

An overview on networked music performance technologies

Original

An overview on networked music performance technologies / Rottondi, C.; Chafe, C.; Allocchio, C.; Sarti, A.. - In: IEEE ACCESS. - ISSN 2169-3536. - ELETTRONICO. - 4:(2016), pp. 8823-8843. [10.1109/ACCESS.2016.2628440]

Availability:

This version is available at: 11583/2723336 since: 2019-01-22T10:34:14Z

Publisher:

IEEE

Published

DOI:10.1109/ACCESS.2016.2628440

Terms of use:

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

Publisher copyright

IEEE postprint/Author's Accepted Manuscript

©2016 IEEE. Personal use of this material is permitted. Permission from IEEE must be obtained for all other uses, in any current or future media, including reprinting/republishing this material for advertising or promotional purposes, creating new collecting works, for resale or lists, or reuse of any copyrighted component of this work in other works.

(Article begins on next page)

1840: Torino e la Scienza a Congresso

Amelia Carolina Sparavigna

Politecnico di Torino

In questo scritto parliamo del secondo congresso dei naturalisti italiani tenutosi a Torino nel 1840. Tra le varie questioni teoriche e sperimentali, una spicca in particolare ed è quella concernente la Macchina Analitica di Babbage, ossia il calcolatore programmabile. Ma molto interessanti sono anche le discussioni sul principio delle velocità virtuali, sul calore specifico e sugli effetti termoelettrici. Tra i protagonisti del congresso, spicca il giovane Luigi Menabrea.

Torino, 14 Aprile 2020. DOI: 10.5281/zenodo.3751299

Nel 1839, a Pisa si tenne il primo dei congressi dei naturalisti italiani, congresso ideato e realizzato da Luciano Bonaparte, nipote di Napoleone e zoologo di fama internazionale, sulla scia del successo avuto da simili adunanze che si erano tenute in altre parti d'Europa. All'apertura del congresso di Pisa, Luciano Bonaparte annunciò che la sede della riunione successiva sarebbe stata Torino. Questa chiara violazione del regolamento, che invece prevedeva una votazione all'ottavo giorno del congresso, suscitò proteste da parte dei partecipanti [1]. Ma "un corriere inviato prontamente a Torino per chiedere al Re di Sardegna il permesso, costrinse l'assemblea a ratificare la decisione, volenti o nolenti i suoi membri." Carlo Alberto di Savoia acconsentì dicendo che se gli organizzatori «veulent s'adjoindre les littérateurs, je ne m'yoppose point» [1].

La seconda riunione si svolse quindi a Torino dal 16 al 30 settembre 1840. A presidente del congresso, per decisione di Carlo Alberto, venne posto Alessandro Saluzzo di Monesi¹, coadiuvato dal segretario Giuseppe Gené², direttore del Museo di scienze naturali di Torino. Le sezioni del congresso erano sei: 1) Fisica, chimica e matematica; 2) Geologia, mineralogia e geografia; 3) Botanica e fisiologia vegetale; 4) Zoologia e Anatomia comparata; 5) Agronomia e tecnologia; 6) Medicina. Tra le personalità a cui affidare le sezioni vi era il matematico e astronomo Giovanni Plana (sezione 1) [2]. Al congresso partecipò il grande fisico e chimico Amedeo Avogadro [3-6]. Tra gli scienziati dall'estero troviamo il fisico Auguste-Arthur De la Rive ed il matematico Charles Babbage. La sua macchina analitica, ossia il computer programmabile, "incendiò gli entusiasmi di Fabrizio Ottavio Mossotti e del giovane Luigi Federico Menabrea" [1,7].

Prima di analizzare qualcuna delle questioni teoriche e sperimentali proposte al congresso, vediamo come si comportò la città coi congressisti, ai quali veniva omaggiata una nuova guida di Torino.

1 Alessandro Saluzzo di Monesi (1775 – 1851) è stato un militare e politico italiano. Divenne residente dell'Accademia delle scienze di Torino nel 1822 e poi presidente della stessa accademia dal 1838 al 1851.

2 Carlo Giuseppe Gené (1800 – 1847) è stato uno zoologo ed entomologo italiano.

La città

"Nei quindici di che la Riunione durò tutto fu vita e letizia nelle vie di Torino, tutto fu ordine e dignità nei palazzi della Regia Università e della Reale Accademia delle Scienze, ne' quali adunavansi quotidianamente le Sezioni. Gli Scienziati, già ricevuti con lieta riverenza dai Deputati all'Ufficio d'Ammissione e presentati dall'Ecc.mo Corpo Decurionale della Descrizione di Torino più sopra accennata, erano ricercati ed accolti con ogni cortesia ed onoranza da S. E. il Presidente Generale, e festeggiati da ogni ordine di Cittadini. Il Museo di Storia naturale e quello delle Antichità egiziane, i Gabinetti di Fisica, di Chimica, di Anatomia, il Giardino Botanico, le Biblioteche dell'Università e dell'Accademia delle Scienze, la Galleria dei Quadri, l'Armeria del Re, l'Arsenale, la Raccolta statistico-mineralogica dell'Azienda Economica dell'Interno, l'Orto sperimentale della Reale Società Agraria, le Sale del Palazzo Municipale, ricche delle belle pitture all'acquarello del fu Cav. De Gubernatis, il Gabinetto letterario, i pubblici e privati Istituti di carità e di beneficenza, la Basilica di Superga, la Regia Villa di Stupinigi, lo Stabilimento botanico-agrario dei signori Burdin e Compagnia, in somma, quanto poteva essere oggetto di dotta o di piacevole curiosità, tutto in que' giorni era aperto agli Scienziati o per espresso comando del Re, o per ispontanea cortesia dei Direttori e dei Proprietarii. Alla sera poi raccoglievansi nelle ampie e splendide Sale dell'Accademia Filarmonica, ed ivi tra i lieti parlari e tra i musicali concerti stringevano fra sè e col fiore più eletto della Società Torinese, non perituri vincoli di fratellanza e di stima. Nè l'Augusto Monarca si accontentò di concedere una franca e nobile ospitalità alla Riunione: accolse alla sua regia mensa i Presidenti di essa e molti de' più illustri Personaggi de' quali si onorava; fece stampare in elegantissimo volume e distribuire in dono la Descrizione della Reale sua Armeria, e perchè abbia a durare nella posterità la notizia di sì importante avvenimento, ne fece coniare e distribuire una magnifica medaglia commemorativa³. Ma profonda, inesprimibile fu la commozione che si destò nell'animo di tutti quando per l'ultima Adunanza comparve nell'Aula l'Eccellentissimo Presidente Generale, fregiato pur allora dalla Maestà Sua delle insegne del Supremo Ordine della SS. Annunziata. La Riunione vide in quel magnanimo atto la più dilicata. la più solenne testimonianza d'onore e di patrocinio, che mai le potesse venire da un Trono" [8].

