



**HAL**  
open science

## Amedeo Avogadro, professore di Fisica Sublime

Amelia Carolina Sparavigna

► **To cite this version:**

| Amelia Carolina Sparavigna. Amedeo Avogadro, professore di Fisica Sublime. 2016. hal-01386359v2

**HAL Id: hal-01386359**

**<https://hal.science/hal-01386359v2>**

Preprint submitted on 5 Nov 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Amedeo Avogadro, professore di Fisica Sublime**

**Amelia Carolina Sparavigna**

Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino

**Abstract:** Eligio Perucca, che è stato professore di Fisica al Politecnico di Torino, pubblicò nel 1957 un articolo molto interessante sulla vita e le opere di Amedeo Avogadro. Facendoci guidare da Perucca, vediamo di iniziare a conoscere questo grande scienziato torinese, che fu professore di Fisica Sublime / Eligio Perucca, who was professor of Physics at the Polytechnic of Turin, in 1957 published a very interesting article on the life and works of Amedeo Avogadro. Being guided by Perucca, let's start learning about this great scientist from Turin, who was professor of Fisica Sublime. (Article in Italian)

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

**Introduzione** In un recente articolo [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, che era anche il commiato del professore dal suo Politecnico, inizia proprio dalla discussione del termine "solido". In fisica, secondo Perucca, "solido" è sinonimo di "cristallo", anzi di cristallo senza imperfezioni. Secondo Perucca, il primo ad usare "solido" inteso proprio come "cristallo" è stato Amedeo Avogadro nel suo lavoro monumentale sulla "Fisica dei Corpi Ponderabili".

Il professore di Fisica del Politecnico non si limitò solo a studiare questo imponente 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. Questa ricerca ha prodotto un eccellente 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, che fu anche lui professore di fisica, che allora era definita come la Fisica Sublime.

Facendoci guidare da Perucca, vediamo di iniziare a conoscere questo grande scienziato torinese.

**Amedeo e Felice, avvocati e scienziati** 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 fallita "*l'impresa di scrutare l'uomo* [Avogadro]". Forse, secondo Perucca, è possibile che esista un suo epistolario non ancora scoperto. Solo quest'anno ne è stato pubblicato un epistolario inedito, da parte dell'Accademia dei Quaranta, di cui Avogadro fece parte [4].

Amedeo fu una persona quasi schiva, secondo quanto testimoniato da chi lo conobbe, dedito alla sua famiglia numerosa, e che non aveva altra passione che gli studi scientifici [3]. Il padre, Filippo, era avvocato ed era stato nominato conte nel 1787 da Vittorio Amedeo III, re di Sardegna e duca di Savoia, Piemonte e Aosta dal 1773 al 1796.

Amedeo nacque in Torino, il 9 Agosto 1776, in una casa che Perucca ha cercato invano e che doveva essere nella Parrocchia della Madonna del Carmine, appena fuori dal perimetro della città romana e nei pressi della Cittadella, di cui ci resta oggi solo il Mastio [6,7]. Amedeo abiterà poi 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. In effetti oggi, il numero civico 49 non c'è più e nel palazzo si entra da Via Piave.

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 [3]. Ci informa Davide Bertolotti nella sua "Descrizione di Torino" [7], 1849, che l'Ufficio dell'Avvocato dei poveri era stabilito affinché ci fosse un avvocato che sostenesse 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.

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]

Nuove idee e scoperte scientifiche stavano appassionando tutti gli studiosi, e non solo i fratelli Avogadro, in un periodo di poco precedente e poi contemporaneo alla Rivoluzione Francese, la rivoluzione che occorre in Francia tra il 1789 e il 1799, dalla presa della Bastiglia il 14 luglio 1789 al colpo di Stato del 9 novembre 1799, con Napoleone che proclamava la fine della rivoluzione. Oltre a quelli sociali, quel periodo era pervaso di profondi mutamenti scientifici, prodotti da Volta e Lavoisier. In breve, Volta inventava la pila elettrica e Lavoisier enunciava il principio di conservazione della massa nelle reazioni chimiche. Amedeo e Felice Avogadro si appassionarono a questa nuova 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].

