



Gli orologi dell'Osservatorio Astronomico di Brera

L'Osservatorio Astronomico di Brera è stato fondato nel periodo che va dal 1762 al 1765 all'interno del Collegio Gesuitico di Milano. Dalla fine del XII secolo l'area di Brera era stata la sede di uno dei principali conventi degli Umiliati; nel corso dei secoli successivi questo ordine era progressivamente decaduto e nel 1571 era stato soppresso da papa Pio V. La zona era stata quindi assegnata alla Compagnia di Gesù, che vi aveva costruito l'edificio che doveva essere la sede del Collegio di Milano, una scuola rivolta alla formazione e all'istruzione del clero e della nobiltà a un livello che può essere paragonato a quelli del liceo e dell'università odierne. Il Collegio era in breve divenuto una delle più importanti scuole di Milano, anche perché all'epoca la città non aveva università.¹ Nel Collegio si insegnavano sia materie letterarie (grammatica, retorica, letteratura, filosofia) e teologia, sia materie scientifiche (matematica, filosofia naturale, astronomia). Anche se le notizie su questo periodo sono piuttosto scarse,² si sa che attorno al 1760 alcuni padri gesuiti conducevano osservazioni astronomiche, probabilmente a complemento dell'insegnamento di astronomia: tra questi c'erano i padri Pasquale Bovio e Domenico Gerra, che nel febbraio 1760 scoprirono (o riscoprirono) una cometa. Forse fu questo successo a suggerire al rettore del Collegio, padre Federico Pallavicino (che viene descritto come "uomo appassionato a ogni genere di scienza") di fondare un vero osservatorio astronomico, come già era avvenuto in diversi altri collegi gesuitici. Fece quindi venire da Marsiglia, dove i Gesuiti nel 1728-29 avevano già realizzato un osservatorio, Louis Lagrange,³ un padre esperto in osservazioni astronomiche. Arrivato a Milano alla fine del 1762, Lagrange iniziò a organizzare un'attività osservativa sistematica nel campo dell'astronomia e della meteorologia, e cominciò a occuparsi della fondazione della nuova specola. Il ruolo maggiore nella realizzazione dell'osservatorio fu però svolto da un altro scienziato gesuita, Ruggiero Giuseppe Boscovich. Boscovich era nato nel 1711 nella città di Ragusa (ora Dubrovnik) sulle coste della Dalmazia, ma all'età di quattordici anni si era trasferito in Italia per proseguire gli studi al Collegio Romano, dove aveva preso gli ordini religiosi come gesuita. Nel 1764, già famoso internazionalmente per i suoi lavori nei campi della matematica, astronomia, geodesia, ingegneria civile e architettura, era stato chiamato all'Università di Pavia per coprire la cattedra di matematica. Nell'estate del 1764 Boscovich fu ospitato nel Collegio di Brera, dove venne a conoscenza del proposito di fondare un osservatorio, e a lui fu affidata la progettazione di una nuova torretta da edificarsi sui tetti del Palazzo. Boscovich si mise immediatamente all'opera: nel febbraio 1765 aveva già completato il progetto e poteva presentare ai padri del Collegio e alle autorità milanesi

-
- 1 Il Politecnico di Milano fu fondato nel 1863, e l'Università degli Studi nel 1923. Nel XVIII secolo l'unica università lombarda era quella di Pavia, fondata nel 1361.
 - 2 Gran parte della documentazione relativa all'attività del Collegio è andata perduta a seguito della soppressione della Compagnia di Gesù nel 1773; la maggior parte dei documenti sopravvissuti sono conservati nell'Archivio di Stato di Milano.
 - 3 Questo Louis Lagrange (1711-1783), nativo di Macon, non ha alcuna parentela con Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), il famoso matematico e meccanico celeste.

un modello in legno del nuovo osservatorio;⁴ nello stesso periodo iniziarono i lavori, e alla fine dell'anno la costruzione era essenzialmente terminata. La nuova specola era disposta su due piani: il piano inferiore era diviso in sei stanze, adibite a studi, locali per la strumentazione accessoria (tra cui gli orologi), alloggi e magazzini; il piano superiore consisteva in un'unica grande sala ottagonale per le osservazioni; sul terrazzo che si trovava sopra questa sala erano collocati due cupolini (a cui in seguito ne furono aggiunti altri due) che contenevano altri strumenti astronomici.⁵