Gli Atti del Congresso

Abbiamo la possibilità di consultare gli Atti al Rif. 8. Il volume si apre con la Relazione di Giuseppe Gené, segretario generale, dove troviamo come è stato proposto a Pisa il congresso di Torino e come Carlo Alberto abbia prontamente dato l'appoggio alla realizzazione del congresso. Si trovano anche tutte le organizzazioni scientifiche che hanno partecipato all'evento, nonché i coordinatori delle sezioni. Segue poi il discorso del Presidente, che come abbiamo visto prima, per il suo ruolo nell'organizzazione del congresso ricevette il Collare dell'Ordine Supremo della Santissima Annunziata. A seguito ci sono le sue parole di congedo.

Segue l'elenco dei partecipanti. Troviamo poi i verbali delle adunanze, di cui in questo scritto facciamo cenni, in particolare ad alcune relazioni avvenute durante le adunanze di scienze fisiche, chimiche e matematiche.

Le velocità virtuali

Il Giovedì 17 Settembre si ha la prima riunione.

Il Venerdì 18, "Al Prof. Majocchi succede il Cap. Menabrea⁴ facendo lettura di una Memoria intitolata Considerazioni sul principio delle velocità virtuali e tendente a dimostrare l'utilità d'introdurre nell'insegnamento elementare della meccanica questo principio, del quale egli si occupò

³ Negli estratti dagli Atti del congresso viene lasciata l'accentazione originale, come anche i vocaboli ormai desueti.

⁴ Nota: Luigi Federico Menabrea (1809 - 1896) è stato un ingegnere, generale, politico e diplomatico italiano. E' stato anche uno dei più grandi scienziati italiani del XIX secolo, nonché socio dell'Accademia delle Scienze di Torino e dell'Accademia Nazionale dei Lincei.

di dare una dimostrazione rigorosa ed elementare ed applicazioni facilmente intelligibili ai principianti. Nell'utilità di questo innovamento concorre anche il Professore Mazzola⁵, facendo conoscere che già da dieci anni lo ha adottato ed alcune cose ha pubblicato al proposito negli Annali delle scienze del Regno Lombardo-Veneto. A questo replica il Cap. Menabrea che ben conosce essere un tale principio già stato impiegato da molti altri nell'istruzione, ma crede che non sia stato abbastanza generalizzato, dimostrato con rigore ed applicato con facilità.

Il Prof. Botto⁶ espone l'opinione che il far concorrere altri principi di dimostrazione può essere utile in vari casi, e cita per esempio il Trattato di Meccanica del Cap. Kater e del Dottore Lardener⁷. Il Presidente Plana⁸ osserva che il principio delle velocità virtuali mal si piegherebbe a tradurre in equazioni le condizioni dell'equilibrio dei corpi considerati come composti di molecole disgiunte soggette ad azioni molecolari, e che le difficoltà principali che restano a vincere non consistono nel trovare queste equazioni, ma bensì nel trattarle per arrivare ad una soluzione atta a dare dei risultamenti numerici. A questa osservazione il Cap. Menabrea replica che il suo scopo si limita all'applicazione del principio delle velocità virtuali ai soli problemi che offre la meccanica industriale ed il Prof. Vincenzo Amici⁹ cita l'opera di Poncelet¹⁰ in cui lo stesso scopo si è attinto. Al termine di questa discussione il Prof. Mossotti¹¹ per far giustizia al merito di un suo amico il Dott. Gabrio Piola¹², ricorda che quest'autore, nelle Memorie della Società Italiana, dedusse dal principio delle velocità virtuali, in un modo elegante, le equazioni dell'equilibrio e del movimento di una massa composta di molecole disgiunte soggette ad attrazioni e ripulsioni reciproche, come Navier¹³ e Poisson¹⁴ lo avevano fatto con altri principi" [8].

Per quanto riguarda l'importanza della comunicazione di Menabrea, si rimanda alla lettura del Rif.11, che ci permette di comprendere appieno anche l'osservazione fatta da Plana a Menabrea. Ecco alcuni estratti da tal riferimento.

"Il problema fondamentale della meccanica del XVIII sec. consiste nella determinazione del moto di punti materiali. In base alla concezione atomistica della materia, allora dominante, secondo la quale ogni corpo fisico è costituito da un numero finito di punti materiali, il moto di tutti i corpi doveva poter essere ridotto a sistemi di punti materiali; ma a tal fine era necessario, in primo luogo, comprendere il moto di un punto materiale. Il principio variazionale non si servì quindi, inizialmente, del metodo 'diretto', praticato con successo soprattutto da Newton, consistente nel ricondurre ogni variazione di moto (accelerazione) all'influsso di forze, bensì del metodo 'indiretto' del confronto: l'idea base del principio era di determinare, e quindi individuare univocamente, il moto effettivo del punto materiale tramite altri moti, soltanto pensati ma in linea di principio possibili, le cui particolari proprietà si potessero esprimere per mezzo di grandezze scalari. Se il confronto del moto effettivo con tutti i possibili moti si svolge in un intervallo di tempo finito (e corrispondentemente in un cammino finito) tra due punti del moto, si parla di 'principio variazionale integrale', se invece si svolge in un solo istante di tempo (cammino infinitesimo), si parla di

5 Come dagli Atti: Mazzola Angelo, Ingegnere Civile, e Professore di Matematica a Lodi.

6 Giuseppe Domenico Botto (1791 – 1865) è stato un fisico italiano. Per la sua collaborazione con Amedeo Avogadro, si veda il Rif.9.

7 Ci si riferisce agli Elementi di meccanica di Henry Kater e Dionysius Lardner, che poi verrà pubblicato da Cugini Pomba e compagni, nel 1851. Si trova in Google Books.

8 Giovanni Antonio Amedeo Plana (1781 – 1864) è stato un matematico, astronomo, geodeta e senatore italiano. Si veda il Rif.2.

9 Vincenzo Amici è stato professore di Meccanica ed Idraulica a Pisa.

10 Jean-Victor Poncelet (1788 – 1867) è stato un matematico e ingegnere francese che ha contribuito allo sviluppo della geometria proiettiva.

