le magnétisme, e sur l'électricité de la tourmaline; mais ils n'avoient pas étendu cette idée à toute couche isolatrice chargée.” [19]. Insomma, c'era la piroelettricità della tormalina, ossia la presenza di cariche elettriche di segno opposto e quindi di una polarizzazione elettrica, sulle facce opposte del materiale che compare per via di un cambiamento di temperatura, e c'era anche la legge di Coulomb per le calamite. Anche queste cose restarono ignorate [3]: erano “*ipotesi per allora immature, solitarie, sterili, saranno riprese trenta anni dopo da M. Faraday e da O. F. Mossotti che rivendicherà per Avogadro la priorità.*” [3]

Del grande Michael Faraday, rimandiamo la lettura delle innumerevoli scoperte in [20]. Ottaviano Fabrizio Mossotti (1791-1863), novarese, è stato un matematico e fisico, che studiò e propose un modello per i dielettrici. Il modello vede l'etere che circonda le molecole, agire su di esse per polarizzarle. Questo modello fu ripreso da Rudolf Clausius, e così si ricavò l'equazione di Clausius-Mossotti. Lo stesso modello indusse James Clerk Maxwell a immaginare la corrente di spostamento che poi lo portò all'intuizione delle onde elettromagnetiche [21,22].

Secondo Perucca, Mossotti attribuisce ad Avogadro anche il principio delle superfici corrispondenti dell'elettrostatica; “*a me pare che questo principio sia, infatti, insito in tutte le considerazioni dell'Avogadro, ma sotto forma ancor piuttosto qualitativa;*” dato che un'elettrostatica quantitativa non c'era ancora. Perucca non vuole però sopravvalutare le idee di Avogadro sul problema dell'azione a contatto e dell'azione a distanza. Inoltre, aggiunge Perucca, “*sia Avogadro, sia Faraday trent'anni dopo, sembrarono ignorare ciò che Boyle (1687) già sapeva e cioè che le azioni elettrostatiche si trasmettono anche nel vuoto.*” [3]

Il teorema delle superfici corrispondenti

Dato che lo abbiamo nominato, vediamo che cosa dice questo teorema.

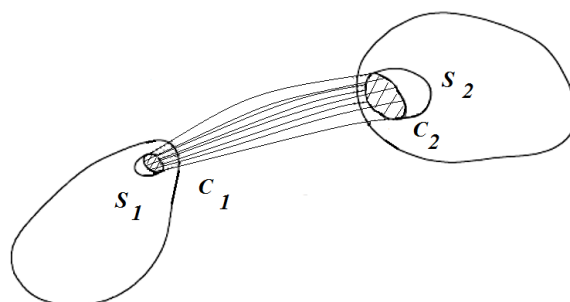


Figura 2

Prendiamo due conduttori come mostrato in Figura 2. Le linee rappresentino le linee di Faraday del campo elettrico. Prendiamo un tubo fatto da queste linee che vanno dal conduttore 1 al conduttore 2. Se esiste un campo elettrico, ci devono essere delle cariche elettriche sulla superficie dei conduttori. Le linee del campo che abbiamo scelto intercettano i conduttori secondo le curve chiuse C_1 e C_2 . Si prenda una superficie chiusa che ha come superficie laterale la superficie fatta dalle linee di Faraday e da due superfici S_1 ed S_2 , interne ai conduttori. Il flusso del campo elettrico attraverso la superficie chiusa così definita è nullo, perché il campo è nullo sulle superfici S_1 ed S_2 , che sono dentro i conduttori, ed è parallelo alla superficie del tubo di flusso. Per la legge di Gauss, la carica totale racchiusa all'interno della superficie è nulla. Pertanto, indicando con q_1 e q_2 le cariche sulle superfici S_1 e S_2 (parti delle superfici dei due conduttori delimitate dalle curve C_1 e C_2), si deve avere che $q_1 = -q_2$. Le cariche che stanno

sulle superfici di due corpi conduttori, create intercettando le linee del campo elettrico che iniziano su un conduttore e terminano sull'altro sono uguali e di segno opposto. Questo è il teorema delle superfici corrispondenti.

Ancora avvocati

Continuiamo con il ritratto di Amedeo fatto del Perucca. Altre due memorie di fisica presentate all'Accademia di Torino ricevono "menzioni onorevoli", ma niente pubblicazione. E queste memorie, ci dice Perucca, non furono pubblicate altrove. Nella prima si segnalano casi nei quali non è soddisfatta una regola proposta da Biot e Arago per dedurre, per un composto, un certo "pouvoir réfringent". L'altra memoria, sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie dei corpi conduttori, presentava obiezioni alla legge di Coulomb. Queste due memorie si aggiungono il 30 marzo del 1811 alla prima nota già negli archivi. E poi ancora una quarta memoria dei fratelli Avogadro subisce la stessa sorte: *"altra menzione onorevole, accompagnata in questo caso da elevate parole di lode del Socio relatore Giobert, ma niente pubblicazione."* [3,23]

In mancanza di documenti, Perucca ci chiede di immaginare con lui che, dopo questo rifiuto alla pubblicazione dei loro lavori, ci deve essere stata una spiegazione tra i due fratelli. Probabilmente Felice rimpiangeva l'aver lasciato l'avvocatura per le scienze e che Aimé gli avrà risposto di aver ben fatto l'avvocato *"e non in un posto solo"*. Infatti, dopo l'Ufficio dei Poveri, Amedeo era passato all'Avvocatura Generale, con un incarico che preludeva all'Alta Magistratura, e poi all'Ufficio di Prefettura del Dipartimento dell'Eridano [3]. Il nostro Amedeo Avogadro ha quindi lavorato per il governo francese, quando il Piemonte è diventato la 27-esima divisione territoriale della Francia.

Torniamo al 1798 e a quando i francesi avevano occupato il Piemonte e deposto il re Carlo Emanuele IV. Quell'anno, il generale Joubert, comandante dell'armata d'Italia, costituì a Torino un governo provvisorio con l'ambasciatore francese a rappresentare il Direttorio in Piemonte [24]. Il Direttorio divise il Piemonte in quattro dipartimenti: Eridano a Torino, Sesia a Vercelli, Stura a Cuneo, e Tanaro ad Alessandria. Seguì poi la breve restaurazione austro-russa (26 maggio 1799-16 giugno 1800), con le truppe austro-russe, che dopo la vittoria sui francesi entrarono a Torino e restaurarono la monarchia. Dopo la battaglia di Marengo, il Piemonte ritornò ai francesi e nacque la Repubblica Subalpina, che vedeva il territorio piemontese diviso in sei dipartimenti (Eridano, Stura, Marengo, Tanaro, Dora, Sesia). L'11 Settembre 1802, il Senato francese riunì i sei dipartimenti piemontesi al territorio della Repubblica francese [25]. Equiparato quasi completamente alla Francia, il Piemonte fece capo quindi al governo di Parigi tramite l'ufficio dell'amministrazione generale della 27 divisione [26].

Caduto Bonaparte nel 1815, la Restaurazione rimette sul trono le vecchie dinastie, e tra queste i Savoia. In Sardegna, dove intanto si erano rifugiati i Savoia, dopo l'abdicazione nel 1802 di Carlo Emanuele IV era succeduto Vittorio Emanuele I, che venne imposto sul trono a Torino nel Congresso di Vienna, come il nuovo re di Sardegna.

