

# Il Duplicatore di Belli del Liceo Classico Parini di Milano\*

Renzo Traversini

## Abstract

The evolution of ideas, in the theoretical and applied domains of Physics, is often marked by the development of specific procedures and devices. The historical collection of physics didactic instruments hosted by Liceo Parini in Milan includes an interesting example from the first half of the nineteenth century. This particular device, known as “Duplicatore di Belli” (Belli’s Doubler), is an electrical machine based on electrostatic induction. Giuseppe Belli, a Physics teacher at the Liceo in the years 1821 – 1840, invented it during his tenure in Milan. Belli educational background is linked to Alessandro Volta and the University of Pavia, where he graduated in 1812 and lately became director of the Physics department. This and other devices he invented can be considered a turning point in the development of electrostatic induction machines, from charge amplifiers to high voltage generators. Investigating this case provides not only a view of the history of the electrical theory in the nineteenth century but also a useful didactical experience for understanding the application of electrostatic induction to electrical device design.

\* I ringraziamenti dell'autore vanno anzitutto alle persone del Liceo Parini di Milano che hanno reso possibile questo studio: il Preside Massimo Nunzio Barrella, per l'accoglienza e l'orientamento; il Professor Massimo Pontesilli, per la ricerca nella biblioteca del Liceo; la Professoressa Raffaella Marioni e il Professor Stefano Gondoni, per l'accesso alla collezione di strumenti del Liceo; le persone della Redazione dei Quaderni del Parini, per la possibilità di sottoporre questo testo per la pubblicazione e per l'assistenza durante la preparazione. Si ringraziano inoltre Lucia De Frenza, dell'Università degli Studi di Bari (Seminario di Storia della Scienza) e Giancarlo Truffa, della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia, per le discussioni sui temi di questo lavoro. Un ringraziamento particolare va alla Biblioteca del Collegio Ghislieri di Pavia, per l'accesso al manuale di Belli e l'assistenza nella riproduzione delle immagini in appendice. Infine, qualunque errore, omissione o inesattezza è da attribuire unicamente all'autore.

## **Parole chiave**

Alessandro Volta, elettrostatica, duplicatore, Giuseppe Belli, macchina elettrostatica a induzione.

## **Introduzione**

Il Liceo Classico Parini di Milano custodisce alcune rilevanti risorse culturali, tra queste una biblioteca ricca di testi storici e una collezione di strumenti del Gabinetto di Fisica con molti dispositivi originali accumulati nel corso di diversi secoli di storia della didattica scientifica nel Liceo<sup>1</sup>. Nel 2000 l'intera collezione è stata restaurata con l'assistenza dei volontari della organizzazione A.R.A.S.S.-Brera (<https://arass-brera.org/>) e organizzata in diversi armadi per l'esposizione.

In questo lavoro viene descritto un particolare dispositivo presente nella collezione, rinvenuto durante alcune visite presso il Liceo effettuate nei mesi di marzo e aprile 2025, volte a consultare dei testi scientifici della biblioteca e a visionare la collezione di strumentazione didattica tecnico-scientifica. Queste attività erano finalizzate ad approfondire la figura e l'operato di Giuseppe Belli (1791-1860), professore di Fisica al Parini e studioso di elettricità, autore di alcune ricerche sulle macchine elettriche a induzione, sulla falsariga della scuola di Alessandro Volta. Il dispositivo di cui ci occupiamo è legato a questo specifico studioso.

Nel primo paragrafo si approfondisce l'origine dello strumento e la biografia del suo ideatore; in quello successivo si riassume la linea di sviluppo delle idee che, a partire da Volta e da altri scienziati dell'epoca, ha condotto alla realizzazione dello stesso; nel terzo e ultimo paragrafo si esaminano la struttura e il funzionamento dello strumento; mentre in appendice si riportano i testi originali dell'inventore.

1     Sulle opportunità educative e didattiche che una collezione di strumenti scientifici offre si vedano le esperienze riportate in Morisetti-Servida-Ronzon 2024.

## 1. Una “macchinetta” nel Liceo Parini di Milano

Se si consulta l'archivio fotografico Alinari ([www.alinari.it](http://www.alinari.it)), inserendo nel campo di ricerca il testo “Liceo Parini Milano”, si possono visionare una serie di fotografie dell'edificio attuale del Liceo al momento della sua apertura, negli anni '30 del Novecento. Da ultimo, compare l'immagine di un particolare dispositivo. La didascalia recita: “Duplicatore del Prof. Giuseppe Belli; rappresenta il primo modello di macchina elettrostatica ad induzione. Lo strumento è conservato presso il Liceo Ginnasio Parini di Milano. La foto è stata scattata in occasione dell'Esposizione di Storia della Scienza del 1929, a Firenze”<sup>2</sup>.

Questo strumento è un dispositivo elettrostatico concepito da Giuseppe Belli, insegnante di Fisica del Liceo di Porta Nuova in Milano, che diventerà poi Liceo Parini, negli anni dal 1821 al 1840. Belli è stato un personaggio rilevante del panorama scientifico e didattico del Lombardo-Veneto (Fraguglia 2001). A partire dal 1842, dopo l'insegnamento al Liceo e il successivo passaggio all'insegnamento universitario a Padova, Belli ha ricoperto la cattedra di Fisica presso l'Università di Pavia, cattedra che in precedenza era stata di Volta e poi del suo successore, Configliachi, già maestro di Belli<sup>3</sup>.

Negli anni '20 e '30 dell'Ottocento, durante la docenza di Fisica presso il Liceo milanese, Belli svolge attività di ricerca in diversi ambiti della Fisica, in particolare nel campo dell'elettricità. Nel 1831 pubblica una memoria in cui descrive una nuova macchina elettrostatica a induzione (“macchina ad attuazione”)<sup>4</sup> che aveva ideato e fatto co-

2 L'esposizione in cui si trovava il dispositivo in foto è stata la Prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza (Firenze, 1929). La documentazione dettagliata di questo importante evento si trova nel sito web gestito dal Museo Galileo di Firenze: <https://www2.museogalileo.it/it/biblioteca-e-istituto-di-ricerca/progetti/mostre-virtuali/366-prima-esposizione-nazionale-di-storia-della-scienza-1929-it.html>. Le foto del dispositivo, oltre che nell'archivio Alinari, si trovano anche in: <https://bibdig.museogalileo.it/tecanew/opera?bid=7150&seq=7>.