La nota ha titolo "Essai analytique sur la nature du fluide électrique". L'Accademia, secondo norma, nomina una Commissione per esaminare la nota, che ne riferisce nella seduta del 25 Novembre 1803: "Les rapporteurs croyent 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 è quindi a nome dei due fratelli Avogadro. Essa non viene pubblicata ma i due Avogadro sono nominati Soci Corrispondenti dell'Accademia. Della nota, l'Accademia disapprova che gli autori parlino della possibilità di identificare il fluido elettrico col fluido calorico [3]. Sottomesse al Journal de Physique di Parigi, detto "de La Métherie" o "de Lamétherie" dal nome del suo editore [8], queste ricerche sono pubblicate. La memoria è divisa in due parti [9,10], che 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.

**La polarizzazione dei dielettrici** Cosa c'è in questo lavoro di Avogadro? Ci spiega Perucca che si può trovare 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.” [3,10]. E' difficile, leggendo queste righe, non immaginare subito come viene rappresentata solitamente la polarizzazione dei dielettrici, con strati di dielettrico aventi superfici con 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.” 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]

Secondo Perucca, Mossotti attribuisce ad Avogadro anche il principio delle superfici corrispondenti dell'elettrostatica. Ricordiamo brevemente che questo principio dice che 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.

**Da avvocato ad insegnante** Torniamo ad Amedeo Avogadro. Altre tre memorie di fisica presentate all'Accademia di Torino ricevono “menzioni onorevoli”, ma niente pubblicazione. Intanto, i due fratelli continuano il loro lavoro in campo legale. Dall'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].

In quel periodo il Piemonte era la 27-esima divisione territoriale della Francia. Occupato nel 1798 dai francesi, il Piemonte venne prima diviso in quattro dipartimenti: Eridano a Torino, Sesia a Vercelli, Stura a Cuneo, e Tanaro ad Alessandria. Dopo la battaglia di Marengo, con la nascita della Repubblica Subalpina, il territorio piemontese fu 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 [11]. Equiparato quasi completamente alla Francia, il Piemonte fece capo quindi al governo di Parigi tramite l'ufficio dell'amministrazione generale della 27 divisione [12]. 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.

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 1811.

**L'ipotesi di Avogadro** Il testo di questa fondamentale memoria di Avogadro lo troviamo in [13] (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 intégrant 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) propose proprio che c'è una “molecola integrante”, secondo la quale ogni cristallo è costituito, a livello atomico, dalla ripetizione di un parallelepipedo elementare che dava la geometria caratteristica al cristallo.

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.” [14]

Come ben spiegato in [15], 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” [15], 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 [15]. 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 [15]. 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 termologia: 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.16, 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 [16]. 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 obiettarli che il Journal de Physique, sul quale era

stato pubblicato l'Essai del 1811, aveva larga diffusione negli ambienti scientifici [16]. Anche il fisico Mollet aveva accolto l'ipotesi dell'Avogadro [16]. 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" [16].

**Il calore specifico** Il calore specifico era un argomento che attirava molto Avogadro, tanto che su di esso ci torna più volte a lavorare. 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 [3,17,18], e *“molto si valse Avogadro di queste determinazioni per discuterne l'eccezione alla legge di Dulong e Petit di allora.”* [3]. Altri articoli di Avogadro sul calore specifico di possono sfogliare al sito del Museo Galileo [19], insieme a tantissimi altri documenti, come i manoscritti della Biblioteca Civica.

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 [20], 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.”* [21] A temperatura ambiente, il carbonio ha un calore atomico di circa 1.5 calorie/gradi, mentre l'alluminio, l'argento e il piombo ad esempio, danno valori vicini a quello di Dulong e Petit.

Queste anomalie vengono dal fatto che, all'epoca, ci si limitava ai dati a temperatura ambiente. Se andiamo a temperature molto più alte, anche per il carbonio si raggiunge il valore di Dulong e Petit. Il modello di Debye, sviluppato da Peter Debye nel 1912 [22], per valutare il contributo dei quanti della vibrazione termica del reticolo (fononi) al calore specifico di un solido, mostrerà infatti che esso a bassa temperatura è proporzionale a  $T^3$ , mentre fornisce ad alta temperatura il valore previsto dal modello di Dulong-Petit.

Il problema del calore specifico continuerà ad interessare Avogadro per molti anni ancora, tanto che sarà argomento di sue due letture al Secondo Congresso degli Scienziati Italiani, che si tenne a Torino nel 1840 [23].