Come ci si dice in [27], gli Stati di Terraferma del regno nel 1819 avevano quasi tre milioni e mezzo di abitanti, ripartiti nelle divisioni di Torino, Savoia, Genova, Alessandria, Cuneo, Novara, Nizza e ducato di Aosta.

Per potersi dedicare agli studi scientifici, il nostro Amedeo Avogadro lascia la Prefettura per diventare "Répétiteur de physique" al Pensionnat de l'Académie, che era il nome del Collegio delle Provincie. Diventa poi nel 1809 direttore e professore di "filosofia positiva", cioè di fisica, al Collegio di Vercelli, ossia al Liceo di Vercelli. Intanto, non vi è più traccia di collaborazione scientifica tra i due fratelli Avogadro. Felice lo troviamo nel 1814 avvocato fiscale a Susa, nel 1832 prefetto a Vercelli; egli sarà poi senatore del Regno Sardo [3].

Come ci dice Perucca, per molti anni non vi è più traccia di memorie di Avogadro all'Accademia delle Scienze di Torino, e *“la grande memoria che si inizia con l'immortale ipotesi di Avogadro emigra anch'essa, come le due prime sulla polarizzazione dielettrica e sull'azione del mezzo, al Journal de Physique de La Métherie.”* [3] Avogadro, *“cui piacerà varie volte nella sua vita dichiararsi un fisico,”* si presenta nel campo della chimica con un lavoro pubblicato in Francia nel 1809. In effetti, in quell'anno Amedeo Avogadro, come tutti i piemontesi, era cittadino francese. Il testo di questa fondamentale memoria di Avogadro lo troviamo in [28] (Google Books).

Avogadro dice *“M. Gay-Lussac a fait voir dans un mémoire intéressant (Mémoires de la Société d'Arcueil, tome II) que les combinaisons des gaz entre eux se font toujours selon des rapports très-simples en volume, et que, lorsque le résultat de la combinaison est gazeux, son volume est aussi en rapport très-simple avec celui de ses composants; mais les rapports des quantités des substances dans les combinaisons ne paroissent pouvoir dépendre que du nombre relatif des molécules qui se combinent et de celui des molécules composées qui en résultent. Il faut donc admettre qu'il y a aussi des rapports très-simples entre les volumes des substances gazeuses, et le nombre des molécules simples ou composées qui les forme. L'hypothèse qui se présente la première à cet égard, et qui paroît même la seule admissible, est de supposer que le nombre de molécules intégrantés dans les gaz quelconques, est toujours le même à volume égal, ou est toujours proportionnel aux volumes. En effet si on supposait que le nombre des molécules contenues dans un volume donné fût différent pour les différens gaz, il ne serait guère possible de concevoir que la loi qui présiderait à la distance des molécules pût donner, en tout cas, des rapports aussi simples que les faits, que nous venons de citer, nous obligent à admettre entre le volume et le nombre des molécules”*.

Avogadro aveva così enunciato il suo principio che volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, contengono lo stesso numero di molecole. Le molecole di cui parla Avogadro, sono molecole in un certo senso nuove, perché lui le vede come *“molecole integranti”*, cioè molecole che si sono formate da più atomi tra loro combinati. In effetti, Amedeo Avogadro è stato il primo a delineare una chiara distinzione fra la molecola e l'atomo, ed a vedere le molecole come le immaginano ora. Queste molecole sono state fondamentali per giungere al concetto di mole.

Molecole integranti

Secondo Perucca, le *“molecules integrantes”* vengono da Haüy che se ne serve nella sua descrizione della struttura dei cristalli. René Just Haüy (1743-1822) è stato un mineralogista e religioso francese, uno dei fondatori della cristallografia moderna [29]. Tra i suoi maggiori contributi alla cristallografia, vi è la formulazione della legge cristallografica omonima e proprio la teoria della *“molecola integrante”*, secondo la quale ogni cristallo era costituito, a livello atomico, dalla ripetizione di un parallelepipedo elementare che dava la geometria caratteristica al cristallo [29]. Questa idea avrebbe poi portato Gabriel Delafosse, nel 1840, al concetto di cella elementare del reticolo cristallino, che dal 1845 viene conosciuto come reticolo di Bravais.

Torniamo ai gas ed alle loro molecole. Prendiamo idrogeno e cloro gassosi; con un rapporto sempre costante di volumi pari a 1:1, essi si combinano per formare acido cloridrico HCl. Questa osservazione fu fatta proprio da Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), all'inizio dell'Ottocento. Operando con vari gas, egli trovò che il rapporto tra i volumi dei reagenti era costante. Queste osservazioni portarono a quella che oggi è conosciuta come legge di *“combinazione dei volumi”*: *“quando due sostanze gassose si combinano tra loro, per dare*

origine a una nuova sostanza gassosa, i volumi delle sostanze prodotte, stanno tra loro secondo rapporti esprimibili con numeri interi, razionali e semplici.” [30]

Come ben spiegato in [31], le osservazioni sperimentali effettuate da Gay-Lussac non potevano concordare con le ipotesi atomistiche di Dalton, condivise anche da Berzelius. Infatti, seguendo le ipotesi di Dalton, con la legge sui rapporti dei volumi di Gay-Lussac, si poteva arrivare a dire che volumi uguali di gas contenevano lo stesso numero di particelle indivisibili, ossia di atomi. Ma, se noi partiamo da 1 volume di idrogeno e 1 volume di cloro, abbiamo due 2 volumi di acido cloridrico e non uno, come si arriva con l'ipotesi atomica di Dalton. La stessa cosa si osservava per l'idrogeno e l'ossigeno che reagivano per dare acqua: si ottenevano 2 volumi di vapore acqueo con 2 volumi di reagenti.

Siccome Dalton riteneva che la legge di Gay-Lussac fosse errata e frutto di errori sperimentali, “data l'autorevolezza scientifica di Dalton e Berzelius” [31], la legge di combinazione dei volumi proposta da Gay-Lussac venne rifiutata (ricordiamo che Dalton è John Dalton, 1766-1844, chimico-fisico inglese, che per primo cercò di descrivere l'atomo partendo dalle leggi fondamentali della chimica e Berzelius è Jöns Jacob Berzelius, 1779-1848, chimico svedese, che scoprì elementi della tavola periodica quali cerio, silicio, selenio e torio, ed introdusse il termine "chimica organica").

Con Amedeo Avogadro arriva la soluzione al problema; proprio partendo dai risultati sperimentali di Gay-Lussac, e per poterli spiegare correttamente, Avogadro ipotizzò che i gas fossero formati da molecole “integranti” composte di più atomi. Secondo Avogadro, le molecole composte, che non erano atomi, erano in grado di dividersi e ricombinarsi durante le reazioni [31]. Infatti, l'idrogeno ed il cloro gassosi usati da Gay-Lussac sono proprio l'insieme di molecole biatomiche omonucleari, cioè di molecole formate da due atomi uguali, che si scompongono e formano l'acido cloridrico, che è fatto invece da molecole biatomiche eteronucleari.