11 Ottaviano Fabrizio Mossotti (1791 – 1863) è stato un matematico, fisico, astronomo e accademico italiano.

12 Gabrio Piola (1794 – 1850) è stato un matematico, fisico e insegnante italiano. Scrisse numerosi trattati e memorie di fisica, meccanica e matematica. Legò il suo nome ai tensori nominali di tensione detti di Piola-Kirchhoff. Si veda anche il Rif.10.

13 Claude-Louis Navier (1785 – 1836) è stato un ingegnere e scienziato francese. È considerato uno dei padri della moderna scienza delle costruzioni e diede fondamentali contributi nel campo della meccanica dei fluidi.

14 Siméon Denis Poisson (1781 – 1842) è stato un matematico, ingegnere e fisico francese. Conosciuto tra le varie cose per l'equazione di Poisson, le parentesi di Poisson, la distribuzione di Poisson e così via.

'principio variazionale differenziale'. Incontriamo i principali rappresentanti di questi due tipi di approccio al problema già nel XVIII sec., con il principio di minima azione e quello delle velocità virtuali" [11].

Segue nel Rif.11 il dettaglio storico del principio delle velocità (o dei lavori) virtuali, definito come il più generale principio della statica. "Troviamo le premesse alla sua formulazione e alla sua applicazione già nei problemi di meccanica di Aristotele, in Euclide, Archimede ed Erone di Alessandria, soprattutto in collegamento con le ricerche sulla leva." Sono poi menzionati Giordano Nemorario e la sua scuola (XIII sec.), Guidobaldo Dal Monte (1545 - 1607), il patrocinatore di Galilei, e Galilei medesimo. "Galilei si riattacca a Dal Monte e, in una delle sue prime opere, *Le meccaniche*, scritta intorno al 1600, dimostra il principio nel caso della leva, e in tale occasione introduce, per il prodotto del peso di una massa con il suo spostamento infinitesimale iniziale, il termine "momento". Descartes sostiene in seguito ... l'ipotesi che si possano ricondurre al principio di Giordano varie macchine semplici" [11].

Dalla "preistoria del nostro principio", si passa ad una "nuova qualità" verso la fine del XVII sec., con Pierre Varignon (1654 - 1722) e la sua corrispondenza con Johann Bernoulli (1667 - 1748); "questi, in una lettera del 26 gennaio 1717, formula il principio delle velocità virtuali in una forma decisamente generale. Con la definizione *vitesse virtuelle* per gli slittamenti infinitesimali della massa, Bernoulli dà anche il nome al principio, e chiama 'energia' il prodotto tra spostamento e forza applicata (cioè il lavoro virtuale). Varignon riprende, inoltre, la formulazione del principio data da Bernoulli nella sua opera postuma *Nouvelle mécanique ou statique*." Poi arrivano i lavori di Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768 - 1830), Louis Poinsot (1777 - 1859), Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855) e altri matematici.

In [11], segue una discussione sul principio di d'Alembert, e finalmente si arriva al principio delle velocità virtuali nella forma di Lagrange, ossia di Giuseppe Luigi Lagrangia (Torino, 25 gennaio 1736 - Parigi, 10 aprile 1813). E' stato "Lagrange a portare il principio nella forma che negli odierni libri di testo è in genere ascritta a d'Alembert. Egli non solo risale al *Traité de dynamique* di d'Alembert, ma anche allo sviluppo più antico del principio delle velocità virtuali. Lagrange stesso definisce quindi la propria formulazione, già nelle applicazioni alla statica, come una 'combinazione' di quest'ultimo principio con quello di d'Alembert" [11].

Lagrange definisce tutte le potenzialità del suo metodo nella sua *Mécanique analytique*. In [11] si sottolinea che Lagrange riteneva di poter ricondurre alla sua combinazione del principio di d'Alembert e del principio delle velocità virtuali "l'intera teoria della dinamica", ed in questo modo di poter ridurre la determinazione del moto di punti materiali al puro calcolo. Si arrivò così alle equazioni Lagrangiane del moto. Dal principio delle velocità virtuali, Lagrange dedusse anche il teorema della conservazione del moto baricentrico, la proprietà della conservazione delle momento della quantità di moto, "nonché (nel caso in cui il sistema meccanico sia sottoposto a vincoli indipendenti dal tempo e sia 'governato' solamente da forze centrali) la legge della conservazione della forza viva e il principio variazionale (ancora da approfondire) di minima azione" [11]. Ed è così che la meccanica variazionale, "con i due principi più importanti, quello delle velocità virtuali e quello di minima azione", divenne sostanzialmente una conquista del XVIII secolo [11].

Nel 1846 Menabrea diventerà professore di Scienza delle Costruzioni all'Università degli Studi di Torino, cattedra che ricoprirà fino al 1860. Nonostante i suoi gravosi impegni militari e politici, Menabrea propose una nuova formulazione dell'analisi strutturale basata sul principio di lavoro virtuale, diventando un precursore dell'introduzione di principi energetici nella meccanica dei continui. Quindi, di Menabrea, oltre al lavoro sulla macchina di Babbage di cui si parlerà in seguito, si deve ricordare "la nota presentata nel 1858 all'Accademia delle Scienze [di Torino] *Nouveau principe sur la distribution des tensions dans les systèmes Élastiques*, in cui si enuncia il teorema condiviso con Castigliano, secondo il quale "tra tutti i sistemi di forze esterne, il solo che è in grado di esistere è quello che corrisponde al potenziale elastico minimo" [12].

La formulazione di Carlo Alberto Castigliano è la seguente: «Consideriamo un sistema elastico formato di parti soggette a torsione, flessione o scorrimento trasversale, e di verghe congiunte a

snodo con quelle parti e fra loro: io dico che se questo sistema viene sottoposto all'azione di forze esterne cosicché esso si deformi, le tensioni delle verghe dopo la deformazione sono quelle che rendono minima l'espressione del lavoro molecolare del sistema, tenendo conto delle equazioni che si hanno fra queste tensioni, e supponendo costanti le direzioni delle verghe e delle forze esterne» [13].

Si veda anche [14]. In questo riferimento si dice che l'evento più importante nella seconda metà dell'Ottocento, per la storia dell'ingegneria strutturale italiana, è il varo nel 1849 del decreto legislativo del Regno di Sardegna, noto come legge Casati che riformò l'intero ordinamento scolastico e istituì le Scuole di applicazione per ingegneri.