A partire da questa epoca gli astronomi di Brera iniziarono a mettere da parte i più significativi strumenti scientifici, man mano che diventavano obsoleti e non venivano più utilizzati per l'attività di ricerca. Da questa collezione, catalogata e riordinata alla fine del XX secolo con il contributo fondamentale dell'Istituto di Fisica dell'Università degli Studi di Milano (e in particolare di Guido Tagliaferri e Pasquale Tucci), è nato il Museo Astronomico di Brera, che rappresenta quindi uno spaccato dell'evoluzione della strumentazione usata in astronomia (e in particolare degli orologi) dalla metà del Settecento ai nostri giorni.

Astronomia di posizione e misura del tempo

A differenza dell'astronomia odierna, che si occupa soprattutto del campo che chiamiamo *astrofisica*, cioè dello studio delle proprietà fisiche dei corpi celesti e dei fenomeni che ne regolano il funzionamento e l'evoluzione, l'astronomia settecentesca consisteva principalmente in quella che oggi chiamiamo *astrometria* o *astronomia di posizione*, che riguardava lo studio delle posizioni e dei movimenti dei pianeti e delle stelle.⁶ Questo campo di studio era strettamente legato ai progressi nella fisica di base che avvenivano nel Settecento, e che riguardavano la comprensione delle leggi del moto dei corpi (e in particolare dei corpi celesti) e della teoria della gravitazione. Raccogliendo le due eredità di Keplero, che aveva formulato per primo le leggi del moto dei pianeti, e di Galileo, che aveva studiato sperimentalmente il comportamento dei corpi soggetti a forze, agli inizi del Settecento Newton aveva formulato una teoria fisica completa del moto dei gravi, ponendo le basi anche dei metodi matematici necessari per impostare e risolvere i problemi dinamici. È un ramo della matematica sofisticato (quello che oggi chiamiamo *calcolo differenziale e integrale*) e che, se si esclude il caso dei sistemi fisici più semplici, comporta anche un notevole sforzo computazionale.⁷ Nel

4 Il modello, delle dimensioni di circa un metro, è attualmente esposto nella sezione *Spazio* del Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia *Leonardo da Vinci* di Milano.

5 Per un resoconto più dettagliato della nascita dell'Osservatorio di Brera si veda Proverbio (1997).

6 L'astrofisica è nata verso la metà dell'Ottocento in seguito allo sviluppo di quei campi della fisica di base che studiano la natura e la trasmissione del calore (termodinamica, teoria cinetica dei gas) e la propagazione della luce (radiazione elettromagnetica). Lo strumento principale che ha permesso agli astronomi di avere informazioni sulla composizione chimica delle stelle e sui processi termodinamici attivi al loro interno è stato lo spettroscopio, inventato (nella sua forma moderna) da Joseph von Fraunhofer (1787-1826) e applicato inizialmente alle tecniche di analisi chimica in laboratorio da Gustav Kirchhoff (1824-1887) e Robert Bunsen (1811-1899).

7 In astronomia dinamica l'unico sistema *integrabile*, in cui ciò la legge del moto sia rappresentabile per mezzo di una combinazione di funzioni elementari, è quello costituito da due corpi puntiformi: il cosiddetto *problema dei due corpi*, che descrive in prima approssimazione il moto di un pianeta attorno a una stella (Sole), trascurando l'effetto gravitazionale di altri pianeti eventualmente presenti. In tutti gli altri casi (a partire dal *problema dei tre corpi*) si possono ottenere solo soluzioni più o meno approssimate, che comportano lunghi sviluppi in serie o sequenze di calcoli iterativi.

corso del Settecento generazioni di *meccanici celesti* (i matematici specializzati nel calcolo orbitale) si sono dedicate al perfezionamento delle teorie del moto planetario, in stretta collaborazione con gli astronomi osservativi che fornivano loro, come dati di partenza, misurazioni il più possibile precise delle posizioni apparenti dei pianeti, e verificavano la correttezza dei calcoli confrontando le previsioni delle teorie con le osservazioni. In questo tipo di misurazioni la conoscenza esatta del tempo era un requisito fondamentale perché, a causa della rotazione della Terra attorno al proprio asse, la posizione apparente dei corpi celesti rispetto all'osservatore varia nel corso della giornata.