Aggiungiamo ancora una osservazione che troviamo in [31]. Questa osservazione ci dice che, come era già capitato per Gay-Lussac, di nuovo l'autorità scientifica di Dalton andava a oscurare un validissimo lavoro scientifico, e questa volta era il turno di Avogadro. “Solo nel 1860, quattro anni dopo la morte del chimico italiano, le sue conclusioni furono accettate. ... in quell'anno Stanislao Cannizzaro espose al congresso di Karlsruhe il suo metodo per determinare i pesi atomici degli elementi.” Cannizzaro usava un metodo basato proprio sul principio di Avogadro (di Cannizzaro parliamo più avanti). Il suo lavoro, oltre a permettere di avere la determinazione corretta delle masse degli elementi, fece accettare alla comunità scientifica il lavoro di Avogadro e di Gay-Lussac e distinguere definitivamente il concetto di molecola da quello di atomo. Avogadro comunque capì subito l'importanza della sua ipotesi per la chimica, così da dedicarsi ad essa per molto anni.

Tra le ricerche di Avogadro, “*che proseguiranno per ancora un quarantennio variamente alternandosi,*” ci sono anche quelle di fisica. “*Tali sono le ricerche vercellesi del 1816-17, che poi proseguono ancora nel 1819-20, costituenti un primo gruppo di lavori sulla terminologia: calori specifici dei gas, calori di reazione, leggi di dilatazione dei liquidi, densità, tensioni di vapore.*” [3]

Sempre sull'accoglienza che avevano ricevuto dai chimici le idee dell'Avogadro, abbiamo il Rif.32, che ci dice che Berzelius pareva quasi disposto ad ammettere che gli elementi allo stato gassoso contenessero, in un dato volume misurato alla stessa temperatura e pressione, un uguale numero di atomi. Ma il chimico svedese non distingueva la molecola e l'atomo e quindi professava in forma erronea il principio dell'Avogadro [32]. Poi c'era Ampère, che aveva fatto sua - o ritrovato senza conoscerla, com'egli afferma - l'ipotesi dell'Avogadro, il quale accetta l'affermazione del francese e rinuncia a obiettargli che il Journal de Physique, sul quale era

stato pubblicato l'Essai del 1811, aveva larga diffusione negli ambienti scientifici [32]. Anche il fisico Mollet aveva accolto l'ipotesi dell'Avogadro [32]. In verità, solo chi distingueva la molecola dall'atomo poteva convincersi pienamente dell'ipotesi dell'Avogadro, che nel suo testo, molto si adoperava a spiegare la differenza tra "molecola integrante" e "molecola elementare" [32].

Il calore specifico

Il calore specifico era un argomento che attirava molto Avogadro, tanto che su di esso ci torna più volte a lavorare. Ma *“miseri erano i suoi mezzi sperimentali e spesso immature le questioni che egli prendeva a trattare.”* [3] Perucca ci segnala che Avogadro deve essere ricordato insieme con Franz Ernst Neumann (1798-1895), mineralogista e fisico tedesco, per i tentativi di estendere ai composti la regola di Dulong e Petit (1819) sui calori atomici. Ad Avogadro si deve anche dare il merito di aver misurato il calore specifico del carbonio, dieci anni prima di Regnault, e con risultati in accordo con le misure di quest'ultimo [33,34], e *“molto si valse Avogadro di queste determinazioni per discuterne l'eccezione alla legge di Dulong e Petit di allora.”* Altri articoli di Avogadro sul calore specifico di possono sfogliare al sito del Museo Galileo [35], insieme a tantissimi altri documenti, come i manoscritti della Biblioteca Civica. L'interesse per il calore specifico di Avogadro continuerà per molti anni, come dimostrato dal lavoro presentato al Congresso degli Scienziati Italiani che si tenne a Torino nel 1840 [36].

Sul calore specifico, nei primi anni dell'Ottocento si hanno a disposizione i risultati delle ricerche del chimico Pierre Louis Dulong (1785-1838) e del fisico Alexis Thérèse Petit (1791-1820). Nel 1819 infatti, come ci dice Perucca, sono pubblicati i risultati di tali ricerche [37], dove vengono esposti diversi dati di calori specifici e una regola empirica che lega i calori specifici ai pesi atomici dei corpi. A tale regola, Dulong e Petit arrivano grazie ad alcune considerazioni basate su leggi relative alle proporzioni dei composti chimici, avendo in mente di suffragare con le loro osservazioni la teoria corpuscolare del calore. Dulong e Petit quindi, oltre a calcolare i calori specifici di molti corpi, formulano una legge che li porta al "calore atomico". Secondo la loro legge, il calore atomico dovrebbe avere valore costante per tutti gli elementi allo stato solido; *“e in realtà, a temperature ordinarie, il calore atomico degli elementi solidi, escluse poche eccezioni (carbonio, silicio, boro), ha un valore prossimo a 6 calorie/gradi.”* [38]

Sostanza	Calore atomico (cal/°C)
Alluminio	5.82
Carbonio	1.46
Rame	5.85
Piombo	6.32
Argento	6.09
Tungsteno	5.92

Valori a temperatura ambiente e pressione atmosferica.

Dalla tabella capiamo bene perché Avogadro insisteva col carbonio.

Secondo Perucca, il fatto che i lavori di Avogadro sul calore specifico siano in oblio, è per via del “calorico”. Il *“fluido “calorico” fu l'angelo nero della fantasia scientifica del Nostro e non di lui soltanto. Il calorico fu detronizzato lui vivente, ma non scomparve subito. Nel prezioso Dictionnaire Universel du XIX Siècle di Larousse, 3° volume, 1867, [dedicato alle*

parole tra C – Chemins de fer] alla voce “chaleur” trova già autorevolissimo posto la “teoria meccanica del calore”, ma si legge che ancor la grande maggioranza dei fisici era pel fluido calorico.” [3]

Il calorico, che Perucca definisce “angelo nero,” aveva del diabolico e si divertiva a far scherzi bizzarri. Aveva fatto un brutto scherzo agli Avogadro che si videro archiviata la loro prima memoria. Concesse però a Dulong e Petit di trovare la loro fondamentale regola sul calore atomico degli elementi solidi; e “poco dopo concesse a N. L. Sadi Carnot di scrivere le sue mirabili *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (1824). Concesse a Clément e Desormes (1819) di stabilire il concetto di “zero assoluto” con argomenti che si ripetono ancor oggi perfino nella fisica elementare.” Ma li mise in un ginepraio, quando comparirono i calori specifici dei gas a pressione o a volume costante e l’esperienza per trovarne il rapporto; “gli autori credevano che quell’esperienza li conducesse a determinare il “calore specifico del vuoto.” [3] Il calorico costrinse anche Gay-Lussac a sostenere nel 1818 che ogni temperatura, comunque bassa, è possibile [3].

Le anomalie alla legge di Dulong e Petit

Vediamo da dove vengono queste anomalie della regola di Dulong e Petit, ma non limitiamoci ai dati a temperatura ambiente. Facciamo un grafico, che mostra un andamento qualitativo per alcuni materiali, del calore specifico atomico in funzione della temperatura (Figura 3, a sinistra) e prendiamo una linea (rossa), che segni la temperatura ambiente. Ecco che il carbonio compare con un valore molto diverso. Ora, prendiamo dati a temperature più alte ed usiamo un grafico con scala logaritmica sull’asse della temperatura (Figura 3, a destra). L’andamento è lo stesso, tranne che le scale di temperatura sono diverse. Vuol dire che il piombo a 90 K è come il carbonio a 1900 K. Queste temperature sono all’incirca le rispettive temperature di Debye, specifiche per ogni materiale

Questa temperatura nasce dal modello di Debye, sviluppato da Peter Debye nel 1912 [39] per valutare il contributo dei quanti della vibrazione termica del reticolo, i fononi, al calore specifico di un solido. Il modello definisce la dipendenza a bassa temperatura del calore specifico molare come proporzionale a T^3 , e fornisce ad alta temperatura il valore del modello di Dulong-Petit.