**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 [24], 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”*, ossia dei Quaranta, una società scientifica fondata nel 1782 a Verona.

*“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]*

**Il galvanometro di Avogadro** 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”.

L'applicazione di Avogadro era controllare “l'ordre que gardent entre eux les différens 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”, quindi nei conduttori metallici e ionici.

Notiamo che siamo a due anni dalla scoperta di Oersted del 1820. 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. Oersted concluse che la corrente produce un campo magnetico con linee di forza chiuse intorno alla corrente.

Con il suo strumento e le sue esperienze. 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”. [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 conduttori di “seconda specie”, che non 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, erano molto interessanti, ma *“anche questa bella memoria di Avogadro, pur largamente citata, ad esempio, nel trattato di Wiedemann, non ebbe la risonanza che meritava.” [3]*

**Il Professore di Fisica Sublime** 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 avevano finalità costituzionali, liberali e, in Italia, anche talora indipendentistiche e unitarie.

Anche il Piemonte ha la sua rivoluzione, che vede coinvolti alcuni nobili e una piccola parte dell'esercito; la popolazione invece era indifferente. Durante i moti del 1821, che chiedevano la costituzione e la liberazione di Milano dagli austriaci, il re Vittorio Emanuele I, fermo nel suo



rifiuto di concedere la costituzione, abdicò in favore del fratello Carlo Felice. Dato che il nuovo re era a Modena, lasciò a Torino Carlo Alberto come reggente che concesse la costituzione.

Arrivato a Torino il 16 marzo del 1821, il nuovo re dichiara ribelli gli aderenti alla rivoluzione e sconfessava l'operato di Carlo Alberto, che viene mandato a Novara presso le truppe fedeli al monarca.

Tra i provvedimenti repressivi di Carlo Felice troviamo anche il decreto del 24 Luglio 1822 che sopprime alcune cattedre universitarie tra le quali è quella di "fisica sublime", cioè la cattedra di Fisica all'Università. *"È noto quali colpe macchiassero l'Alma Mater di Torino: nei suoi giovani fu il fermento delle "prime spliue", 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." [25]

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."* [3] Egli 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 [25]. 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."*

Tornato alla cattedra, Avogadro non si limita all'insegnamento. Riprende antichi argomenti di studio, come per esempio i calori specifici, presentando il suo lavoro al Congresso di Torino [23], e non si stanca di studiare nuovi problemi. Uno di questi è la capillarità [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.

**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. In questi scritti, annota ciò che avviene nella scienza.

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"* [26]. 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.

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 trai 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]

Quale è l'ultima ricerca di Avogadro ormai settantacinquenne? E' la legge che governa i gas reali. Non ci riesce, ma anche altri falliscono e sono scienziati quali Thomson, Joule, Maxwell, Meyer, Clausius, ...[3] 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 [27].

Amedeo Avogadro muore il 9 Luglio del 1856.

**La teoria cinetica dei gas** Poco dopo la morte di Avogadro, *“la teoria cinetica dei gas esplose”*. Con data Luglio 1856, August Karl 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. In questo lavoro Krönig propone un'ipotesi che spiega le leggi di Mariotte e Gay-Lussac dei gas. L'ipotesi è che le molecole siano come delle sferette elastiche in numero grandissimo nel volume ma così piccole da occuparne una minima frazione. Krönig aggiunge anche l'ipotesi che 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. Krönig però non dice che questa è la legge di Avogadro; probabilmente non la conosceva [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 [28], perché nella teoria cinetica sia universalmente segnalato il nome di Avogadro, accanto alla sua “regola”.

Inoltre, due fatti sono 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 [29]. Nel 1845, è a Napoli per il Congresso degli scienziati italiani, dove gli viene offerto un posto al Laboratorio di chimica dell'Università di Pisa. Tornato in Sicilia nel 1847, dopo i moti rivoluzionari che vi avvengono e a cui partecipa, è costretto nel 1849 a rifugiarsi in Francia ed a Parigi svolge ricerche in chimica che lo portano nel 1851 ad ottenere la cianammide. 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” [29]. Poi, nel 1855 viene chiamato alla cattedra di chimica

dell'Università degli Studi di Genova. Nel *Sunto* per il corso di chimica [29-31], pubblicato 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. Tale regola servì anche a dare la giusta importanza alla legge di Avogadro [29].