3 Per una breve biografia di Giuseppe Belli si può consultare il sito del Museo per la Storia dell'Università di Pavia: <https://museoperlastoria.unipv.it/giuseppe-belli/>.

4 La descrizione della macchina ad attuazione è riportata in (Belli 1831) e successivamente in (Belli 1838, p. 436). Nel linguaggio tecnico dell'epoca, “attuazione” sta per “induzione”.

struire a proprie spese. La macchina consente di accumulare grandi quantità di carica e quindi generare tensioni rilevanti, uno scopo dissimile da quello dei precedenti “duplicatori” (o “moltiplicatori”), cui la macchina si ispira, rivolti invece al rilevamento tramite amplificazione di cariche molto deboli. In questo senso, diversi studiosi considerano la macchina ad attuazione di Belli all’origine delle macchine elettrostatiche a induzione sviluppate successivamente nel corso dell’Ottocento, impiegate per la ricerca nella scarica nei gas e nella produzione di raggi X. Secondo Gray:

Belli in 1831 brought out a machine which appears to be the first influence machine used for the production of considerable quantities of high potential electricity. Hachette and Desormes had suggested that the Nicholson’s doubler made on a large scale might be used for this purpose, but till the invention of Belli’s apparatus influence machines appear merely to have been used for multiplying small charges of electricity for testing purposes. Belli’s machines, besides involving the multiplying principle, were symmetrical in design (Gray 1890, p.85).

(Nel 1831 Belli presentò una macchina che sembra essere la prima macchina a induzione utilizzata per la produzione di considerevoli quantità di elettricità ad alto potenziale. Hachette e Desormes avevano suggerito che il duplicatore di Nicholson, realizzato in scala opportunamente grande, potesse essere usato a questo scopo, ma fino all’invenzione dell’apparato di Belli le macchine a induzione sembrano essere state usate semplicemente per moltiplicare piccole cariche elettriche a scopo di test. Le macchine di Belli, oltre a implementare il principio del moltiplicatore, erano macchine con una struttura a configurazione simmetrica).

Successivamente, Belli trasferisce questa macchina, realizzata insieme a Carlo Dell’Acqua (meccanico al collegio Sant’Alessandro di Milano), presso il Gabinetto di Fisica dell’Università di Pavia, dove attualmente ancora si trova (<https://museoperlastoria.unipv.it/gabinetto-di-fisica-dellottocento/>).

Negli stessi anni, Belli è anche impegnato nella preparazione di un testo per l’insegnamento della disciplina nei Licei, commissionato dal governo. Questo suo manuale di Fisica (*Corso elementare di Fisica sperimentale*) comprende tre volumi, il primo (1830) dedicato a temi ge-

nerali e alla Meccanica, il secondo (1831) al Calorico e il terzo, pubblicato in due parti nel 1838, dedicato all'Elettricità (Belli 1838).

Nella seconda parte del terzo volume, egli descrive un dispositivo che chiama *Duplicatore*:

È questa una macchinetta, mediante la quale una piccolissima carica data dappprincipio a uno de' pezzi viene con un opportuno movimento gradatamente ingrandita e ridotta sensibilissima agli elettrometri. Venne esso inventato da Bennet e perfezionato da Nicholson e da altri. (...) Io darò qui la descrizione di un Duplicatore fatto in una maniera alquanto diversa da quelli finora conosciuti, il quale mi pare più efficace ne' suoi effetti, e serve a rischiarare la descrizione della *Macchina ad attuazione* [...] (Belli 1838, p. 394).

Il duplicatore concepito da Belli ha una valenza tecnica quale moltiplicatore di carica e anche un valore didattico, in quanto può aiutare a comprendere come funziona la più sofisticata macchina ad attuazione: il duplicatore mostra gli aspetti essenziali del funzionamento della macchina.

Il duplicatore del Liceo Parini presente nell'Esposizione del 1929 è un esemplare della "macchinetta" di Belli; probabilmente è uno dei prototipi costruiti da Belli durante lo sviluppo della macchina ad attuazione e possiamo ipotizzare che venisse impiegato nelle esperienze dimostrative durante le lezioni.

Nel riferimento citato in precedenza (Belli 1838, p. 394 e Tav. III), Belli descrive in dettaglio la struttura del suo duplicatore. Il disegno schematico del dispositivo è conforme all'esemplare in fotografia, salvo per:

- la ruota dentata annessa alla manovella, presente nel dispositivo del Parini ma assente nello schema pubblicato da Belli;
- i terminali elettrici delle lamine e dei dischi (vedi par. 2), che nello schema sono fili conduttori, mentre nel dispositivo sono realizzati con nastri metallici.

La "macchinetta" esposta a Firenze nel 1929 è a tutt'oggi nella collezione di strumenti del Gabinetto di Fisica del Liceo (Fig. 1). Il dispositivo si trova in uno degli armadi dove è alloggiata la collezione dopo il restauro<sup>5</sup>.

5 Un esplicito riferimento al dispositivo del Liceo Parini, il solo che si sia sinora trovato, è contenuto nella pagina dedicata al Duplicatore di Belli del sito web sulle macchine elettrostatiche curato dal Prof. Antônio Carlos M. de Queiroz dell'U-



Fig. 1 – Il Duplicatore di Belli del Liceo Parini di Milano

Esaminando gli schemi dei duplicatori di carica precedenti il nostro, citati da Belli, risulta evidente l'ispirazione che Belli deriva dai loro progetti, in particolare da quello di Nicholson, come egli stesso ammette. Tuttavia, il duplicatore di Belli presenta uno schema costruttivo con elementi all'epoca innovativi, come descritto nel seguito.

L'importanza del duplicatore di Belli nello sviluppo delle macchine elettrostatiche è attestata dalle numerose citazioni nella letteratura scientifica del secondo Ottocento e del Novecento, il che presumibilmente spiega la scelta di mostrarlo nell'Esposizione Nazionale del 1929.

Lo strumento del Parini è un bene culturale che testimonia un momento particolare dello sviluppo della teoria dell'elettricità. Inoltre, esso esemplifica la coesistenza e l'interazione tra ricerca e didattica nell'esperienza professionale del suo ideatore (Fraguglia 2001).

niversità Federale di Rio de Janeiro, venuto purtroppo a mancare nel 2020: <https://www.coe.ufrj.br/~acmq/belli/>. Il sito creato da de Queiroz è tuttora disponibile e contiene una grande quantità di informazioni e riferimenti circa i diversi tipi di macchine elettrostatiche. Nella pagina dedicata a Belli si trova anche la foto Alinari della Esposizione del 1929 e un'immagine di un altro Duplicatore di Belli conservato presso l'Università di Pavia, citato nel seguito di questo articolo. Nella stessa pagina viene inoltre descritta la macchina ad attuazione.