L'astronomia di posizione era legata anche a interessi molto più pratici, come la possibilità di determinare le coordinate geografiche di un punto sulla superficie terrestre e la definizione della scala di tempo civile. Prima dell'avvento delle tecnologie spaziali degli ultimi decenni del XX secolo, l'unico metodo preciso per determinare le coordinate di un luogo era quello astronomico. Fin dall'antichità era noto che la *latitudine* di un luogo è uguale all'altezza sull'orizzonte del polo celeste, un angolo che può essere misurato in modo abbastanza semplice. Ben più complicata è la determinazione della *longitudine*, perché questo angolo è misurato lungo l'equatore terrestre, cioè nella direzione in cui la Terra sta ruotando; la stima della longitudine a partire da misure astronomiche richiede quindi la conoscenza dell'angolo di cui la Terra è ruotata rispetto a un sistema di riferimento celeste, cioè dell'ora in cui è eseguita la misura. Perciò il metodo astronomico per la determinazione della longitudine di una nave è divenuto praticabile solo dal momento in cui sono stati disponibili cronometri marini in grado di mantenere l'accuratezza richiesta (dell'ordine del secondo) per i lunghi periodi su cui si svolgevano i viaggi per mare (settimane o mesi), cioè a partire circa dalla metà del Settecento.⁸ Per quanto riguarda la definizione del tempo civile occorre presente che, fino alla metà del XX secolo, essa era basata su osservazioni astronomiche, essenzialmente perché la rotazione terrestre costituiva uno standard di frequenza molto più stabile dei migliori orologi costruiti dall'uomo, soprattutto sulle scale di tempo più lunghe (superiori a qualche settimana); si può dire che, fino a quell'epoca, l'"orologio" principale che definiva lo scorrere del tempo era la Terra con il suo moto di rotazione, e tutti gli altri orologi (meccanici) erano solo mezzi per interpolare tra valori successivi delle "letture" dell'orologio terrestre.⁹

8 Per una storia del problema della determinazione della longitudine in mare e della sua soluzione, grazie all'invenzione del cronometro marino da parte di John Harrison (1693-1776), si veda: Dava Sobel, *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walker Publishing Company, 1995 (traduzione italiana: Dava Sobel, *Longitudine. Come un genio solitario cambiò la storia della navigazione*, Rizzoli, 1996).

9 Questa situazione fu rivoluzionata, verso la metà del secolo, dal continuo progresso della tecnica costruttiva degli orologi, e soprattutto dall'introduzione degli orologi elettronici (al quarzo e atomici), che garantivano una stabilità in frequenza superiore di molti ordini di grandezza rispetto a quella degli orologi meccanici. Usando questi orologi gli astronomi si accorsero, negli anni '30 del Novecento, che il periodo di rotazione terrestre ha delle irregolarità dell'ordine del millesimo di secondo che seguono un andamento stagionale non prevedibile, perché legate a fenomeni meteorologici come la circolazione globale dei venti e delle correnti oceaniche. Dopo un periodo di studio e di transizione, fu deciso che la misura del tempo non dovesse più basarsi su osservazioni astronomiche ma sulla lettura degli orologi atomici: nel 1967 la Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure decise che l'unità di misura del tempo, il secondo, non dovesse essere più legata alla lunghezza del giorno solare medio ma a una frequenza corrispondente alla transizione tra due livelli energetici iperfini dell'atomo di cesio-133, su cui è basato il funzionamento degli orologi atomici.