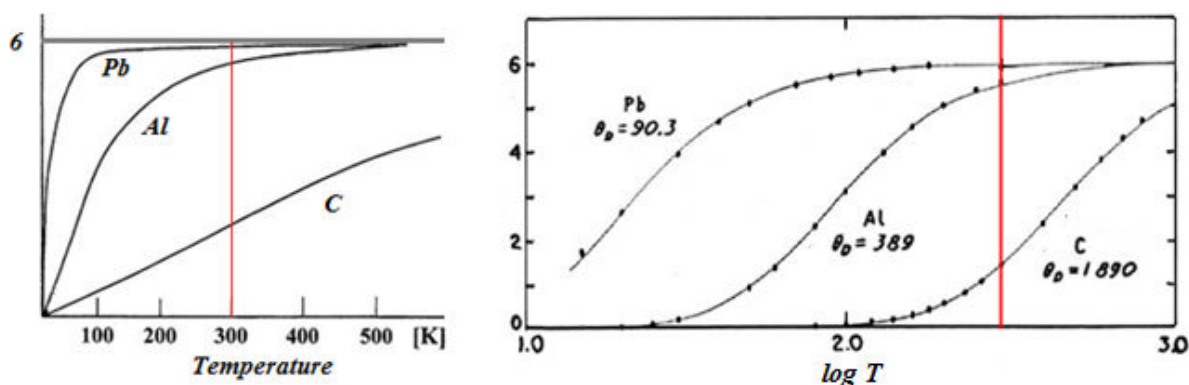


Figura 3

La cattedra a Torino

Torniamo ad Avogadro ed al 1819. Il 19 Settembre, Amedeo Avogadro rinuncia all’insegnamento vercellese, perché, come dice Perucca seguendo l’opinione di Icilio Guareschi

[40], era già sicura la sua nomina a professore all'Università. Intanto, il 21 Novembre 1819 è nominato Socio effettivo dell'Accademia delle Scienze di Torino.

Nell'anno accademico 1819-1820 svolge alcuni cicli di lezioni all'Università e la nomina a professore gli arriva con una Lettera Patente del re Vittorio Emanuele I, in data 6 Novembre 1820 [3]. Poco dopo, nel 1821, Avogadro è nominato Socio della Società Italiana detta "dei XL", una società scientifica fondata nel 1782 a Verona [41]. Di recente, questa società ha pubblicato la raccolta della corrispondenza del socio Avogadro [42], in un libro che presenta lettere in gran parte inedite.

“Quarantacinquenne, può finalmente trovarsi in un centro di studi superiori, avrà un gabinetto sperimentale universitario; non può mancare il frutto agli studi che subito intraprende. E infatti sono del 1821 due poderose memorie entrambe inserite nei volumi dell'Accademia di Torino; riguardano la sua “ipotesi”, l'importanza di essa per la chimica e la portata sempre più ampia.” [3]

Lo strumento per le correnti voltaiche

Il 20 Gennaio 1822, Avogadro comunica all'Accademia di Torino la costruzione di “uno strumento atto a indicare l'esistenza e misurare la forza delle più deboli correnti voltiane”, e il 21 Aprile successivo presenta una memoria su tal strumento e sulle applicazioni dei metalli e della loro elettricità per contatto. Questo lavoro, tra la fisica e la nascente elettrochimica, è il primo di Avogadro sulla corrente elettrica [3]. Il nuovo strumento è costruito sul principio del moltiplicatore di Schweigger appena comparso. Questo moltiplicatore basa il suo funzionamento sullo stesso principio dell'esperienza di Oersted, ossia che una corrente elettrica che circola in una spira genera un campo magnetico che devia un ago magnetico posto vicino ad essa. Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857) realizzò il suo strumento con diverse spire di filo, così che il campo magnetico prodotto veniva moltiplicato. Schweigger chiamò lo strumento “galvanometro” [43].

L'applicazione di Avogadro era controllare “l'ordre que gardent entre eux les différents métaux dans l'électricité positive ou négative qu'ils prennent par leur contact mutuel, ou du moins relativement au sens du courant voltaïque qu'ils excitent par l'addition d'un conducteur humide”, applicazione molto interessante, se consideriamo che queste parole sono parole state scritte nel 1822, a due anni dalla scoperta del 1820 di Oersted [3].

Con la sua scoperta della deviazione dell'ago della bussola provocata dalla corrente, Hans Christian Oersted (1777-1851), fisico e chimico danese, dimostrò che elettricità e magnetismo sono fenomeni collegati [44]. Oersted concluse che la corrente produce un campo magnetico con linee di forza chiuse intorno alla corrente. Questo fenomeno era già stato osservato dall'italiano Gian Domenico Romagnosi nel 1802, che non fu creduto dalla comunità scientifica di allora [44].

Il lavoro di Avogadro produsse una serie di metalli, vantaggiosa rispetto a quella di Volta ed a quella di Ritter che usava la rana come galvanometro (Johann Wilhelm Ritter, 1776-1810, ha scoperto nel 1801 i raggi ultravioletti). Avogadro osserva anche per primo alcuni casi di mutamento del verso della corrente con la variazione della sola concentrazione dell'acido usato, più o meno diluito, ossia del “conduttore umido” [3]. Indica anche alcuni casi in cui non vi è identità tra la serie di Volta, con i metalli “eccitati per contatto”, e la sua serie basata sul verso della corrente ottenuta col “conduttore umido”. Avogadro dice: “celà nous conduit naturellement à accorder à l'action chimique ... une influence que la théorie de Volta lui refuse puisque elle attribue toute la faculté électromotrice au contact des métaux”. [3]

I lavori sperimentali di Avogadro erano quindi di fondamentale importanza per distinguere i conduttori cosiddetti di “prima specie”, ossia i metalli, che seguono la seconda legge di Volta,

dai i conduttori di “seconda specie”, che, come appunto ci dice Perucca, non si comportano come quelli che soddisfano tal legge (ricordiamo che, con seconda legge di Volta, oggi si intende quella legge che dice che in una catena di conduttori metallici, diversi tra loro e posti alla stessa temperatura, la differenza di potenziale tra i due metalli estremi è la stessa che si avrebbe se essi fossero a contatto diretto). I fatti sperimentali segnalati da Avogadro, avrebbero *“dovuto da soli far tacere la polemica allora in fiamme sulla localizzazione delle differenze di potenziale al contatto; invece anche questa bella memoria di Avogadro, pur largamente citata, ad esempio, nel trattato di Wiedemann, non ebbe la risonanza che meritava.”* [3]

Le “splüe” del 1821

Con l’arrivo alla cattedra di fisica dell’Università, sembra che Amedeo Avogadro abbia finalmente raggiunto uno status che gli permette di continuare tranquillamente i suoi studi scientifici. Ma non è così.