## 2. Dall'Elettroforo di Volta al Duplicatore di Belli

Il duplicatore di Belli è il punto di arrivo di uno sviluppo che ha origine da Volta con l'invenzione dell'elettroforo perpetuo. Volta descrive l'elettroforo nella sua lettera a Joseph Priestley (1733-1804) del 1775 (Volta 1775). Si tratta di un dispositivo e di un procedimento d'uso che consentono di accumulare carica elettrica a partire da quella depositata su di un piatto di materiale isolante. L'elettroforo è in grado di caricare un conduttore tramite un processo iterativo che, con lo strumento come originariamente ideato, viene ripetuto manualmente. È naturale pensare di ricorrere a una qualche forma di automatismo per operare il processo.

Dopo aver descritto in dettaglio lo strumento e il suo funzionamento, Volta nota quanto segue.

Dopo tutto questo che ho detto de' vantaggi del mio Elettroforo, non ho pena a confessare, che le macchine ordinarie ben grandi, e ben eseguite ne' tempi favorevolissimi giungono più presto a caricare un quadro di ampia superficie, od una batteria, per la ragione che il fuoco vi cola incessantemente: laddove nel nuovo apparecchio spiccando le scintille con quella interruzione, che porta l'abbassare e rialzar dello scudo, più tardi ci si perviene. Ho detto ne' tempi favorevolissimi: perché poi sono gli effetti dell'Elettroforo sì vivi anche ne' tempi men propizj, che vuolsi bene spesso preferire un simile apparato che sia grande, per l'oggetto pure di caricare quadri e batterie, alla macchina di vetro ordinaria (macchina a sfregamento – nota dell'autore), da cui le molte volte si pena a cavar partito. Oltre di che io credo non sarà difficile col tempo immaginare dei mezzi per ottenere cotesto necessario accostamento e discostamento dello scudo più speditamente, e con moto uniforme, e con minor incomodo.

E subito dopo aggiunge:

Dirò anche che sto per mettere mano ad un meccanismo assai semplice onde venirne a capo. Una molla, che al premere della mano od al girare d'una cordicella o staffa, alzi e abbassi lo scudo, promette di dispensarmi da buona parte d'incomodo. Oppure in altra forma lo scudo portato da un pendolo, cui dia moto una ruota o un peso, e che vada a baciare a destra e a sinistra due piatti, ossia facce di mastice elettriche, e così andando e venendo incontri nel mezzo da salutare con le scintille un condutto-

re, o la caraffa, mi rappresenta un doppio apparato, che per la ragione della celerità de' movimenti potrà darmi effetti molto più che duplicati. Ma infine io dichiaro col miglior cuore che non ho l'abilità di riuscir bene in simili costruzioni meccaniche; che d'altra parte non è questo il mio scopo principale, e che per quanto io tenga in conto, e lo tengono tutti quelli, innanzi a cui ho mostrato in esteso l'esperienza, dei comodi che ne offre l'Elettroforo, io valuto assai più i lumi che mi si vanno svolgendo su diversi punti della teoria elettrica: intorno a che pubblicherò fra non molto le mie osservazioni già in parte comunicate al Signor Dottor Priestley.

Volta concepisce una macchina elettrostatica a induzione, basata su una sorta di doppio elettroforo e operata tramite un pendolo. L'idea resta sulla carta e Volta non la sviluppa ulteriormente<sup>6</sup>.

La lettera a Priestley del 1775 era circolata in Inghilterra tra gli scienziati che operavano nel campo dell'elettricità, tra questi Tiberio Cavallo (1749-1809), William Nicholson (1753-1819) e Abraham Bennet (1750-1799), i quali, ispirandosi al lavoro di Volta, avevano sviluppato ulteriori procedimenti per generare cariche elettrostatiche. In particolare, Bennet aveva inventato nel 1787 un cosiddetto *Duplicatore*, un dispositivo a induzione che sfrutta un processo simile a quello ideato da Volta con l'elettroforo, per duplicare iterativamente una carica depositata inizialmente su di un conduttore (Gray 1890, p. 73). Questo dispositivo verrà perfezionato poi da Nicholson nel 1788 mediante una macchina in grado di effettuare il processo del duplicatore di Bennet semplicemente azionando una manovella, cumulando poi la carica prodotta su di un apposito conduttore (Gray 1890, p. 76).

È interessante notare che Bennet realizzerà anche la macchina immaginata da Volta e basata su di un pendolo. Questa macchina verrà impiegata da Erasmus Darwin (1731-1802), nonno del più ce-

6 Dal testo di G. Cantoni (Cantoni 1873, p. 426): "Lo studio accuratissimo fatto dal Volta su l'elettroforo, e segnatamente la possibilità di caricare un elettroforo colle scariche d'un altro, e di rinforzare poi il primo colle scariche di quest'altro (...) lo condussero ad ideare un congegno per cui, coll'alterno giuoco di due elettrofori, si potesse avere una serie indeficiente di scariche elettriche a forte tensione. Ma ei non condusse ad effetto quel suo pensiero, il quale però chiaramente preludeva al duplicatore di Bennet, perfezionato poi dal Belli, e quindi alle macchine ad induzione di Holtz, di Toepler, di Bertsch, ecc.". Giovanni Cantoni (1818-1897) fu chiamato ad occupare la cattedra di Fisica dell'Università di Pavia nel 1860, succedendo a Belli.



lebre Charles Darwin, per delle ricerche sulla influenza dell'elettricità nello sviluppo delle piante, ricerche descritte nella sua opera, *Phytologia*, del 1800. Il volume contiene una dettagliata disamina del dispositivo e del suo funzionamento (Darwin 1800). Un altro duplicatore che impiega un pendolo verrà realizzato da Ronald nel 1823 (Gray 1890, p. 84).

Infine, anche Volta utilizzerà, durante le ricerche che lo condurranno all'ideazione della pila, un duplicatore di Nicholson (Pancaldi 1990), che gli sarà utile nello studio del potenziale di contatto. Il dispositivo di Belli, ispirato da quello di Nicholson, è successivo a questi sviluppi e, come già notato, rappresenta un particolare avanzamento nella progettazione delle macchine a induzione.