"Tra le varie scuole la più importante per la meccanica delle strutture, almeno all'inizio, fu quella di Torino. Il personaggio chiave di questa scuola fu Giovanni Curioni, erede di Luigi Federico Menabrea che aveva insegnato la meccanica delle strutture agli allievi ingegneri prima della riforma Casati. Curioni fece proprie le ricerche di Menabrea sul modo di risolvere le strutture ridondanti e fu relatore della tesi di laurea che Alberto Castigliano presentò a Torino nel 1873, dove la tecnica di Menabrea per risolvere i tralicci iperstatici veniva estesa anche alle membrature inflesse". In [14] si presentano i contributi di Menabrea e Castigliano.

Avogadro e De la Rive: calori specifici ed elettrochimica

Torniamo al congresso di Torino del 1840. Lunedì 21 Settembre, "la seconda lettura è fatta dal signor Cav. Prof. Avogadro sulla legge da lui stabilita che i calori specifici dei gas composti, ritenuti sotto volume costante, comparati a quelli d'un egual volume d'aria o di un gas semplice sotto la stessa temperatura e pressione, sono espressi dalla radice quadrata della somma dei numeri interi e frazionari dei volumi dei gas semplici. Questa legge è da lui comprovata cogli esempi del gas acido carbonico, del gas oleifico, del gas ossido carbonico, dell'ossido d'azoto e del vapor acqueo, sui quali gas la formula dà de' risultamenti conformi alle esperienze di Dulong e di De la Rive. Ricordata poi la priorità d'aver annunziato il principio che i gas semplici a volumi eguali e sotto eguali pressioni contengono un egual numero d'atomi [molecole, in effetti], fa sentire l'importanza di questo principio per determinare il peso degli atomi che concorrono alla formazione dei gas e delle altre sostanze, togliendo l'indecisione che ancor rimane, impiegando i soli dati che fornisce la chimica: e dopo aver accennato alcune applicazioni da lui fatte in altre occasioni ai corpi solidi e liquidi (colle debite restrizioni) invita i fisici ad applicarsi al perfezionamento d'una teoria che è così strettamente collegata coi punti più importanti della fisica e della chimica" [8]. Del grande Amedeo Avogadro si è parlato in varie pubblicazioni ai riferimenti dati prima.

Ma vediamo ora uno dei partecipanti stranieri al congresso. Dopo alcune relazioni, "Chiude la Seduta [del 21] il Prof. De la Rive di Ginevra che ci onora della sua presenza", che relaziona su argomenti di elettrochimica.

Auguste Arthur De la Rive (1801 - 1873) è stato un fisico ed anche un editore di numerosi periodici e trattati scientifici, nonché membro, tra le varie accademie, della Royal Society e dell'Accademia Nazionale dei Lincei. A 22 anni, Auguste fu incaricato dell'insegnamento di Filosofia naturale a Ginevra. Per alcuni anni si dedicò, assieme a François Marcet (1803 - 1883), alle ricerche sul calore specifico dei gas e a esperimenti per determinare la temperatura dalla crosta terrestre. Successivamente, De la Rive si dedicò agli studi nel campo dell'elettricità, in particolare delle celle voltaiche e delle scariche elettriche nei gas. Le sue ricerche sulle scariche elettriche lo portarono a elaborare una nuova teoria sull'aurora boreale. Si dedicò anche all'elettrochimica. Nel 1840 descrisse un processo per l'elettrodeposizione in argento e ottone, scoperta per la quale l'anno seguente fu premiato con 3000 franchi dall'Accademia francese delle Scienze.

E dove e quando De la Rive descrisse il metodo? Al congresso di Torino il 23 Settembre. "Dà per ultimo un saggio del suo metodo per dorare diversi metalli e specialmente l'argento mediante un processo elettrico di sua invenzione, processo ch'egli spera di veder generalmente introdotto nell'industria siccome quello che offre un'economia del 50 per cento su quello praticato avanti col mercurio" [8].

Torniamo al 22 Settembre, quando "il Cavaliere Avogadro" continua "con una nota alla Memoria da lui letta nel dì precedente, e precisamente alla parte riguardante il calorico specifico dei corpi liquidi e solidi. Questa nota viene da lui letta in francese siccome quella che si riferiva ai lavori fatti dai signori Marcet e De la Rive qui presente: e versa principalmente sull'anomalia che presenta il carbonio rispetto alla legge del calorico specifico delle sostanze semplici trovate da Dulong e Le Petit" [8]. Si veda a tal proposito la discussione in [3]. Continua il Rif.8: "Soggiunge il sig. De la Rive dichiarando che nemmeno egli e il sig. Marcet erano pienamente soddisfatti del loro lavoro rispettivamente al carbonio, e che secondo essi le maggiori difficoltà di queste esperienze consistono nel ben determinare la temperatura delle sostanze sottoposte a prove, asserendo per altro che essi avevano posta ogni diligenza per impiegare un metodo con cui questa temperatura fosse bene stabilita. Convenendo poi anche il sig. De la Rive dell'importanza di siffatte determinazioni, principalmente rispetto al carbonio e al gas idrogeno carburato, e alla parte che nei risultamenti può avere l'isomerismo, tributa al sig. Avogadro gli elogi che questi colle sue ricerche si è ben meritati" [8].

De la Rive torna a parlare il 23 Settembre. "Il Presidente invita il sig. De la Rive ad esporre le esperienze e gli apparati elettrici che aveva annunciati. Occupato, diss'egli, di un grande lavoro diretto ad investigare sotto tutte le forme le relazioni esistenti fra le forze elettriche e le forze chimiche, crede di doverle esaminare sotto tre punti di vista: 1.° Considerando l'influenza delle forze elettriche sulle forze chimiche. 2.° Studiando l'influenza delle forze chimiche sulle forze elettriche. 3.° Confrontando gli effetti simili prodotti dalle due specie di forza, e fra essi in particolare quelli relativi alla luce ed al calore" [8]. E poi si trova negli atti del congresso una dettagliata relazione delle esperienze che De la Rive esegue e che destano "molto interesse nell'Udienza. Dà per ultimo un saggio del suo metodo per dorare diversi metalli e specialmente l'argento mediante un processo elettrico di sua invenzione". Come abbiamo già detto prima, tale metodo gli valse il premio dell'Accademia delle Scienze Francese.

Il freddo prodotto dalle correnti elettriche

Passiamo al 25 Settembre. Troviamo il Prof. Pacinotti, ovvero Luigi Pacinotti di Pistoia, Professore di Fisica Sperimentale nell'I.R. Università di Pisa. E' il padre di Antonio Pacinotti (1841 – 1912), patriota, senatore e scienziato italiano, a cui si deve l'invenzione della dinamo e del motore elettrico in corrente continua.