Siamo infatti nel periodo dei moti del 1820-21, rivoluzioni organizzate da società segrete, come la Carboneria, che hanno finalità costituzionali, liberali e, in Italia, anche talora indipendentistiche e unitarie [45]. In Piemonte, si cercò addirittura di coinvolgere la dinastia sabauda nella rivoluzione. Si voleva forzare il re Vittorio Emanuele I (1759-1824) ad accordare la Costituzione, e liberare Milano dagli austriaci, al grido di Vittorio Emanuele Re dell’Italia del Nord. Erano della congiura il Conte Santorre di Santarosa (1783-1825), Carlo Asinari di San Marzano e Giacinto Provana di Collegno. Il Santarosa doveva persuadere il giovane Carlo Alberto di Savoia Carignano ad aderire al piano, ma Carlo Alberto era titubante. I rivoluzionari allora ruppero gli indugi: il 10 marzo 1821 alcuni ufficiali della guarnigione di Alessandria si ammutinarono, imitati da alcuni reparti in Torino. Il re rimase fermo nel suo rifiuto di concedere la costituzione ed abdicò in favore del fratello Carlo Felice (1765-1831), Dato che il nuovo re era a Modena, lasciò a Torino Carlo Alberto come reggente. Carlo Alberto concesse la costituzione, mentre Santarosa lo scongiurava di marciare su Milano. Intanto Torino era rimasta indifferente a questa rivoluzione, come anche le provincie. E solo una piccola parte dell’esercito aveva aderito alla sollevazione. Il nuovo re arrivò a Torino il 16 marzo del 1821. Con un proclama, Carlo Felice dichiarava ribelli gli aderenti alla rivoluzione e sconfessava l’operato di Carlo Alberto, che doveva subito presentarsi a Novara, presso le truppe fedeli al monarca, altrimenti sarebbe stato diseredato. Il reggente obbedì e raggiunse Novara. Il piccolo esercito messo insieme dal Santarosa cercò di raggiungere il milanese, ma nei pressi di Vercelli, l’8 aprile 1821, l’armata imperiale li disperse con facilità. Finiva così la rivoluzione piemontese, ma non finivano le battaglie di Santarosa, che morì nel 1825 combattendo per l’indipendenza della Grecia [46].

Torniamo ai provvedimenti repressivi di Carlo Felice. Con decreto del 24 Luglio 1822, sopprime alcune cattedre universitarie tra le quali è quella di “fisica sublime”, cioè la cattedra di Fisica all’Università. “Il Sig. Cav. Avogadro avrà a godere dell'annuo trattenimento di L. 600 sulla Cassa dell'Università, sino a che sia destinato ad altro impiego.” Due anni dopo, nel 1824, gli è confermato l'annuo trattenimento di L. 300, come pensione per l'insegnamento di Vercelli. Totale, L. 900 annue. Ma di lì a qualche mese Avogadro è nominato “Mastro-Uditore sedente in Magistrato nella Reale Camera dei Conti,” una carica di cui nello stesso 1824 divenne titolare e che conservò per tutta la vita [3].

Nelle Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino del 1829, leggiamo infatti che Avogadro era il “Cavaliere Amedeo Avogadro di Quaregna, Professore Emerito di Fisica sublime nella Regia Università, Mastro Uditore nella Regia Camera de’ Conti”. Era professore emerito, perché la cattedra era stata soppressa.

“È noto quali colpe macchiassero l'Alma Mater di Torino: nei suoi giovani fu il fermento delle “prime splùe”, le prime scintille ancor solo vagamente consapevoli del risorgimento.” [3] Non è noto quali colpe gravassero sul professore di fisica, “che [se] ci è facile immaginar col cervello pieno di molecole integranti, ci è difficile immaginar nelle vesti del cospiratore.” [3] Ispezioni fatte per l'occasione lo trovarono esente da connivenze. Era finito in una rappresaglia dovuta al clima dell'epoca. Come dice Wikipedia, per un sospetto entusiasmo per questi movimenti, l'università era stata “lieta di permettere a questo interessante scienziato, di prendere una pausa di riposo dai pesanti doveri dell'insegnamento, in modo da essere in grado di dare una migliore attenzione alle sue ricerche.” [47]

A proposito di quanto gli era accaduto, Perucca ci dice che Avogadro non ne parla. Nell'immensa mole di pagine vergate di suo pugno, raccolte nella Biblioteca Civica, non si trova “un cenno che amarezza, scoraggiamento, irritazione, ribellione lo invadano, o almeno alberghino in lui. Se scritti privati, se un epistolario di Amedeo Avogadro [dice Perucca] esistono, essi sono tuttora ben ignorati; d'altronde troppo raccolta fu la sua vita, troppo tacita la sua morte, troppo tardo il suo riconoscimento, perché io osi sperare ancor fruttuosa la ricerca dello storico, e mutevole il ritratto di Avogadro.” [3]

Avogadro comunque continua le sue ricerche di fisica e chimica. La cattedra gli viene restituita con nomina del 28 Novembre 1834 di re Carlo Alberto, per “l'insegnamento provvisorio”, finché altrimenti disposto. In verità gli viene data dopo che l'aveva lasciata Cauchy, che l'aveva tenuta per un anno [47]. Il 10 Dicembre 1848, il Consiglio universitario chiede al Magistrato della Riforma che Avogadro sia nominato Professore effettivo. Secondo Perucca, “non risulta che la proposta abbia avuto seguito.”

Capillarità e stato solido

“Ma intanto uno dei periodi più pieni, più operosi per l'uomo di scienza è trascorso. Avogadro è quasi sessantenne.” [3] Tornato alla cattedra però, non si limita all'insegnamento. Riprende antichi argomenti di studio, come per esempio i calori specifici, presentando il suo lavoro al Congresso di Torino degli scienziati italiani del 1840 [36], e non si stanca di studiare nuovi problemi. Uno di questi è la capillarità. Il suo lavoro su questo argomento è “notevole per gli abili artifici sperimentali con cui supera le difficoltà d'impiego di tubicini di sostanze opache e notevole per la chiara disamina di talune situazioni non ancora studiate, come ad esempio la capillarità alla superficie di contatto di due liquidi.” [3]

Di questo periodo è la sua “Fisica de' corpi ponderabili, ossia Trattato della costituzione generale dei corpi”. Il trattato è composto di quattro volumi in Italiano, di circa mille pagine ciascuno, dedicati al re Carlo Alberto. “Nel testo si riconosce subito una elevatezza non comune ad altri libri di fisica di quell'epoca italiani o stranieri. Vorremmo dire che è un trattato nobile, come nobile fu l'autore, un trattato che si limita ai capitoli che oggi diremmo della struttura della materia, sovente svolti sotto forma monografica.” [3] Nel suo trattato, Avogadro discute ampiamente di cristallografia, seguendo le opere già famose R. J. Haüy, C. F. Naumann e C. S. Weiss. Secondo Perucca, questa è l'opera dove Avogadro ha introdotto il termine “solido” come sinonimo di cristallo [1].