### 3. Struttura e funzionamento del Duplicatore di Belli

Per descrivere il duplicatore di Belli, consideriamo un possibile schema per la realizzazione di una macchina, basata sulla induzione elettrostatica, capace di accumulare carica elettrica<sup>7</sup>. In generale, un *generatore* di questo genere dovrà includere:

- dei corpi elettricamente carichi, che chiamiamo *induttori*, con i quali produrre il fenomeno dell'induzione elettrostatica;
- dei corpi conduttori, che chiamiamo *indotti*, nei quali sotto l'azione degli induttori, si localizzeranno cariche elettriche di entità e segno dipendenti da quelle degli induttori;
- dei corpi conduttori, che chiamiamo *collettori*, dove verranno depositate le cariche di diverso segno provenienti dalle parti cariche dell'indotto.

Un primo schema semplice di generatore elettrostatico a induzione (fig. 2) consiste in una macchina composta da un solo induttore, un indotto e un collettore. A queste componenti aggiungiamo un filo conduttore mobile. Questa macchina elementare permette di mostrare il processo di generazione di carica per induzione che impiega l'elettroforo. Inizialmente le parti della macchina sono tutte scariche.

7 Lo schema che segue non è l'unico possibile ed è un ausilio per la successiva descrizione della macchina di Belli.

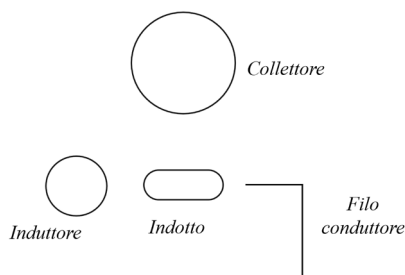


Fig. 2 – Schema di un generico generatore a induzione

Il processo di accumulazione di carica (fig. 3) consiste di:

1. una prima fase di *avviamento*, in cui l'induttore, allontanato dalle altre parti, viene caricato con carica di un certo segno. Indotto, collettore e filo sono inizialmente neutri.

Segue un *ciclo di accumulazione di carica*, che viene ripetuto e prevede le seguenti fasi:

2. induzione: si avvicina l'induttore all'indotto. Nell'indotto si genera carica ("carica indotta") di segno opposto a quella dell'induttore e posizionata dalla parte dell'induttore, e anche altra carica ("carica libera") che si muove verso la parte opposta dell'indotto, carica dello stesso segno della carica dell'induttore e che tende ad allontanarsi da questo; carica indotta e carica libera sono uguali in quantità, visto che inizialmente l'indotto è neutro e non vi è trasferimento di carica dall'esterno.
3. dispersione della carica libera: il filo conduttore viene connesso all'indotto e ad un altro conduttore esterno (il terreno, ad esempio) in modo da permettere alla carica libera di lasciare l'indotto e disperdersi nel conduttore esterno, mentre la carica indotta resta bloccata, a causa della forza elettrica di interazione con la carica dell'induttore;
4. separazione dall'induttore: si scollega il filo conduttore e poi si allontana l'induttore dall'indotto; l'indotto resta carico e questa carica è ora disponibile per venire trasferita ad altri conduttori;
5. scarica dell'indotto: si scarica l'indotto, passando la sua carica al collettore.
6. ricomposizione dell'indotto: si riporta l'indotto nella posizione iniziale, e il ciclo può riprendere ripartendo dal punto 2.

La fase di scarica può venire realizzata in diversi modi. Nella fig. 3 la scarica avviene per contatto; un'altra possibile soluzione consiste nell'avvicinare all'indotto delle punte conduttrici connesse al collettore. Dopo diversi cicli di accumulazione, quando il collettore è sensibilmente carico, la scarica per contatto come illustrata in figura è resa difficoltosa o impedita dalla repulsione delle cariche tra collettore e indotto. Belli adoterà una apposita soluzione per superare questo inconveniente, progettando dei collettori dalla forma opportuna (vedi descrizione al punto 3 in appendice).

Continuando a eseguire cicli di accumulazione, la carica immagazzinata nel collettore aumenta sino a che non interviene un processo limitante, per esempio la scarica tramite il collegamento del collettore a un terminale di uno spinterometro, di cui l'altro terminale sia collegato a terra.

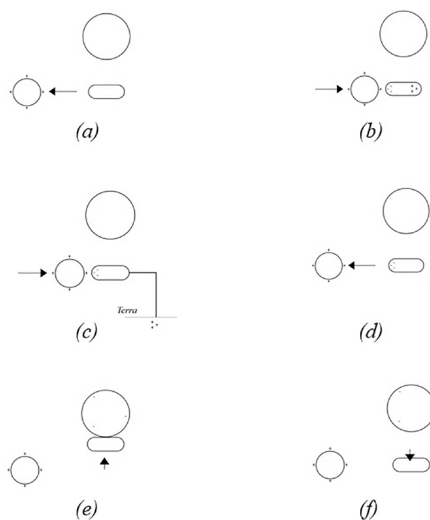


Fig. 3 – Processo di accumulazione di carica. (a) avviamento; (b) induzione; (c) dispersione della carica libera; (d) separazione dall'induttore; (e) scarica dell'indotto; (f) ricomposizione dell'indotto

Vediamo ora un altro schema di macchina a induzione, derivato da questo, che consente di accumulare carica di entrambi i segni. Si tratta di una macchina “doppia”, per così dire, rispetto alla precedente; essa presenta due induttori, due indotti e due collet-

tori, oltre a un filo conduttore centrale mobile (fig. 4). Per semplicità, supponiamo che i due induttori siano uguali tra loro, e così anche gli indotti e i collettori; disponiamo gli elementi come in figura. Queste scelte hanno il solo scopo di semplificare il processo e facilitare la successiva descrizione del duplicatore di Belli.

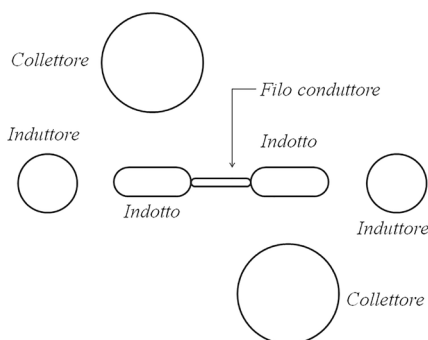


Fig. 4 – schema di generatore a induzione “doppio”

Nella fig. 5 viene rappresentato il processo di accumulazione di carica di questa macchina “doppia”. In pratica, i due complessi induttore-indotto-collettore ai due lati della macchina eseguono il ciclo della macchina semplice precedente, con una variante. Il filo (rappresentato dal conduttore centrale tra i due indotti), quando opportunamente posizionato come in fig. 5 (c), consente alla carica libera di ciascun indotto di muoversi verso l'altro indotto. Le cariche libere degli indotti si neutralizzano vicendevolmente, lasciando negli indotti le cariche legate a quelle degli induttori. Questa fase sostituisce la fase di dispersione della carica libera della macchina precedente, qui le cariche libere si neutralizzano tra loro. La macchina accumula cariche di segno opposto sui due collettori.