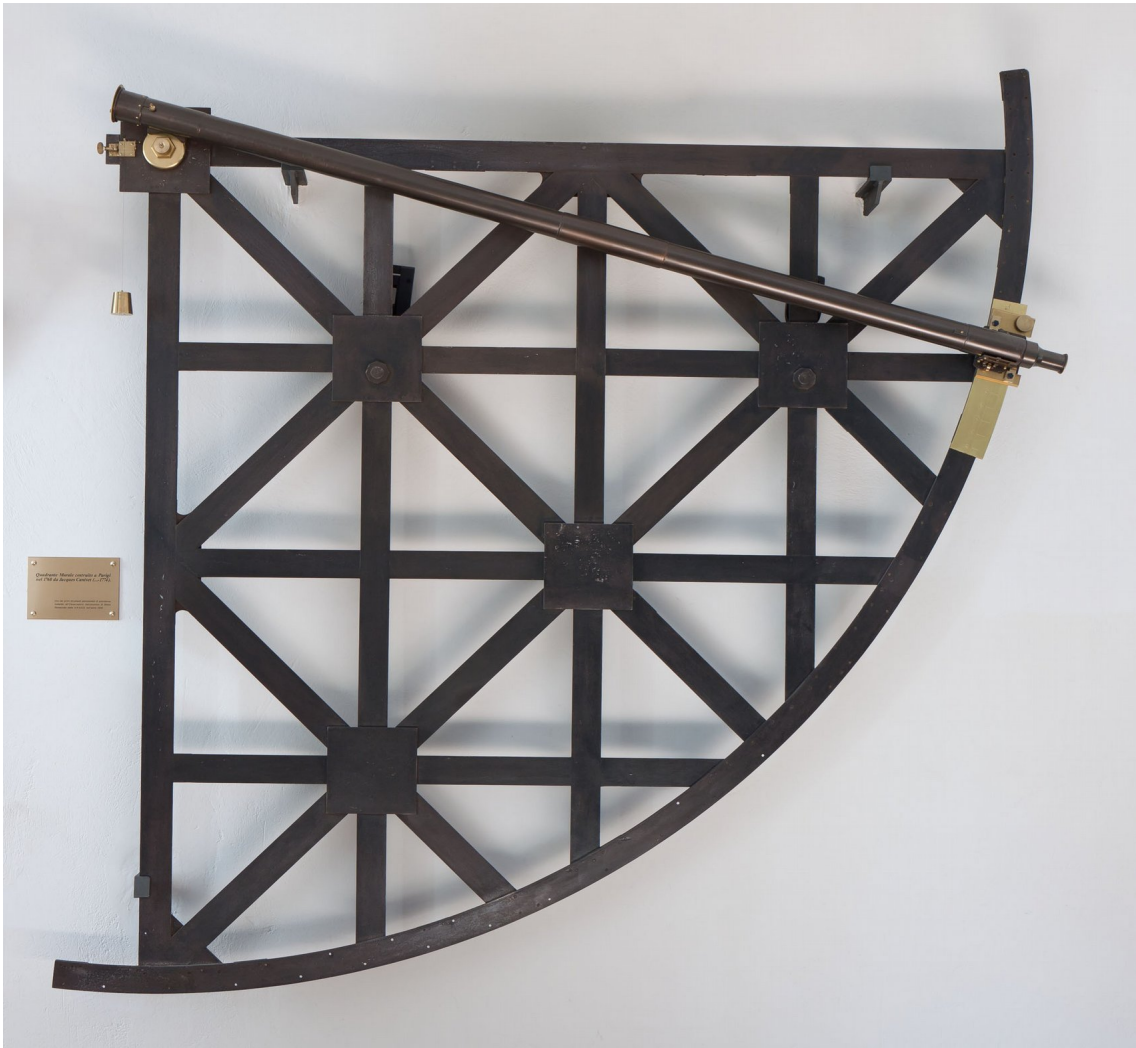


Figura 1: Il quadrante murale di Canivet (1768) fu uno dei primi strumenti astrometrici acquisiti dalla Specola di Brera: ha un raggio di 195 cm ed è attualmente esposto presso la sede di Merate dell'Osservatorio. La scala graduata dello strumento aveva divisioni a distanza di 5', ma un nonio e una vite micrometrica permettevano letture con una precisione dell'ordine del secondo d'arco. Un'analisi degli errori eseguita nel periodo 1773-1780 ha evidenziato che la divisione del lembo aveva errori sistematici che arrivavano a 7-8".