Di Haüy si è già parlato. Carl Friedrich Naumann (1797-1873), è stato geologo tedesco che ha pubblicato appunto un tratto di cristallografia [48]. Christian Samuel Weiss (1780-1856) è stato anche lui uno studioso tedesco. Nel 1810 diventò professore di mineralogia a Berlino. Weiss sviluppò i parametri usati nella moderna mineralogia, introducendola come branca delle scienze matematiche, rilevando l'importanza degli assi cristallografici come base per classificare i cristalli. Una legge di cristallografia prende il nome da lui, la legge della “Zona di Weiss”. [49]

Da non confondere con Pierre-Ernest Weiss 1865-1940), fisico francese, uno degli sviluppatori del Magnetismo, da cui hanno preso il nome i Domini di Weiss.

La legge dei gas reali

Concluso il trattato di fisica, Avogadro ha ancora quasi un decennio di lavoro all'università. In questo periodo si dedica sostanzialmente ad un gruppo di quattro memorie sui volumi atomici, che sono opere di chimica [3]. Il 21 Agosto 1850 propone alle autorità accademiche il suo programma del prossimo anno accademico, ma alla fine dell'anno, il settantaquattrenne Avogadro rinuncia alla cattedra [3].

Non rinuncia al lavoro scientifico però, continuando ancora a scrivere i suoi appunti. *“Ormai scrive faticosamente, in un carattere spesso illeggibile, e le righe cascano giù verso la fine quasi che sentano anch'esse il peso degli anni.”* [3] Avogadro, in questi scritti, annota ciò che avviene nella scienza. *“Non sono più gli appunti per il suo futuro, come avvenne negli ultimi anni del secolo di prima, quando cominciò a riempire i quaderni di riassunti, di note, di estratti dai periodici scientifici più autorevoli dell'epoca e così da giurista si mutò in fisico e chimico, solitario autodidatta. Per sé solo egli scrive, per sé solo sembra sentire una massima: tu devi ancora sapere.”* [3]

Il 22 Giugno 1851 legge all'Accademia delle Scienze di Torino la sua ultima memoria *“sur les conséquences qu'on peut déduire des expériences de M. Regnault sur la loi de compressibilité des gas”* [50]. Queste esperienze di Regnault, sono importantissime per la fisica, perché fissano il diverso comportamento dei gas reali dai gas perfetti [3].

Henri-Victor Regnault (1810-1878) è stato un chimico e fisico francese. Lo abbiamo già trovato prima, quando si parlava di calori specifici. Queste ricerche lo avevano portato ad ideare il calorimetro delle mescolanze o, appunto, calorimetro di Regnault. Con questo calorimetro si trova il calore specifico di un corpo determinando la quantità di calore ceduta da esso all'acqua nel calorimetro (ed al suo equivalente in acqua), attraverso la misura dell'innalzamento della temperatura dell'acqua [51]. Regnault costruì pure l'igrometro a condensazione per la misura dell'umidità dell'aria.

Per Perucca, nella scienza odierna l'ultima memoria di Avogadro non prende rilevanza nell'ambito della scienza, ma essa va ricordata perché lo si può vedere come il suo testamento scientifico, conforme a quello che *“per cinquant'anni fu il suo programma di ricerca: dal groviglio dei fenomeni, dei valori numerici tra la legge; si direbbe che questa goda di restar nascosta e ardua impresa è il rintracciarla, ma è l'impresa degna dello spirito umano. È la “fisica sublime”, la scienza professata dal Nostro”.* [3]

Che cosa cerca Avogadro ormai settantacinquenne? Egli cerca la legge, ossia l'equazione di stato, dei gas reali. Non ci riesce, ma anche altri falliscono. E Perucca ci ricorda i loro nomi: Thomson, Joule, Maxwell, Meyer, Clausius, ... Solo molto anni dopo questa memoria di Avogadro, Van der Waals riuscirà a darne una legge che porta il suo nome, la legge di Van der Waals. Essa è un'estensione della legge dei gas perfetti, che consente una migliore descrizione dello stato gassoso per le alte pressioni e in prossimità del punto di liquefazione. Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), secondo Wikipedia, la propose in un lavoro del 1873 (*Over de Continuïteit van den Gas - en Vloeïstofoestand*, Sulla continuità dello stato liquido e gassoso). Per la formulazione di questa legge lo studioso fu insignito del Premio Nobel per la fisica nel 1910 [52].

“Il 9 Luglio 1856 Amedeo Avogadro si spegne. Una tacita scomparsa, il rito solenne all'Università ove egli ha il saluto reverente di colleghi e discepoli, e la spoglia mortale abbandona Torino per la tomba di Quaregna.” [3]

La teoria cinetica dei gas

Poco dopo la morte di Avogadro, *“la teoria cinetica dei gas esplode”*. Con data Luglio 1856, Augusto Carlo Krönig, allora professore in un liceo (Königliche Realschule) di Berlino pubblica i suoi Grundzüge einer Theorie der Gase [3]. Su di un terreno ormai ben preparato per la teoria cinetica del calore, il lavoro di Krönig, ci dice Perucca, fa l'effetto di una bomba. *“Per i gas [dice Krönig] farò una ipotesi che spiega subito le leggi di Mariotte e di Gay-Lussac; l'ipotesi è che le molecole siano equiparabili a sferette elastiche, in numero grandissimo nel volume considerato e ancor tuttavia così piccole da occuparne una frazione piccolissima”* [3].

Krönig aggiunge anche l'ipotesi, che la forza viva media, ossia l'energia cinetica media delle particelle possa essere usata per determinare la temperatura assoluta del gas. Egli mostra inoltre che nel gas, a parità di volume, pressione e temperatura, è contenuto lo stesso numero di molecole, qualunque ne sia la natura chimica. Ci spiega Perucca che Krönig però non dice che questa è la legge di Avogadro; *“non credo che lo sapesse.”*

Appena pubblicato, subito si inizia a parlare di questo lavoro. Qualcuno dice che già nelle pagine di Joule si poteva trovare qualcosa, e che Daniel Bernoulli, nella sua *Hydrodinamica* del 1738, aveva già abbozzato queste idee. *“Bisogna riconoscere che molte cose dette da Krönig erano spuntate già fuori qua e là. Ma è Krönig a rivelare per primo che, dalla meccanica statistica nata col suo gas ipotetico, si deriva la ancor anonima legge di Avogadro. Le pagine di Krönig, limpide, lapidee, furono la favilla da cui divampò un vero incendio scientifico.”* [3]

Per merito di Clausius e Maxwell, la teoria cinetica dei gas cresce fino a diventare la meccanica statistica classica delle particelle. *“E Avogadro? Ora sta ai fisici non ignorarlo.”* Secondo Perucca, si deve attendere il libro di Meyer [53], perché nella teoria cinetica sia universalmente segnalato il nome di Avogadro, accanto alla sua “regola”.

Però, due fatti erano finalmente avvenuti. Il primo dei due fatti è stato il riconoscimento da parte dei chimici dell'importanza della legge di Avogadro, fino ad allora poco considerata o addirittura ignorata. Tale riconoscimento avvenne grazie all'opera di Stanislao Cannizzaro nel 1858.