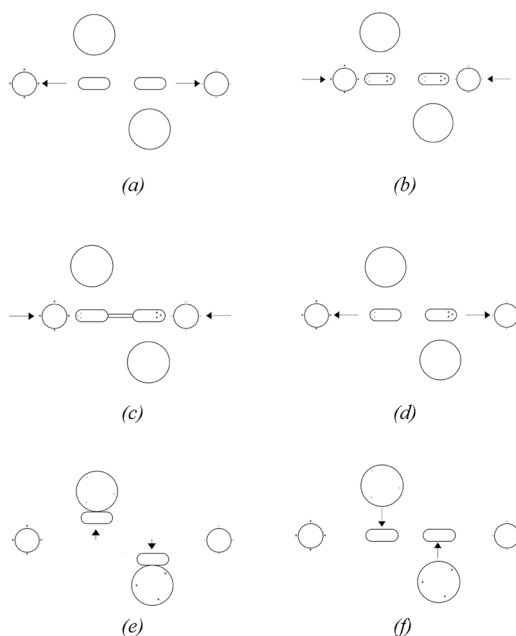


Fig. 5 – ciclo di accumulazione di carica con il generatore “doppio”

Alla luce di questo schema, esaminiamo ora il dispositivo di Belli e le soluzioni tecniche che Belli ha scelto per implementarlo. Nella fig. 6a vengono mostrate le parti essenziali del dispositivo mentre nella fig. 6b il dispositivo viene schematizzato per poi rappresentare il ciclo di accumulazione, che è mostrato in fig. 7. Il disegno originale di Belli è nella fig. 131 in appendice<sup>8</sup>.

8 In letteratura si possono trovare numerose descrizioni del duplicatore di Belli. Nel suo libro di testo, già citato in una nota precedente, Cantoni descrive il duplicatore di Belli e la macchina ad attuazione che da questo deriva (Cantoni 1873, p. 427). Il duplicatore che compare nel testo di Cantoni è un particolare dispositivo del Gabinetto di Fisica dell'Università, ancora oggi presente nella collezione del Museo per la Storia dell'Università di Pavia, diverso da quello della collezione del Liceo Parini – più grande e con quattro dischi rotanti invece di due. Si tratta presumibilmente di un altro prototipo dello schema di duplicatore ideato da Belli. La scheda relativa si trova in: <https://www.bibliotecadigitale.unipv.eu/entities/scientificmaterial/7304a4ea-6e3a-493c-b975-38c3521a0c4c>. Un'altra descrizione del funzionamento del duplicatore si trova nei manuali di Oreste Mura-

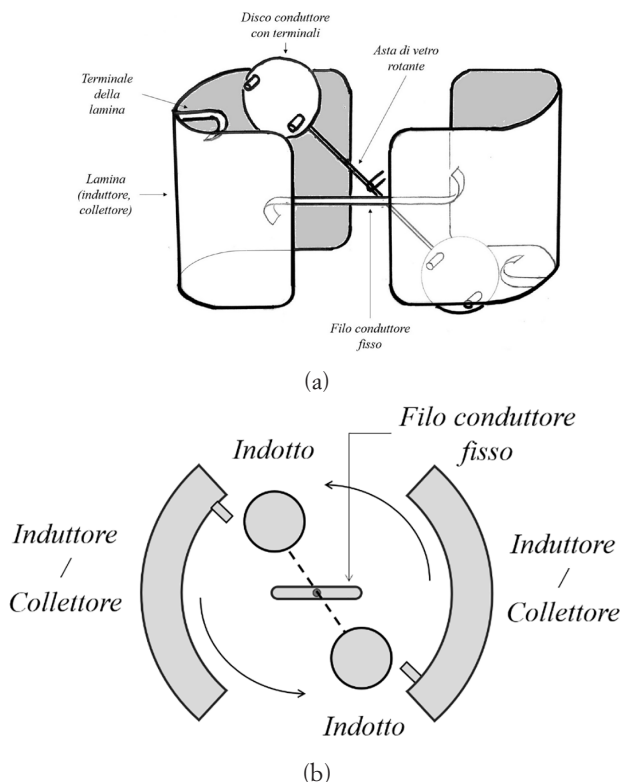


Fig. 6 – (a) Parti essenziali del duplicatore di Belli.

(b) Schema del duplicatore di Belli.

Il filo conduttore è fisso in posizione centrale e i due indotti sono dischi metallici mobili, fissati su una sbarra isolante e rotante (linea tratteggiata)

ni, professore di Fisica all'Istituto Tecnico *Carlo Cattaneo* di Milano nel 1886 e poi, dal 1887, alla cattedra di Fisica al Politecnico di Milano, dove insegnerà per oltre quarant'anni (Murani 1895, p. 21; 1909, pp. 31- 37; 1917, p. 610). Per inciso, Murani verso la fine dell'800 dimostrerà che una delle macchine elettrostatiche inventata da Lord Kelvin nel 1868, il cosiddetto *Replenisher*, non sia altro che un Duplicatore di Belli (Murani 1895, p. 21). Nel 1991 L'Università di Pavia e il Ministero per i Beni Culturali e Ambientali hanno organizzato un convegno dedicato a Giuseppe Belli nel bicentenario della nascita. In un loro articolo negli Atti del convegno, Giuliano Bellodi e Paolo Brenni descrivono in dettaglio gli strumenti di Belli presso il Museo della Storia dell'Università di Pavia (Bellodi, Brenni 1994). In particolare, danno una descrizione analitica del duplicatore presso il Museo, lo stesso già citato da Cantoni, e ne spiegano il funzionamento.