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  $(\text{cm})^3$ . Come sottolinea Perucca, questo numero diventa un oggetto misurabile e non più un numero astratto di cui accettare l'esistenza, e ciò contribuisce a riconoscere l'importanza dell'ipotesi di Avogadro.

Con Cannizzaro, Loschmidt e Meyer, l'ipotesi di Avogadro diventa la “legge di Avogadro”. Nel 1887 Jacobus Henricus Van't Hoff ne dimostra la validità anche per le soluzioni diluite. Come ci spiega Perucca, Van't Hoff ne annuncia l'estensione con parole così ammirate che la memoria di Avogadro del 1811 è ripubblicata nel 1889 nella raccolta di Ostwald dei *Klassiker der Wissenschaften* [3]. Finalmente Amedeo Avogadro ha il giusto riconoscimento. Il suo numero diventa una costante, la costante di Avogadro, che oggi noi tutti conosciamo essere di  $6,022 \cdot 10^{23}$  molecole/mole.

## References

- [1] Sparavigna, A. C. (2016). La Storia della Fisica dello Stato Solido 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] Ciardi, M., & Di Matteo, M. (2016). Amedeo Avogadro, Lettere. Accademia Nazionale
- [5] Sparavigna, A. C. (2015). Roman Centuriation in Satellite Images (December 26, 2015). PHILICA Article number 547. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2742223>
- [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] Bertolotti, D. (1849). *Descrizione di Torino*. Viglengo, per cura di G. Pomba.
- [8] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Claude\\_Delam  therie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Claude_Delam  therie)
- [9] 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.
- [10] Avogadro, A. (1806). Second mémoire sur l'électricité, ou suite des considérations sur l'état etc ... *Journ. de Phys. de La Métherie*, 65, 130.
- [11] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/wiki/Repubblica\\_Subalpina](https://it.wikipedia.org/wiki/Repubblica_Subalpina)

- [12] Vv. Aa. (1843). Nuova Enciclopedia Popolare, ovvero Dizionario generale di scienze, lettere, arti, storia, geografia. Giuseppe Pomba e Comp. Editori, Torino. Pagina 672.
- [13] 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.
- [14] Vv. Aa. (2016). [https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_dei\\_volumi\\_di\\_combinazione](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_dei_volumi_di_combinazione)
- [15] 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 [http://multimedia.bovolentaeditore.com/download/\\_molecola\\_avogadro-pdf](http://multimedia.bovolentaeditore.com/download/_molecola_avogadro-pdf)
- [16] 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\\_\(Dizionario-Biografico\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/avogadro-di-quaregna-amedeo_(Dizionario-Biografico)/)
- [17] 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.
- [18] Avogadro, A. (1836). Nouvelles recherches sur le pouvoir neutralisant de quelques corps simples. Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. XXXIX, 57-154.
- [19] Biblioteca digitale Amedeo Avogadro. <http://www.museogalileo.it/istituto/biblioteca-digitale-tematica/avogadro/homepage/testi-a-stampa.html>
- [20] Dulong, P. L., & Petit, A. T. (1819). Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur, Ann. De Chimie et de Physique.
- [21] 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)/)
- [22] Debye, P. (1912). Zur Theorie der spezifischen Warmen, Annalen der Physik 39(4), 789.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/wiki/Amedeo\\_Avogadro](https://it.wikipedia.org/wiki/Amedeo_Avogadro)
- [26] 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.
- [27] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/wiki/Legge\\_di\\_van\\_der\\_Waals](https://it.wikipedia.org/wiki/Legge_di_van_der_Waals)
- [28] Meyer, O. E. (1877). Die kinetische Theorie der Gase, Breslau.
- [29] Vv. Aa. (2016). Wikipedia. [https://it.wikipedia.org/wiki/Stanslao\\_Cannizzaro](https://it.wikipedia.org/wiki/Stanslao_Cannizzaro)
- [30] S. Cannizzaro, S. (1858). Sunto di un corso di filosofia chimica. Nuovo Cimento Vol. 7, pp. 321-366.
- [31] Cannizzaro, S. (1858). <http://www.minerva.unito.it/Storia/Cannizzaro/Sunto/index.html>