Stanislao Cannizzaro (1826-1910), chimico e politico italiano, nacque a Palermo. Nel 1841, all'età di appena 15 anni, si iscrive all'Università degli Studi di Palermo, che allora aveva medicina come unica laurea scientifica. Dopo aver frequentato un corso di fisiologia tenuto da Michele Foderà, inizia a svolgere ricerche sperimentali col docente. Fu così che Cannizzaro si avvicinò alla chimica [54]. Nel 1845, è Napoli per il Congresso degli scienziati italiani: alla fine del congresso, gli viene offerto un posto al Laboratorio di chimica dell'Università di Pisa. Tornato in Sicilia nel 1847, prende parte alla preparazione della rivoluzione avvenuta nel gennaio del 1848. Nel 1849, caduta la rivoluzione siciliana, viene condannato a morte e costretto ad imbarcarsi alla volta di Marsiglia. Arriva così in Francia ed a Parigi svolge ricerche in chimica che lo portano nel 1851 ad ottenere la cianammide. Assiste anche alle sperimentazioni nel laboratorio di Gay-Lussac e frequenta regolarmente le lezioni di Henri-Victor Regnault sulla calorimetria. Nello stesso anno ottiene la cattedra di chimica e fisica al Collegio Nazionale di Alessandria, dove, nell'autunno del 1855 scopre quella che ora è la “reazione di Cannizzaro” [54].

Nel 1855 viene chiamato dal ministro della pubblica istruzione Giovanni Lanza alla cattedra di chimica dell'Università degli Studi di Genova. Alla fine del 1857, una breve nota sul Nuovo Cimento, preannuncia la stesura di un Sunto di per un corso di chimica. Nell'opera [54-56], pubblicata nel 1858, viene per la prima volta formulata una precisa teoria atomica basata sul principio di Avogadro. Viene enunciata la regola, ora nota come regola di Cannizzaro, che

permette la determinazione del peso atomico di un elemento chimico. La regola di Cannizzaro servì anche a dare la giusta importanza alla legge di Avogadro [54].

Cannizzaro, coi suoi esperimenti, scoprì che l'idrogeno in natura era composto come molecola biatomica e così iniziò a studiare altre molecole, tenendole alla medesima temperatura così da verificare la legge di Avogadro [54].

Il secondo fatto determinante per il successo della legge di Avogadro è stata la determinazione sperimentale del numero di molecole "integranti" che avrebbe dovuto essere lo stesso, a parità di volume, per un qualunque gas. Si deve aspettare fino al 1865, quando Johann Joseph Loschmidt (1821-1895), fisico austriaco, determina la costante di Loschmidt, il numero di molecole contenute in un qualsiasi centimetro cubo di gas a temperatura 273 K e pressione di 760 mmHg. La costante di Loschmidt è diversa dalla costante di Avogadro che riguarda il numero di particelle contenute in un volume di 22,4 litri. Loschmidt, in modo ancora rudimentale ma già ben approssimato [3], ottiene dalla teoria cinetica dei gas il valore di circa 10^{19} molecole al $(\text{cm})^3$. *"Questo numero è ora diventato una grandezza misurabile, non più un oggetto astratto di cui accettare l'esistenza ed il valor uguale per tutti i gas."* [3]

Inoltre, due cose, secondo Perucca, hanno contribuito all'iniziale fredda accoglienza dell'ipotesi di Avogadro. Una era proprio *"il buio persistito per mezzo secolo sul valore di quel numero ipotetico."* E l'altra è forse stata anche la forma spesso usata da Avogadro di dire che, per i gas in pari condizioni di temperatura e pressione, le molecole sono "a egual distanza". Diciamo che se avesse aggiunto un "in media" era meglio. Ma detto come lo diceva Avogadro, ci si immaginava molecole ferme come in un cristallo.

Con Cannizzaro, Loschmidt e Meyer, l'ipotesi di Avogadro diventa la "legge di Avogadro". La validità di essa nelle soluzioni diluite trovata da Van't Hoff (nel 1887 Jacobus Henricus Van't Hoff descrive la pressione osmotica delle soluzioni diluite per mezzo dell'analogia con la pressione esercitata da una specie gassosa alla stessa concentrazione molare), spingono questo studioso ad annunciarne l'estensione con parole ammirate, e così la memoria di Avogadro del 1811 è ripubblicata nel 1889, nella raccolta di Ostwald dei *Klassiker der Wissenschaften* [3]. Secondo Van't Hoff *"la chimica fisica attuale si basa essenzialmente sulle leggi della termodinamica e sulla legge di Avogadro"* [3]. Nel 1907, è Walther Nernst a dire che *"la più importante delle leggi molecolari teoriche che noi possediamo, la regola di Avogadro, appare legge naturale assolutamente esatta."* [3]

Finalmente Amedeo Avogadro ha il giusto riconoscimento. Ed il suo numero diventa una costante universale, la costante di Avogadro di $6,022 \cdot 10^{23}$ molecole/mole. Dopo la costante, arrivano lo "stato di Avogadro" e la "temperatura di Avogadro" con il fisico olandese H. Kamerling Onnes [3]. Anche nel *Physikalisches Wörterbuch* di Westphal c'è lo "stato di Avogadro", come quello di un gas che obbedisca senza limitazioni all'equazione di stato di un gas perfetto. Un gas reale, sempre più rarefatto, tende a questo stato. La temperatura di Avogadro è perciò la temperatura segnata da un termometro a gas quando esso è nello stato di Avogadro, ed è quindi la temperatura termodinamica dei gas perfetti.

Onorare Avogadro

Siamo arrivati alla fine dell'articolo di Perucca, che prima di concludere il suo articolo, ci ricorda come, *"nel disconoscimento di prezioso ingegno,"* Avogadro ha avuto eccelsi compagni. Eccone alcuni: Bernoulli e la sua teoria cinetica dei gas, Huygens per la sua teoria ondulatoria della luce, Helmholtz per il suo principio di conservazione dell'energia, Maxwell e la luce come onda elettromagnetica, e Svante Arrhenius, *"la cui tesi di laurea sulla dissociazione elettrolitica fu approvata per commiserazione e venti anni dopo ebbe il Premio Nobel"* [3]

Con un po' d'amarrezza, Perucca chiude il suo articolo notando che in Torino, città natale del grande scienziato, come monumenti a lui dedicati ci sono solo una modesta stele nel giardino dell'Istituto di Fisica e un busto nel cortile d'onore dell'Università. Il lettore che leggerà l'articolo di Perucca, si renderà conto del profondo sentimento di ammirazione che il professore del Politecnico aveva per Avogadro e di come si sentisse toccato dalle sventure e dai misconoscimenti patiti dal grande scienziato. Ma, forse, quello che pesava di più a Perucca era il fatto che la città avesse quasi dimenticato la grandezza di Amedeo Avogadro.