Anzitutto, Belli utilizza come indotti due dischi metallici circolari, montati su di un'asta isolante di vetro che nel centro è imperniata su di una manovella, per poterla far girare. Sui dischi sono montati dei terminali metallici sporgenti, due per disco. Questi terminali sono visibili nella foto del duplicatore del Parini (fig. 1). Nel disegno della fig. 133 in appendice i dischi sono riportati di profilo, in modo da mostrare i loro terminali. Per quanto riguarda il filo conduttore, Belli adotta un filo conduttore isolato da terra che, diversamente da quello del generatore “doppio”, è tenuto in posizione fissa. Nel duplicatore del Parini, esso è realizzato con un nastro metallico, anch'esso visibile nella fig. 1. Il filo tocca *simultaneamente* i terminali dei due dischi quando questi si trovano in una specifica posizione durante la loro rotazione, e cioè in orizzontale.

Inoltre, Belli impiega due induttori, entrambi costituiti da corpi conduttori. Si tratta di due lamine metalliche ripiegate a U in modo da generare due cavità. Le due lamine sono montate su supporti isolanti di vetro e tenute fisse in posizione verticale, una di fronte all'altra. Il movimento circolare dei dischi, impresso con la manovella all'asta di vetro su cui sono montati, si svolge su un piano verticale che passa all'interno delle cavità delle lamine. Quindi, entrambi i dischi attraversano lo spazio tra le lamine, entrando e successivamente uscendo simultaneamente dalle cavità.

Durante il ciclo di accumulazione, le due lamine sono elettrificate con cariche di segno opposto e agiscono sui due dischi (ossia i due indotti) quando essi si trovano dentro le lamine, caricando i due dischi per induzione simultaneamente e con cariche indotte opposte (fig. 7, a). Su ciascun disco, che resta complessivamente neutro, si separano cariche indotte fisse, legate a quelle della lamina inducente e di segno opposto, e cariche libere dello stesso segno della lamina.

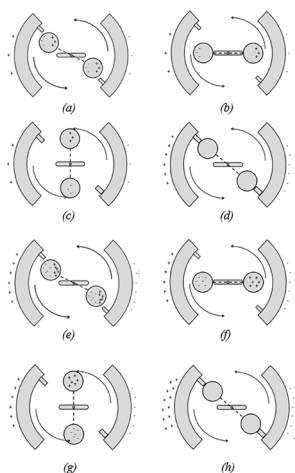


Fig. 7 – Ciclo di accumulazione del duplicatore di Belli. Le fasi sono: (a), (e): induzione, (b), (f): neutralizzazione delle cariche libere; (c), (g) separazione degli induttori; (d), (h): scarica degli indotti

Il filo conduttore fisso ha due terminali che si trovano nella cavità delle lamine, e che non toccano la superficie delle lamine. Si veda la fig. 6 (a) e la fig. 134, in cui la macchina è riportata in vista dall'alto. Quando un disco, dopo aver subito l'induzione, con un suo terminale entra in contatto con un terminale del filo fisso, l'altro disco si trova esattamente nella posizione diametralmente opposta e quindi entra in contatto con l'altro terminale del filo fisso. Le cariche libere di entrambi i dischi passano nel filo fisso, in modo da neutralizzarsi (fig. 7, b) oppure, se non fossero bilanciate, contribuire con la carica residua alla carica del disco che ha carica indotta in valore assoluto minore.

Successivamente, continuando la rotazione, i dischi si separano dal filo restando carichi ed escono entrambi dalle cavità delle lamine, trasportando le cariche indotte (fig. 7, c). Il disco che si trovava nella lamina carica positivamente, risulta carico negativamente, e viceversa l'altro disco.

Diversamente dal generatore "doppio", nel duplicatore di Belli i due induttori svolgono anche il ruolo di collettori. Questa soluzione consente di rendere il processo di accumulazione di carica piuttosto veloce, perché la carica indotta e poi accumulata in un ciclo contribuisce ad aumentare la carica indotta nel ciclo successivo. Nell'interno della cavità di ciascuna lamina vi è un terminale sporgente attaccato alla lamina stessa. Nella fig.



6a i terminali delle lamine sono dei nastri conduttori ripiegati, come nel dispositivo del Liceo; nel testo di Belli questi terminali sono realizzati con dei fili conduttori a spirale, attaccati alle lamine (figg. 131 e 132). Quando un disco, uscito carico da una lamina, entra nell'altra, uno dei suoi terminali tocca il corrispondente terminale della lamina. Con questo contatto esso cede la propria carica alla lamina, effettuando la fase di scarica dell'indotto prevista dal ciclo di accumulazione (fig. 7, d). La forma della lamina, che è approssimativamente quella di un conduttore cavo, favorisce il trasferimento di carica dal disco alla lamina.

La scarica del disco avviene quando il disco carico entra nella lamina. A questo punto il disco è scarico ma trovandosi nell'interno della lamina, subisce nuovamente l'induzione e il ciclo ricomincia (fig. 7, e-h). Notiamo una ulteriore differenza rispetto allo schema del generatore "doppio": nel duplicatore di Belli le parti in movimento sono esclusivamente gli indotti; non solo il filo conduttore ma anche gli induttori sono fissi.

Per l'avviamento, è sufficiente che, a dischi fermi, si posizioni della carica elettrica su una delle lamine e si imprima poi ai dischi la rotazione, nel verso indicato (cf. fig. 8). In questa situazione iniziale, le cariche libere dell'indotto che subisce l'azione della lamina carica vanno interamente a caricare l'altro indotto e da questo poi a rinforzare la carica della lamina caricata inizialmente.

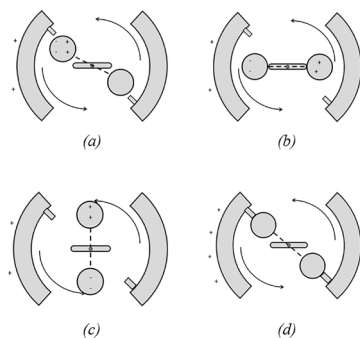


Fig. 8 – Avviamento del duplicatore di Belli

Prima dell'avvio tutte le parti della macchina vanno scaricate; a questo fine, Belli suggerisce di ruotare i dischi in senso inverso, le cariche eventualmente presenti sulle lamine o sui dischi verrebbero eliminate dalle cariche di segno opposto fornite dal processo.