Quindi, all'Adunanza del 25 Settembre si chiama "il Prof. Pacinotti a leggere la sua Memoria Intorno al freddo prodotto dalle correnti elettriche. Comincia dal citare i lavori di Peltier¹⁵, che primo scoprì questo singolarissimo fenomeno, come pure quelli del sig. Lenz¹⁶; indi espone, che dopo aver verificati questi fatti, ed esaminate ne' diversi metalli le particolarità che determinano piuttosto l'abbassamento che l'elevamento di temperatura secondo la direzione della corrente, osservò aver luogo la legge, che si ha freddo, quando la corrente si dirige nel medesimo verso, secondo il quale essa camminerebbe scaldando la giunzione dei due metalli, e caldo quando si muove in verso contrario. Da questa legge cava l'importante conseguenza che gli effetti termometrici prodotti dalle correnti nelle giunture dei metalli dissimili hanno tendenza ad eccitare delle correnti contrarie, tosto che il circuito cessa di essere attraversato dalle prime correnti. Alla fine di questa lettura prende la parola il sig. Professore Belli, dicendo non riusciregli affatto nuove tali osservazioni mentre gli sembrano simili a quelle già state fatte da Poggendorff¹⁷ e pubblicate nel 1838 negli Annalen der Physik und Chemie N. 2, p 324 e seguenti, ma ritiene che quantunque mancanti probabilmente di novità, sono molto pregevoli le osservazioni del Prof. Pacinotti (1)" [8].

15 Jean Charles Athanase Peltier (1785 – 1845) è stato un fisico francese, scopritore del fenomeno per cui una corrente elettrica che attraversa due giunzioni tra metalli diversi produce un trasferimento di calore. Il fenomeno è chiamato in suo onore effetto Peltier e su di esso si basa il componente noto come cella di Peltier.

16 Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 – 1865) è stato un fisico russo. È famoso per la legge di Lenz che afferma che la forza elettromotrice indotta ha segno tale da opporsi alla causa che l'ha generata.

17 Johann Christian Poggendorff (1796 – 1877) è stato un fisico tedesco.

La nota (1) dice che "Poggendorff dopo aver riferite le originali esperienze di Peltier sul freddo prodotto talvolta dalle correnti elettriche vi soggiunge le proprie considerazioni. Secondo lui, Peltier farebbe derivare il fenomeno da una diversa conducibilità de' due metalli, mentre egli crede che abbia relazione col termo-elettricismo: opina cioè che si abbia calore allorquando la corrente cammina in direzione opposta a quella che si avrebbe in forza del termo-elettricismo scaldando la saldatura, e che si abbia freddo quando la corrente cammina in direzione omologa a quella cagionata da un riscaldamento di essa saldatura. Dà modo che la corrente produce sempre un effetto termometrico tendente a far nascere una corrente contraria" [8].

E' evidente dalla discussione avvenuta che il tema dell'effetto Peltier era un tema molto sentito. In effetti, da quanto detto della relazione di Pacinotti, egli cita i lavori di Peltier e Lenz, e dice che, dopo esperienze su diversi materiali, conviene con l'approccio di Lenz. L'osservazione di Belli era quindi mal posta, poiché Pacinotti non si limitava a riproporre quanto già fatto ma aggiungeva sue osservazioni sperimentali. Per quanto riguarda il riferimento a Poggendorff, egli era l'editore degli Annalen ma non l'autore dell'articolo, che invece era Lenz. Se si usano i link dati alla pagina https://de.wikisource.org/wiki/Annalen_der_Physik#1838 si trova il riscontro a tal lavoro nel volume 2 alla pagina 342.

XI. Einige Versuche im Gebiete des Galvanismus; von E. Lenz. (Aus dem Bulletin scientifiq. der St. Petersburger Academie, mitgetheilt vom Verfasser.) Incipit: "Ueber Kälteerzeugung durch den galvanischen Strom. Peltier hat bekanntlich gefunden, dass an der Löth-stelle einer Wismuth- und Antimonstange durch einen hindurchgehenden galvanischen Strom Kälte erzeugt wird, wenn er vom Wismuth zum Antimon geht, Wärme hingegen, wenn die Richtung des Stromes die umgekehrte ist!). Die Kälteerzeugung ist eine den sonstigen Wirkungen der galvanischen Kette so entgegengesetzte Erscheinung, dass sie, wie ich aus Privatmittheilungen weiss, von Vielen bezweifelt wird. etc."

Ricordiamo che cosa è l'effetto Peltier [15]. E' un effetto termoelettrico consistente nel rilascio o nell'assorbimento di calore Q che avviene alla giunzione tra due materiali (metalli o semiconduttori drogati) differenti, a e b , quando nella giunzione viene fatta scorrere una corrente I . "Si tratta di un processo reversibile e il segno del calore scambiato per unità di tempo dipende dal verso della corrente nella giunzione secondo la relazione $\Delta Q/\Delta t = (P_\alpha - P_\beta) I$, ove compare la differenza tra i coefficienti di Peltier P_α e P_β dei due materiali. Il coefficiente di Peltier misura la quantità di calore trasportato per unità di carica in un conduttore. L'effetto Peltier è comunemente utilizzato per la realizzazione di pompe di calore termoelettriche" [15].

Il primo effetto termoelettrico venne scoperto da Thomas Johann Seebeck nel 1821, quando il fisico estone determinò che in un circuito costituito da conduttori metallici o semiconduttori diversi, ad esempio rame e bismuto, collegati fra loro con le giunzioni a differenti temperature, si otteneva una deviazione dell'ago magnetico. Il fisico danese Hans Christian Ørsted interpretò il fenomeno come avente origine elettrica. L'effetto Seebeck è l'effetto che è alla base di termopile e termocoppie. Nel 1834, venne scoperto l'effetto Peltier. e nel 1838 il fisico russo Heinrich Lenz dimostrò che quel calore era assorbito o liberato in un punto di congiunzione dei conduttori secondo il verso di percorrenza della corrente. Una relazione dettagliata sulle scoperte relative all'effetto Peltier è fornita da Francesco Zantedeschi [16].