La stretta connessione esistente tra astronomia di posizione e misura del tempo è bene illustrata da quella classe di strumenti astrometrici fatta per le osservazioni meridiiane. Si tratta di strumenti che hanno caratteristiche costruttive un po' diverse tra di loro, ma che hanno in comune il fatto di poter osservare solo nel piano del meridiano locale, cioè in quel piano verticale (ortogonale al piano dell'orizzonte) che comprende la posizione dell'osservatore e si estende dal punto sud al punto nord dell'orizzonte passando per lo zenit (il punto posto perpendicolarmente sopra l'osservatore). Questa classe di strumenti comprende:

- il *quadrante murale*: si tratta di un telescopio¹⁰ dotato di un'armatura che ha la

10 In realtà il quadrante murale è uno strumento noto fin dall'antichità, ben prima dell'invenzione del

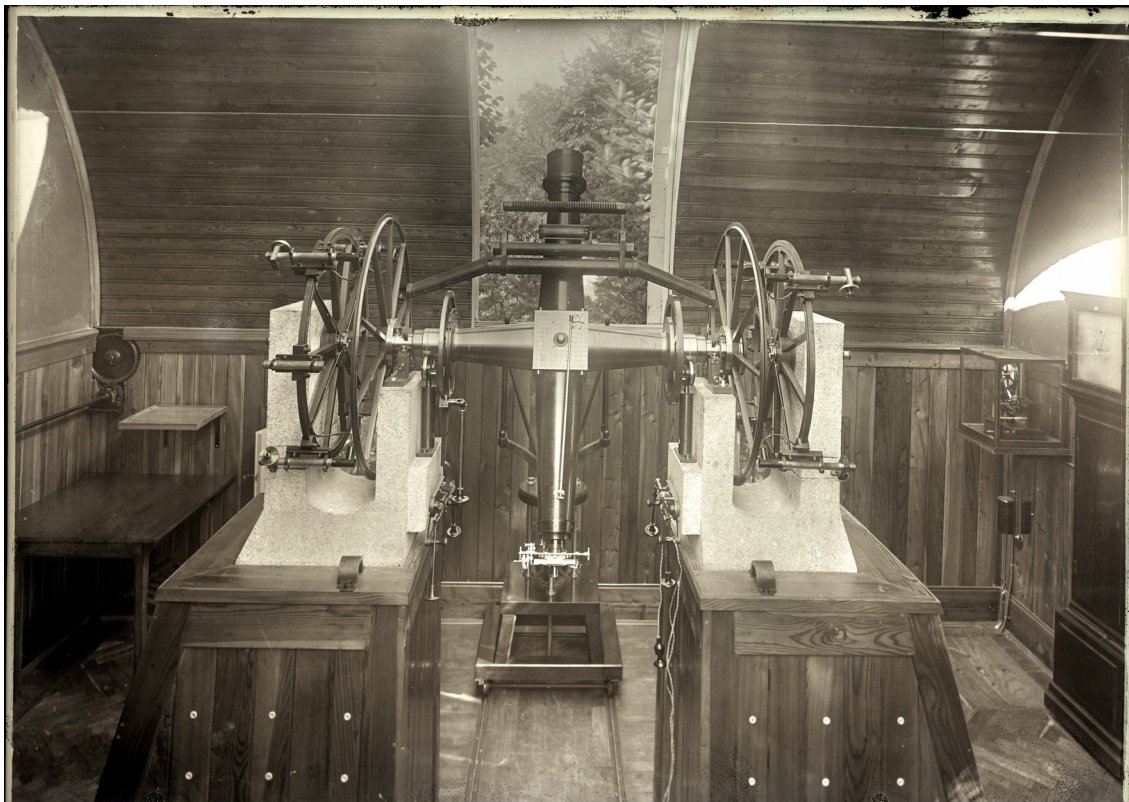


Figura 2: Il circolo meridiano di Ertel, costruito nella seconda metà dell'Ottocento e utilizzato inizialmente dall'Istituto Idrografico della Marina di Genova, fu trasferito nella sede di Merate dell'Osservatorio nel 1924. Lo strumento è dotato di un telescopio di 110 cm di lunghezza e di due cerchi graduati del diametro di 78 cm. La foto d'epoca mostra lo strumento all'interno del cupolino in cui fu installato a Merate.