L'impiego di due induttori simmetrici che svolgono anche il ruolo di collettori è una soluzione originale di Belli; altrettanto dicasi dell'idea che i collettori siano dei conduttori cavi caricati dall'interno. Nella macchina ad attuazione, Belli sceglie inoltre di adottare un disco di vetro rotante come supporto per le parti mobili dell'indotto. Anche questa, all'epoca di Belli, è una innovazione<sup>9</sup>. Alcune di queste soluzioni tecniche verranno impiegate nella realizzazione delle successive macchine elettrostatiche a induzione da parte di Toepler e Holtz, negli anni '60 dell'Ottocento, e più tardi da Wimshurst (De Frenza 2023).

## Appendice – il Duplicatore nella descrizione del suo ideatore

Riportiamo di seguito il testo e le figure del manuale di Belli (Belli 1838, art. 1180, p. 394 e Tav. III). Il testo è articolato nelle seguenti parti<sup>10</sup>.

1. descrizione delle componenti dello strumento (con riferimento alle figure):

*ABCDE, A'B'C'D'E'* (fig. 131) sono due lamine metalliche portate dai sostegni di vetro *P* e *Q*, piegate lungo le linee *AE, A'E'*, lunghe 5 pollici da *A* a *E* e da *A'* a *E'*, large  $2\frac{1}{2}$  pollici nelle direzioni *AB, A'B'* e aventi il vano interno da *B* in *C*, e da *B'* in *C'* largo pollici  $1\frac{1}{2}$ ;

*e, g* sono due fili metallici elastici attaccati internamente alle lamine precedenti, di forma spirale con una estremità rettilinea: uno di essi è rappresentato a parte nella fig. 132.

*L, M* (figg. 131, 133) sono due dischi metallici del diametro di un pollice e mezzo, portati da un bastoncino di vetro che può girare attorno all'asse *FH* mediante il manubrio *I* portato dal piede di legno *K*: sono essi muniti de' quattro fili metallici trasversali *x, y, x', y'* (fig. 133), due per ciascuno, de' quali fili i due *x, x'* più lontani dall'asse *FH* possono urtare ne' fili *e, g* quando i dischi nel loro girare entrano nella concavità delle lamine *AD, A'D'*.

9 Sia nella macchina ad attuazione che nel duplicatore di Belli, il dielettrico (vetro) svolge solo il ruolo di isolante e di supporto meccanico ai conduttori, mentre in alcune macchine successive il dielettrico svolgerà anche altre funzioni.

10 La spaziatura e la titolazione delle diverse parti del testo di Belli non sono presenti nell'originale, qui sono introdotte per evidenziare ciascuna parte e renderne esplicita la funzione.

*tus* (figg. 131 e 134) è un robusto filo metallico, portato dal sostegno isolante *uv* (fig. 131), il qual filo è più sottile verso i due capi ed ha ivi una forma spirale con brevi estremità rettilinee, atte a venir urtate dai due fili trasversali *y*, *y'* de' dischi *L*, *M*, quando questi hanno già abbandonato i fili *e*, *g*, e sono prossimi ad uscire dalle concavità delle lamine *AD*, *A'D'*.

2. modalità di avviamento. Viene descritto in sintesi quanto rappresentato nella fig. 8:

Per mettere in azione questa macchinetta, si pone a contatto o solamente in vicinanza di una delle lamine, p.e. della *AD*, un corpo elettrizzato, e quindi si fa girare il manubrio pel verso indicato dalla freccia segnata sopra il disco *L*, levando subito il corpo avvicinato dopo un intero giro; e dopo pochi giri le due lamine *AD*, *A'D'* si trovano vivamente elettrizzate, la *AD* omologamente al corpo accostato, la *A'D'* contrariamente.

3. funzionamento del ciclo, considerando un solo disco. Il processo descritto da Belli è rappresentato nella fig. 9, dove si suppone che il filo conduttore fisso sia collegato a terra e solo una delle lamine sia sottoposta a induzione:

Per intenderne il giuoco, cominciamo col supporre che vi sia soltanto il disco *L*, che il filo *tus* comunichi col terreno, e che la lamina *AD* sia stata leggerissimamente elettrizzata in più, essendo tutto il resto allo stato naturale. Allorquando il disco *L* sarà entrato nella concavità della *AD* e si sarà inoltrato fino a toccare il filo *tu*, si elettrizzerà esso per induzione in meno. Uscito da questa lamina, entrato nella *A'D'*, e toccato il filo *g*, darà la sua elettricità negativa a essa *A'D'*, dandogliela quasi tutta, perché situato allora nel suo interno; separatosi poi dal filo *g*, e arrivato a toccare la estremità *s* dell'altro filo *tus* si elettrizzerà per induzione in più. Giunto di nuovo entro la lamina *AD* e toccato il filo *e*, darà a essa lamina quasi tutta questa elettricità positiva, e toccata la estremità *t* si elettrizzerà di nuovo in meno. Quindi dopo un altro mezzo giro darà cotale elettricità negativa alla *A'D'* e uscirà da questa elettrizzato in più. E così esso disco *L* andrà gradatamente aumentando tanto l'elettricità positiva di *AD* quanto la negativa di *A'D'* fino a che l'una o l'altra elettricità si renderà sensibile a un elettrometro messo vicino o in comunicazione con una di tali lamine *AD*, *A'D'*.

4. funzionamento con entrambi i dischi. Il processo descritto da Belli è quello della fig. 7. Si noti che Belli adottava per l'elettricità la teoria del singolo fluido elettrico (come Volta e la sua scuola), di qui l'espressione "in luogo di togliere o dare fluido elettrico al terreno":

Essendovi anche il disco  $M$ , il quale si comporta nella stessa maniera di  $L$ , si ha l'effetto più prontamente, cioè nella metà del tempo. E inoltre venendo i due dischi a trovarsi contemporaneamente in comunicazione col filo  $tus$ , egli avviene che intanto che l'un disco si elettrizza per induzione, in meno, l'altro si elettrizza, similmente per induzione, in più: ond'è che in luogo di togliere e dare fluido elettrico al terreno, può l'un disco darne all'altro, senza bisogno di comunicare con esso terreno. Ed ecco perché il sostegno  $uv$  può essere isolante.

5. raccomandazioni per il buon funzionamento, modalità di scarica del dispositivo prima dell'uso:

Con questo stromento ogni elettricità anche estremamente piccola, dopo un sufficiente numero di giri, viene a rendersi sensibile. È però d'uopo, 1° che i contatti sieno sempre perfetti; 2° che i metalli toccantisi sieno omogenei, affinché per la eterogeneità di questi non pigli parte al fenomeno qualche elettricità estranea a quella che si vuol rendere sensibile; e per questa ragione è meglio porre il corpo elettrizzato in vicinanza anziché a contatto; 3° che lo strumento sia dapprima affatto scevro di elettricità; al che giova l'incominciare ad aggirarlo più volte in direzione opposta alla freccia.