Ed ecco che cosa troviamo sul lavoro di Pacinotti, nelle Lezioni di Fisica di Carlo Matteucci [17]: "Peltier ha studiato come avvenisse la distribuzione del riscaldamento prodotto dalla corrente, applicando la coppia in diversi punti del filo percorso. Questo ingegnoso Fisico ha così riconosciuto, che nel maggior numero dei casi il massimo riscaldamento aveva luogo con un arco di due metalli nel punto della loro saldatura. Studiando diversi metalli, così ponendo archi di metalli diversi, egli ha scoperto un fatto della maggiore importanza. Supponete di fare un arco saldando una verga di bismuto ad una di antimonio, ed applicate la loro saldatura sopra una coppia termo-elettrica. Quando si fa passare per l'arco di bismuto e d'antimonio la corrente d'una pila non tanto forte, si trova che vi è riscaldamento allorché la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto; se però la corrente è diretta dal bismuto all'antimonio, la saldatura si trova invece raffreddata. .. Ma

adoperando una corrente molto intensa si ottiene riscaldamento nella saldatura anche nel caso in cui è diretta dal bismuto all'antimonio; e il riscaldamento si ottiene eziandio con la prima corrente continuando a farla passare. V'è però una differenza nei due casi, ed è che il riscaldamento che la corrente produce allorché è diretta dal bismuto all'antimonio, non perviene mai al grado a cui giunge diretta nel senso contrario. Se la corrente cessa di passare, essendo diretta dal bismuto all'antimonio, il riscaldamento che se ne ottiene giunge allo stesso grado a cui arriva allorché va dall'antimonio al bismuto. Questo fatto curioso, scoperto dal Prof. Pacinotti, e che la sua amicizia mi consente di pubblicare, prova, insieme con altri, in un modo manifesto il potere refrigerante proprio della corrente allorché è diretta in quel dato senso nei due metalli. Peltier aveva creduto di potere stabilire che eravi raffreddamento in tutti quei casi in cui la corrente passava attraverso alla saldatura, unione di due metalli, andando dal cattivo conduttore al buono. Ma il Prof. Pacinotti, tentando diversi archi metallici ha trovato molti casi, nei quali il raffreddamento si produce senza che vi sia il passaggio nelle condizioni supposte da Peltier. Il Prof. Pacinotti ravvicinando questi fenomeni a quelli della corrente termoelettrica che si ha riscaldando la saldatura dei due metalli, trova questo risultato generale: che, cioè, la corrente voltaica produce freddo quando è mandata in una coppia metallica in quella direzione in cui suole eccitarsi la corrente termo-elettrica, riscaldando la congiunzione dei due metalli. Convieni confessare che è affatto ignoto il legame fra queste due classi di fenomeni." Quanto riportato proviene da un testo del 1850. La scoperta dell'effetto Thomson avverrà da parte di W. Thomson (lord Kelvin) nel 1854. Lord Kelvin determinò i rapporti tra i tre coefficienti (Seebeck, Peltier e Thomson), implicando così che i suddetti effetti sono diverse manifestazioni del trasporto di carica ed energia nel caso della presenza o meno di gradiente termico e campo elettrico.

Pacinotti pubblicò i suoi risultati nel 1843 [18].

La macchina di Babbage e, nuovamente, Menabrea

Torniamo di nuovo al congresso di Torino e di nuovo a Menabrea. Nell'adunanza del 30 Settembre, dopo alcune relazioni, il Capitano Menabrea chiede la parola "per esporre un progetto, conforme alle idee del celebre Carlo Babbage¹⁸, il di cui scopo è di eccitare il Congresso dei Naturalisti Italiani alla compilazione di un'opera in cui siano raccolte tutte le costanti della natura, cioè tutti i dati che le esperienze e le osservazioni somministrano e che entrano nei calcoli che i fisici, i chimici, gli artefici hanno occasione d'instituire. Questa compilazione coincide in parte nel suo scopo con quella che l'Ingegnere Cadolini ha già intrapresa, e che questi ha fatta soggetto di comunicazione in una delle Sedute precedenti. Chiude la Seduta il sig. Adolfo de Bayer con un'allocuzione colla quale raccomanda ai cultori delle scienze esatte d'impiegare una lingua italiana più pura, e di seguire nelle loro opere didascaliche un metodo più adattato all'universale intelligenza, e più acconcio a far sentire l'importanza e l'utilità delle scienze. Dopo la Seduta vengono mostrati a diversi Membri della Sezione:

- 1.° Dal Prof. Marianini alcuni apparecchi elettrici da lui adoperati in varie sperienze già pubblicate, come pure alcuni saggi di elettroplastica e di elettrografia.
- 2.° Dal Prof. Botto alcune esperienze colla sua nuova macchina magneto-elettrica.
- 3.° Dal sig. Puliti diversi saggi di elettroplastica.

Aggiungiamo che il chiarissimo sig. Babbage di Londra, venuto ad illustrare la nostra Adunanza, raccolse più volte nella sua abitazione parecchi Membri della nostra Sezione, mostrando diverse produzioni del suo fecondo ingegno, e fra le altre cose descrivendo il progetto di una ingegnosissima macchina per eseguire i calcoli sia numerici che algebrici, macchina che ove potesse essere effettivamente costrutta, sarebbe al certo di un grandissimo vantaggio alla Società" [8].

18 Charles Babbage (1791 – 1871) è stato un matematico e filosofo britannico, in sostanza un informatico che per primo ebbe l'idea di un calcolatore programmabile. Della sua prima macchina di calcolo, la macchina differenziale, venne realizzato un prototipo imperfetto. La seconda macchina, la macchina analitica, fu solo progettata. Nel 1991, partendo dai progetti originali di Babbage è stata realizzata una macchina differenziale perfettamente funzionante.

Notions sur la Machine analytique

Ecco che cosa dice Luigi Chiala¹⁹, in un suo scritto del 1855 [19].

"Nell'autunno del 1840 giungeva in Torino l'illustre Carlo Babbage, celebre nelle scienze matematiche ed economiche, e recava seco alcuni suoi lavori intorno ad una macchina che egli chiamava analitica. Già egli colla sua Macchina detta delle differenze aveva combinato un meccanismo, il quale eseguiva le numerose operazioni di aritmetica, che sono fondate sul noto principio delle differenze²⁰. Ma lo scopo che egli si proponeva col nuovo strumento era assai più vasto, poichè comprendeva nella sua ampiezza tutte le operazioni più alte che sono nel dominio del calcolo analitico. Pochi erano coloro a cui era stato dato di penetrare il mistero del nuovo strumento, allorchè il sig. Babbage, venuto in Italia affine d'esporre le proprie idee agli scienziati, riuniva intorno a sè alcune persone in Torino e spiegava i principi dell'ideato meccanismo.