References

- [1] Sparavigna, A. C. (2016). La Storia della Fisica dello Stato Solito in una Prolusione di Eligio Perucca del 1960 [The History of the Solid-State Physics in a Talk by Eligio Perucca of 1960] (October 17, 2016). SSRN Electronic Journal. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2853334>
- [2] Gariboldi, L. (2015). Perucca, Eligio. In *Dizionario Biografico degli Italiani*, Volume 82. Available at Treccani: [http://www.treccani.it/enciclopedia/eligio-perucca_\(Dizionario-Biografico\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/eligio-perucca_(Dizionario-Biografico)/)
- [3] Perucca, E. (1957). La vita e l'opera di Amedeo Avogadro. *Il Nuovo Cimento Series 10*, 6(1), 10-27.
- [4] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Vittorio_Amedeo_III_di_Savoia
- [5] Mazzuchelli, G. (1753). *Gli scrittori d'Italia cioè Notizie storiche, e critiche intorno alle vite, e agli scritti dei letterati italiani del conte Giammaria Mazzuchelli bresciano*. Bissini, Brescia. Available at Google Books
- [6] Sparavigna, A. C. (2015). An Example of Military Engineering in 16th Century: The Star Fort of Turin. *International Journal of Sciences*, 4(12), 62-67.
- [7] Sparavigna, A. C. (2015). Roman Centuriation in Satellite Images (December 26, 2015). PHILICA Article number 547. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2742223>
- [8] Bertolotti, D. (1849). *Descrizione di Torino*. Viglongo, per cura di G. Pomba.
- [9] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Antoine-Laurent_de_Lavoisier
- [10] Fumagalli, G. (1921). *Chi l'ha detto?* Hoepli, p. 540.
- [11] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta
- [12] Volta, A. (1782). Del modo di rendere sensibilissima la più debole elettricità, sia naturale sia artificiale. *Philosophical Transactions: Giving Some Account of the Present Undertakings, Studies and Labours of the Ingenious, in Many Considerable Parts of the World*. Royal Society (Great Britain). Vol. LXXII. Part I, 237-280. Lockyer Davis and Peter Elmsly, printers to the Royal Society, 1782.
- [13] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Accademia_delle_Scienze_di_Torino
- [14] <http://www.accademiadelle scienze.it/accademia/soci/benedetto-costanzo-bonvicino>
- [15] <http://www.accademiadelle scienze.it/accademia/soci/antonio-maria-vassalli-eandi>
- [16] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Claude_Delam  therie
- [17] Avogadro, A. (1806). Considérations sur l'état dans lequel doit se trouver une couche d'un corps non conducteur de l'électricité lorsqu'elle est interposée entre deux surfaces douées d'électricité de différente espèce. *Journ. de Phys. de La Métherie*, 63, 450.
- [18] Avogadro, A. (1806). Second mémoire sur l'électricité, ou suite des considérations sur l'état etc ... *Journ. de Phys. de La Métherie*, 65, 130.
- [19] Avogadro, A. (1806). Considérations sur l'état dans lequel ... *Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts*, Volume 63. 450-462. Paris, 1806.
- [20] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday
- [21] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Ottaviano_Fabrizio_Mossotti
- [22] Pelosi, G., & Selleri, S. (2015). The Pavers of Maxwell's Pathway to His Equations: Ottaviano Fabrizio Mossotti. *Radio Science Bulletin*, n   355, Dicembre 2015.
- [23] <http://www.accademiadelle scienze.it/accademia/soci/giovanni-antonio-giobert>
- [24] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Repubblica_Piemontese
- [25] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Repubblica_Subalpina
- [26] Vv. Aa. (1843). *Nuova Enciclopedia Popolare, ovvero Dizionario generale di scienze, lettere, arti, storia, geografia*. Giuseppe Pomba e Comp. Editori, Torino. Pagina 672.

- [27] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Storia_del_Piemonte
- [28] Avogadro, A. (1811) Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons. *Journal de Physique*, par J.-C. Delamétherie. Juillet 1811, Tome LXXIII, 56-76. Paris.
- [29] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/René_Just_Haüy
- [30] Vv. Aa. (2016). https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_dei_volumi_di_combinazione
- [31] Rippa, M. (2011). Avogadro e la definizione di molecola. In *La chimica di Rippa, primo biennio*. Italo Bovolenta Editore, per Zanichelli. Available at [Multimedia.bovolentaeditore.com](http://multimedia.bovolentaeditore.com/download/_molecola_avogadro-pdf)
- [32] Cappelletti, V., & Alippi Cappelletti, M. (1962). Avogadro di Quaregna, Amedeo. In *Dizionario Biografico degli Italiani - Volume 4 (1962)*. Available at [Treccani](http://www.treccani.it/enciclopedia/avogadro-di-quaregna-amedeo_(Dizionario-Biografico)/).
- [33] Avogadro, A. (1833). Mémoire sur les Chaleurs spécifiques des corps solides et liquidés. *Annales de chimie et de physique*. 80-112. Crochard Libraire a Paris, 1833.
- [34] Avogadro, A. (1836). Nouvelles recherches sur le pouvoir neutralisant de quelques corps simples. *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino*. XXXIX, 57-154.
- [35] Biblioteca digitale Amedeo Avogadro. <http://www.museogalileo.it/istituto/biblioteca-digitale-tematica/avogadro/homepage/testi-a-stampa.html>
- [36] Sparavigna, A. C. (2016). Specific heat and electronegativity in the talks given by Amedeo Avogadro in the Congress of the Italian Scientists held in Turin in 1840. *PHILICA Article number 839*.
- [37] Dulong, P. L., & Petit, A. T. (1819). Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur, *Ann. De Chimie et de Physique*.
- [38] Fermi, E. (1930). Atomico, calore, in *Enciclopedia Italiana*. Available at [http://www.treccani.it/enciclopedia/calore-atomico_\(Enciclopedia-Italiana\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/calore-atomico_(Enciclopedia-Italiana)/)
- [39] Debye, P. (1912). Zur Theorie der spezifischen Warmen, *Annalen der Physik* 39(4), 789.
- [40] Guareschi, I. (1911). Amedeo Avogadro, relazione tenuta il 24 settembre del 1911 nell'ambito delle onoranze centenarie ad Amedeo Avogadro. *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino*.
- [41] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. *Accademia Nazionale delle Scienze dei XL*. Available at https://it.wikipedia.org/wiki/Accademia_Nazionale_delle_Scienze_detta_dei_XL
- [42] Ciardi, M., & Di Matteo, M. (2016). *Amedeo Avogadro, Lettere*. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma, 2016. ISBN 978-88-98075-17-1
- [43] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. Available at https://it.wikipedia.org/wiki/Johann_Schweigger
- [44] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. At https://it.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_Ørsted
- [45] Vv. Aa. (2010). *Moti del 1820-21*. *Dizionario di Storia*. Treccani. Available at [http://www.treccani.it/enciclopedia/moti-del-1820-21_\(Dizionario-di-Storia\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/moti-del-1820-21_(Dizionario-di-Storia)/)
- [46] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Santorre_di_Santa_Rosa
- [47] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Amedeo_Avogadro
- [48] Naumann, C. F. (1830). *Lehrbuch der reinen und angewandten Kristallographie*. Leipzig, F. A. Brockhaus, 1830.
- [49] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Samuel_Weiss
- [50] Avogadro, A. (1853). Mémoire sur les conséquences qu'on peut déduire des expériences de M. Regnault sur la loi de compressibilité des gaz, *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, (2) XIII, 171-242.
- [51] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Henri-Victor_Regnault
- [52] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_van_der_Waals
- [53] Meyer, O. E. (1877). *Die kinetische Theorie der Gase*, Breslau.
- [54] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. https://it.wikipedia.org/wiki/Stanislo_Cannizzaro
- [55] S. Cannizzaro, S. (1858). *Sunto di un corso di filosofia chimica*. *Nuovo Cimento Vol. 7*, pp. 321-366.
- [56] Cannizzaro, S. (1858). <http://www.minerva.unito.it/Storia/Cannizzaro/Sunto/index.html>