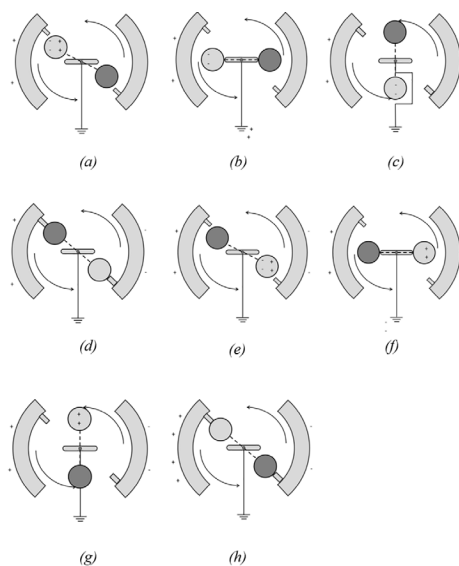
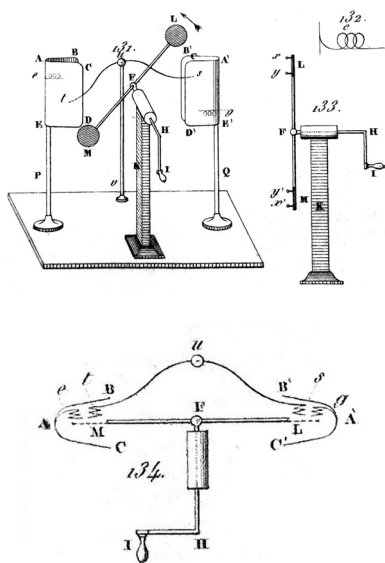


Fig. 9 – ciclo del duplicatore di Belli con un solo indotto operante e con il filo fisso collegato a terra.



figg. 131, 132, 133 e 134 – Da (Belli 1838)

## Bibliografia

Belli, G.

1831 *Di una nuova maniera di Macchina elettrica immaginata dal Sig. Dott. Giuseppe Belli Professore di Fisica nell'I.R. Liceo di Porta Nuova in Milano*, in "Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto", p. 111.

1838 *Corso elementare di fisica sperimentale*, III.2a, Milano.

Bellodi, G. e Brenni, P.

1994 *Giuseppe Belli, gli strumenti e i costruttori*, in Bellodi, G., Rovida, E. (a cura di), *La fisica a Pavia nelle opere di Giuseppe Belli (1791-1860)*, La Goliardica pavese, Pavia, pp. 75-112.

Cantoni, G.

1873 *Elementi di Fisica*, seconda edizione, Milano.

Darwin, E.

1800 *Phytologia; or the Philosophy of Agriculture and Gardening*, Londra.

De Frenza, L.

- 2023 *Evolution of Induction Machines Technology in the Nineteenth Century*, in Bussotti, P., Capecchi, D., Tucci, P. (a cura di), *Atti del XLII Convegno annuale SISFA / Proceedings of the 42nd Annual Conference of the SISFA*, University Press, Pisa 2023, pp. 247-254.  
Doi: <https://doi.org/10.12871/978883339843333>

Fraguglia, P.

- 2001 *La Fisica come disciplina scolastica: il caso di Giuseppe Belli (Cala-sca, 1791 – Pavia, 1860)*, in AA.VV. (A CURA DI), *Atti del XXI Congresso di Storia della Fisica e Dell'Astronomia (Arcavacata di Rende, 6-8 giugno 2001)*, Cosenza 2001.

Gray, J.

- 1890 *Electrical Influence Machines*, Londra

Morisetti, I., Servida, E., Ronzon, L.

- 2024 *Da gabinetti scientifici a musei scolastici: il patrimonio dei licei scientifici per co-costruire nuove competenze e relazioni*, in “Scientia. Rivista della Società Italiana di Storia della Scienza”, a. I, pp. 151-184.  
Doi: <https://doi.org/10.61010/2974-9433-202401-015>

Murani, O.

- 1895 *Il duplicatore del Belli e il replenisher di lord Kelvin (sir William Thomson): nota*, in “Rendiconti / Reale Istituto lombardo di scienze e lettere”, s. II, a. XXVIII, n. 5, pp. 313-317.  
1909 *Onde Hertziane e Telegrafo senza Fili*, Ulrico Hoepli Editore, Milano.

Murani, O.

- 1917 *Fisica*, Ulrico Hoepli Editore, Milano.

Pancaldi, G.

- 1990 *Electricity and Life. Volta's Path to the Battery*, in “Historical Studies in the Physical and Biological Sciences”, a. XXI, n. 1, pp. 123-160.  
Doi: <https://doi.org/10.2307/27757657>

Volta, A.

- 1775 *Lettera del Signor Don Alessandro Volta al Signor Dottore Giuseppe Priestley (Como, 10 Giugno 1775)*, in *Le Opere di Alessandro Volta – Edizione Nazionale*, III, Ulrico Hoepli Editore, Milano 1926, pp. 95-108.

## Sitografia

Alinari, archivio fotografico

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

Ultima consultazione: 22.06.2025

Belli, biografia

<https://museoperlastoria.unipv.it/giuseppe-belli/>

Ultima consultazione: 22.06.2025

Belli, dispositivo

<https://bibdig.museogalileo.it/tecanew/opera?bid=7150&seq=7>

Ultima consultazione: 22.06.2025

<https://www.coe.ufrj.br/~acmq/belli/>

Ultima consultazione: 22.06.2025

<https://www.bibliotecadigitale.unipv.eu/entities/scientificmaterial/7304a4ea-6e3a-493c-b975-38c3521a0c4c>

Ultima consultazione: 22.06.2025

Organizzazione A.R.A.S.S.- Brera

<https://arass-brera.org/>

Ultima consultazione: 22.06.2025

Pavia, Gabinetto di Fisica dell'Ottocento

<https://museoperlastoria.unipv.it/gabinetto-di-fisica-dellottocento/>

Ultima consultazione: 22.06.2025

Prima Esposizione Nazionale di Storia della Scienza

<https://www2.museogalileo.it/it/biblioteca-e-istituto-di-ricerca/progetti/mostre-virtuali/366-prima-esposizione-nazionale-di-storia-della-scienza-1929-it.html>

Ultima consultazione: 22.06.2025