Molti dubbi a prima giunta sorgevano nella mente intorno ad una tale invenzione. Tuttavia una più matura riflessione faceva riconoscere le altezze del pensiero del signor Babbage, ed un nostro illustre concittadino, raccogliendo i fili dell'intrecciato problema, giungeva a formarsi un concetto nitido della invenzione del dotto questo era il signor L. F. MENABREA, capitano ed ora colonnello del Genio, il quale in uno scritto intitolato: *Notions sur la Machine analytique de M. Charles Babbage*, stampate nella *Bibliothèque universelle de Genève* dell'ottobre 1842, esponeva i principi sui quali riposava l'ideata macchina analitica, e ne dimostrava l'uso e le conseguenze per l'avvenire della scienza. Questo scritto veniva quindi nel 1843 tradotto in lingua inglese (1) e corredato da note e commentari curiosissimi dettati da un robusto ingegno. Per qualche tempo fu ignoto il nome del traduttore, allorchè dal signor Babbage stesso si seppe che la traduzione ed il commentario erano opera di una nobile donna illustre pei natali, per elevatezza di mente e per leggiadria della persona, di lady Adda Lovelace²¹, figlia del gran poeta lord Byron, la quale fu rapita dalla morte pochi anni or sono in sul fior dell'età.

In quell'epoca il signor Babbage recava a compimento la combinazione del suo meccanismo. Ma la realizzazione di questo incontrava ostacoli, meno nella difficoltà dell'esecuzione che nella incredulità di alcuni. Allorchè il signor conte Rosse, già presidente della R. Società di Londra, tolse ad esaminare gravemente la quistione, ed essendosi persuaso della verità della scoperta del maestro Babbage, faceva nel 1852 presso il ministero Derby gli uffici occorrenti, al fine d'ottenere il concorso del governo inglese pel compimento del gran concetto. Gli eventi politici allora minaccianti non permisero a quel governo di dar seguito a questa proposta. Tuttavolta il conte Rosse nel lasciare ultimamente il seggio della presidenza, in un discorso pronunziato il 30 novembre p.p. rendeva conto del suo operato alla dotta assemblea e l'eccitava a riprendere le trattative in tempo opportuno.

Intanto è da notarsi il passo seguente del suo discorso riferito dal giornale il *Cosmos* nel No. del 6 aprile 1855: «Prima di prendere alcuna determinazione e di fare i passi occorrenti, io scrissi a parecchi uomini ragguardevoli per dottrina, e chiesi se giusta la loro opinione si sarebbe fatto un gran passo dal lato della scienza teorica e pratica, qualora le idee del signor Babbage, quali si trovano espone in piccolo suo saggio da lui scritto, sotto il titolo *MENABREA*, fossero completamente effettuate. Le loro risposte furono unanimi e completamente affermative». Se non che lo scritto che il sig. conte Rosse attribuisce al sig. Babbage sotto il pseudonimo *Menabrea*, è veramente opera del nostro illustre concittadino, come risulta da quanto abbiamo esposto. Crediamo adunque debito nostro il rivendicare per il nostro paese l'onore d'aver prodotto lo scritto che in una quistione d'alto momento, servì di base alle deliberazioni d'una delle più celebri società scientifiche

19 Luigi Chiala (1834 - 1904) è stato un politico italiano. Fu senatore del Regno d'Italia nella XVIII legislatura.

20 Su tale macchina, si veda https://it.wikipedia.org/wiki/Macchina_differenziale

21 Augusta Ada Byron, nota come Ada Lovelace (1815 – 1852), è stata una matematica inglese, nota soprattutto per il suo lavoro alla macchina analitica ideata da Charles Babbage. Nel suo lavoro su tale macchina, si trova l'algoritmo per generare i numeri di Bernoulli (se veda il Rif.7), che considerato come il primo algoritmo costruito per una macchina analitica.

del mondo, e mentre facciamo plauso al signor Menabrea, cogliamo anche questa opportunità per tributar un omaggio alla memoria dell'insigne donna, che si rendeva anch'essa interprete del pensiero, onde è informata l'importante scoperta che ci occupa. Essendo lo scritto di cui si tratta raro assai, e siccome questo concetto del signor Babbage sta per prender vita, crediamo far cosa gradita ai nostri lettori, nel riprodurre nel suo idioma originale lo scritto del signor Menabrea. Ci duole di non poter recare anche i commentarii di lady Lovelace, ma i limiti del nostro periodico ce lo vietano. Del resto lo scritto cui accenniamo è bastante per dare un'idea esatta dell'invenzione cui è diretto a spiegare". E questo è quanto detto da Luigi Chiala. Segue in [19], il testo di Menabrea in Francese. Al Rif.20 troviamo lo scritto tradotto e commentato da Ada Lovelace.

La tormentata storia della macchina analitica

L'errata attribuzione del suo lavoro a Babbage non passò inosservato al Menabrea, che scrisse una lettera a "Cosmos" [21,22]. Si rimanda alla lettura del Rif.22 per conoscere ulteriori dettagli dei rapporti tra Babbage, Menabrea, Plana e Ada Lovelace. Insomma, una "tormentata storia" relativa alla macchina analitica.

Ci troviamo anche descritto il giovane Menabrea, aiutante del Professor Plana per svolgere i calcoli richiesti per lo studio del movimento della luna. "Questa impresa gigantesca richiedeva calcoli immensi, soprattutto calcoli numerici. Poiché avevo mostrato una certa attitudine in quest'attività, mi incaricò [dice Menabrea nelle sue Memorie] di rivedere i calcoli man mano che dalla tipografia uscivano le bozze del suo libro. Questo lavoro durò quasi due anni e, all'inizio, lo trovai così duro che in certi momenti disperavo di poterne venire a capo", ed ogni tanto lo scoraggiamento s'impadroniva di Menabrea [22]. Come suggerito da Losano [22], questo strenuo lavoro di calcolo numerico doveva aver suscitato interesse nel giovane per l'elaborazione numerica fatta con un calcolatore.

Quando Babbage arrivò a Torino, Menabrea si legò particolarmente a lui. "Bene o male Babbage mi spiegò la sua macchina, in parte già costruita, che gli aveva imposto di ricorrere a tutte le risorse della cinematica. Pensai di averne compreso l'idea di base, che si fondava sull'uso delle schede di Jacquard che, nella fabbricazione dei broccati, regolano i diversi fili che devono formare quei disegni. Babbage si serviva di schede analoghe per eseguire le varie operazioni indicate dalla formula. Mi riservai di pensarci e di comunicargli più tardi i risultati delle mie riflessioni" [22]. Ed è così che iniziò la stesura del suo saggio sulla macchina analitica.