forma di un quarto di cerchio e che reca sul suo perimetro esterno una scala graduata tarata in gradi; l'armatura è fissata a una parete orientata in direzione nord-sud, e il telescopio è incernierato a un asse che passa per l'intersezione dei raggi del quadrante, in modo che possa ruotare solo nel piano del meridiano (figura 1). Il braccio ruotante che regge il telescopio (*alidada*) è dotato di un indice che permette di leggere l'altezza sull'orizzonte dell'astro nel momento in cui passa al meridiano. I quadranti murali avevano spesso dimensioni notevoli (raggio del cerchio graduato superiore ai due metri);

- il *telescopio meridiano*: è un telescopio montato su un asse orizzontale orientato in direzione est-ovest, che è imperniato alle sue estremità su due colonne fisse; anche in questo caso il telescopio può essere orientato solo lungo il piano del meridiano. L'altezza del telescopio sull'orizzonte è leggibile su uno o due cerchi graduati completi (di raggio inferiore a quello dei quadranti murali) posti a fianco dello strumento (figura 2);
- lo *strumento dei passaggi*: è un telescopio montato in modo simile al telescopio

cannocchiale; i quadranti precedenti al XVII secolo (ad esempio quelli utilizzati da Tycho Brahe, 1546-1601) non avevano lenti, e l'alidada veniva puntata per mezzo di una mira semplice, ad esempio tramite due strette fessure attraverso cui si riguardava l'immagine dell'astro.

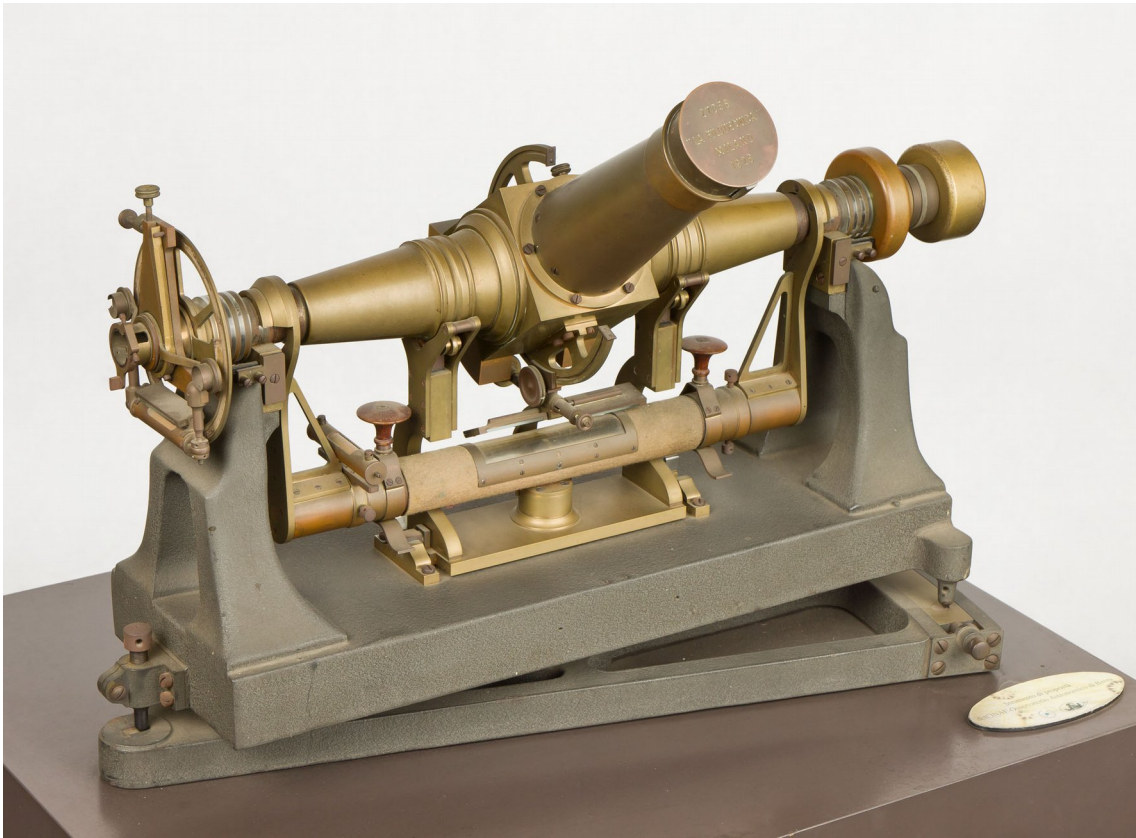


Figura 3: Strumento dei passaggi La Filotecnica Salmoiraghi (1926), installato a Merate nel 1927. È uno strumento piuttosto compatto (la base è larga 69 cm) che monta unobiettivo del diametro di 6 cm; il piccolo cerchio graduato è dotato di due nonii che permettono una lettura minima di 1' in elevazione. Lo strumento è attualmente esposto nella galleria del Museo Astronomico di Brera.

meridiano, ma ha dimensioni più ridotte e non è dotato di cerchi graduati (oppure ne ha di piccole dimensioni e bassa precisione) ed è quindi dedicato all'osservazione del transito in meridiano degli astri, senza misurarne l'altezza sull'orizzonte (figura 3).

Tutti questi strumenti hanno lo scopo di determinare l'istante nel quale un astro passa al meridiano (in pratica, attraverso un sottile filo verticale visibile al centro del campo dello strumento) e venivano usati per scopi diversi, i quali comunque avevano tutti in comune il fatto che, grazie alla costanza della velocità di rotazione terrestre, una misura angolare poteva essere sostituita da una misura di tempo. Ad esempio la differenza di ascensione retta¹¹ tra due stelle si può determinare misurando la differenza tra i ri-

11 L'*ascensione retta* è una delle due coordinate angolari che definiscono la posizione di un astro sulla volta celeste: è l'angolo misurato in senso antiorario lungo il piano dell'equatore celeste a partire da un punto scelto convenzionalmente come origine fino all'astro stesso; è quindi definita in modo del tutto analogo alla longitudine terrestre, tranne per il fatto che l'origine delle coordinate non è fissa sulla superficie della Terra (il meridiano di Greenwich) ma un punto fisso sulla volta celeste (il *primo punto dell'Ariete*, cioè la posizione occupata dal Sole all'equinozio di primavera). La seconda coordinata celeste, detta *declinazione*, è l'altezza angolare dell'astro sul piano dell'equatore, ed è quindi l'analogo della latitudine terrestre.



Figura 4: Uno dei cronografi registratori che sono stati in uso all’Osservatorio di Brera; lo strumento è stato costruito da Sante Mioni, meccanico dell’Osservatorio Astronomico di Padova, negli anni ‘20 del Novecento. Dalla parte inferiore sporgono i due pesi che, con la loro discesa, fornivano la forza motrice al meccanismo di trascinamento della carta.

spettivi tempi di passaggio al meridiano e applicando una semplice proporzione.¹² Nella compilazione dei cataloghi stellari questo metodo di determinazione delle ascensioni

¹² La differenza tra le ascensioni rette tra le due stelle sta all’angolo giro (360°) come la differenza tra i tempi dei passaggi sta al periodo di rotazione della Terra attorno al proprio asse, cioè alla durata del giorno siderale ($23^h 56^m 4^s.1$). Per il significato di *giorno siderale* vedi la nota 15.