Sul fatto che fosse Menabrea a scriverne, una lettera del 1841 di Babbage a Plana rivela un certo disappunto. Babbage avrebbe preferito una relazione scritta sull'argomento dal più autorevole Plana, e non quella di un giovane come Menabrea. Plana era forse troppo impegnato al momento? O forse non ci credeva. Come detto in [22], un elemento preciso è circolato solo nel 2000 [24], con la lettera di Fortunato Prandi a Babbage (Prandi aveva accompagnato Babbage a Torino [25]): "Plana non scriverà alcunché sulla macchina. Sembra ritenere che Lei si illuda, che la macchina, una volta costruita, sarà una grande curiosità, ma perfettamente inutile. [...] Nei Suoi riguardi ha mostrato grande amicizia e rispetto, ma, in buona sostanza, questo è quanto mi ha detto sulla macchina. Ho il sospetto che anche la relazione di Menabrea sulla macchina non gli sia piaciuta. [...] Le espongo con chiarezza quanto ho sentito, ma La prego di aver cura di non compromettermi". Tra ritardi e carteggi, la relazione di Menabrea venne pubblicata nel 1842 in Francese e nel 1843 in Inglese grazie ad Ada Lovelace. con commenti ed applicazioni, come quella del calcolo dei numeri di Bernoulli [7].

I tormenti per Babbage però non finirono. All'esposizione universale del maggio 1851, a Londra, si decise infatti di non esporvi la macchina alle differenze. "Intanto gli scritti sulla macchina di Babbage circolavano suscitando interesse, ma anche qualche imprecisa attribuzione" [22]. Come già detto, lo scritto di Menabrea venne attribuito a Babbage, che si affrettò a scrivere all'editore di Cosmos.

Conclusione

Abbiamo visto solo una piccola parte delle discussioni che sono avvenute al congresso di Torino. Ci si è concentrati su temi di ricerca vicini alla meccanica, alla fisica dello stato condensato ed all'informatica. Ovviamente, lo stesso lavoro può essere fatto per altri temi ed altre sezioni del congresso. E' però vero che la reazione alle discussioni avvenute nel 1840 è tanto più forte quanto più si è vicini ai temi scientifici trattati.

References

- [1] <https://mostre.museogalileo.it/congressiscienziati/congressi/1840Torino.html>
- [2] Bernardi, G. (2019). Giovanni Plana, l'uomo che sognava la Luna. Vita di un matematico dimenticato. 25.12.2019, Rivista Savej. <https://rivistasavej.it/giovanni-plana-luomo-che-sognava-la-luna-2e6ff23bba66>
- [3] Sparavigna, A. C. (2016). Calore specifico ed elettronegatività nei contributi di Amedeo Avogadro al Congresso degli Scienziati Italiani tenutosi a Torino nel 1840. Philica, 2016. Available hal-01386129
- [4] Sparavigna, A. C. (2016). 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). SSRN, <https://ssrn.com/abstract=2857102> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2857102>
- [5] Ciardi, M. (2006). Amedeo Avogadro: una politica per la scienza. Carocci Editore.
- [6] Botto, G. D. (1857). Sulla vita e sulle opere del conte Amedeo Avogadro: cenni biografici. Stamperia Reale, 1857.
- [7] Sparavigna, A. C. (2016). Bernoulli Numbers: from Ada Lovelace to the Debye Functions. HAL 2016. Available hal-01327426
- [8] <https://archive.org/stream/attidellaseconda00riun#page/n3/mode/2up>
- [9] Sparavigna, A. C. (2016). Giuseppe Domenico Botto e la sua collaborazione con Amedeo Avogadro. 2016. <hal-01389149>
- [10] Sparavigna, A. C. (2013). Gabrio Piola e il suo Elogio di Bonaventura Cavalieri. Lulu Press. ISBN: 9781291298567. Available <https://iris.polito.it/retrieve/handle/11583/2505638/59141/13593471.pdf>
- [11] Pulte, H., & Thiele, R. (2002). L'Età dei Lumi: matematica. Meccanica variazionale di - Storia della Scienza. Treccani on-line. www.treccani.it/enciclopedia/l-eta-dei-lumi-matematica-meccanica-variazionale_%28Storia-della-Scienza%29/ oppure <http://archive.is/ErDCp>
- [12] www.accademiadelle scienze.it/storiaescienza/personaggi/luigi_federico_menabrea_20015
- [13] <https://www.accademiadelle scienze.it/accademia/soci/carlo-alberto-castigliano>
- [14] Capocchi D., & Ruta G. (2011) I teoremi di minimo di Menabrea e Castigliano. In: La scienza delle costruzioni in Italia nell'Ottocento. UNITEXT. Springer, Milano. DOI https://doi.org/10.1007/978-88-470-1714-6_4
- [15] www.treccani.it/enciclopedia/effetto-peltier_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/
- [16] Francesco Zantedeschi. Osservazioni ed Esperienze sulle condizioni e sulle leggi dei fenomeni elettro-termici dell'apparato Voltiano, e sulle cause che sono loro assegnate dai fisici. Estratto dal Bim. I. e. II. 1842 degli Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto.
- [17] Carlo Matteucci. Lezioni di fisica, Stamperia Pieraccini, 1850.
- [18] Pacinotti, L. (1843). Sul freddo prodotto dalle correnti elettriche nei metalli. Il Cimento 1, 257–272 (1843). <https://doi.org/10.1007/BF02579633>

- [19] Luigi Chiala. Rivista contemporanea filosofia, storia, scienze, letteratura, poesia, romanzi, viaggi, critica, archeologia, belle arti, Volume 3 del 1855.
- [20] Sketch of the analytical Engine invented by Charles Babbage Esq. By L. F. Menabrea of Turin Officer of Military Engineers, with notes by the translator. (Extracted from te scientific memoirsvol. ii – London, by Richard andJohn E. Taylor, reed lion court - fleet street - 4843).
- [21] Lettera di L. F. Menabrea all'editore di "Cosmos", "Cosmos", VI, 1855, p.421 s.; ristampato nell'originale francese e in traduzione inglese in Babbage, Works, vol. 3, pp. 171-174.
- [22] Losano, M. G. (2015). La Macchina Analitica di Babbage. Un fossile che viene dal futuro. DIR INF. <https://rivoluzionedigitale.polito.it/rdf/Babbage-Prefazione-DirInf.pdf>
- [23] Boley, B. A. (1974). in Dictionary of Scientific Biographies, Scribner, New York, 1974, vol. IX, p. 267.
- [24] Swade, D. (2000). The Cogwheel Brain, Little, Brown & Co., London 2000.
- [25] [http://www.treccani.it/enciclopedia/fortunato-prandi_\(Dizionario-Biografico\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/fortunato-prandi_(Dizionario-Biografico)/)