rette costituiva una valida alternativa alla misura effettuata con strumenti che misuravano direttamente gli angoli, perché traguardare contemporaneamente due astri che si muovono (a causa della rotazione diurna della volta celeste) non è affatto semplice. Se lo strumento utilizzato era dotato di una scala graduata per la misura dell'altezza dell'astro sull'orizzonte all'istante del passaggio, era possibile determinare allo stesso tempo anche la declinazione.¹³ In modo simile, osservando il transito al meridiano di una stessa stella con strumenti collocati in due diversi osservatori astronomici, dalla differenza dei tempi dei passaggi era possibile calcolare l'angolo (misurato lungo l'equatore) tra i corrispondenti meridiani locali, cioè la differenza di longitudine tra i due luoghi. Era questo il modo in cui venivano organizzate le campagne di longitudine con cui, per mezzo di un piano coordinato di osservazioni eseguite in differenti osservatori, si determinava la loro posizione sulla superficie terrestre, producendo punti di riferimento che costituivano la base della cartografia su grande scala.¹⁴

Infine gli strumenti meridiani erano usati per la determinazione del tempo: i passaggi successivi, notte dopo notte, di una stessa stella al meridiano locale costituivano una serie di eventi che fornivano un riferimento preciso per la sincronizzazione degli orologi.¹⁵ Il confronto tra l'istante del passaggio e la lettura dell'orologio veniva effet-

13 Nell'istante in cui un astro attraversa il meridiano locale (punto sud), il piano del meridiano celeste passante per l'astro coincide con il piano del meridiano locale: di conseguenza il polo celeste, lo zenit e l'astro si trovano allineati lungo uno stesso cerchio massimo, e la declinazione δ dell'astro è legata alla sua altezza h sull'orizzonte dalla semplice relazione $\delta = h + \varphi - 90^\circ$, dove φ è la latitudine del luogo di osservazione.

14 Questo procedimento richiedeva quindi la misura della differenza di tempo tra due osservazioni eseguite in luoghi diversi, a volte distanti tra di loro centinaia di chilometri. La sincronizzazione degli orologi tra gli osservatori è stato uno dei problemi più seri che queste campagne dovevano affrontare, fino all'introduzione della sincronizzazione per mezzo di segnali telegrafici (negli ultimi decenni dell'Ottocento) o trasmissioni radio (agli inizi del Novecento). Per una descrizione del metodo di sincronizzazione telegrafica in una campagna di longitudine si veda ad esempio Schiaparelli e Celeria (1875).

15 Come è noto, il tempo utilizzato normalmente nella vita civile è il *tempo solare*, che è definito dalla posizione apparente del Sole: in questa scala di tempo il mezzogiorno è l'istante in cui il Sole passa al meridiano locale (punto sud dell'orizzonte), e la durata del *giorno solare* è pari all'intervallo di tempo che passa tra due successivi passaggi. In astronomia è molto usato anche un diverso tipo di tempo, chiamato *tempo siderale*, che è definito in base alla posizione delle stelle fisse; l'inizio del *giorno siderale* è il momento in cui passa al meridiano un punto particolare della volta celeste, il primo punto dell'Ariete (cioè lo stesso punto da cui si misura l'ascensione retta, vedi nota 11). Poiché, a causa del moto orbitale della Terra, la posizione del Sole rispetto alle stelle fisse cambia nel tempo, la durata dei due giorni non è uguale; in particolare, dato che il moto apparente del Sole nel cielo avviene in direzione contraria al senso di rotazione della volta celeste, il tempo tra due successivi passaggi al meridiano del Sole è un po' più lungo del giorno siderale: quando oggi passa al meridiano il punto che il Sole occupava ieri (cioè è trascorso un giorno siderale dal mezzogiorno di ieri), il Sole nel frattempo si è spostato un po' (circa un grado) verso est, e quindi la volta celeste deve ruotare ancora un po' perché sia nuovamente mezzogiorno. In altre parole, il giorno solare dura un po' di più del giorno siderale: per la precisione, un giorno solare dura $24^h 3^m 56^s.6$ di tempo siderale o, equivalentemente, un giorno siderale dura $23^h 56^m 4^s.1$ di tempo solare. Gli astronomi sono in grado di passare agevolmente da una scala di tempo all'altra, usando formule che ovviamente devono tener conto del moto del Sole sulla volta celeste.

Il tempo siderale è molto comodo in astronomia perché indica direttamente come è ruotata la volta celeste; se conosco l'ascensione retta (vedi nota 11) di un corpo celeste, il tempo siderale mi dice immediatamente qual è la sua posizione rispetto al meridiano, cioè in quale direzione del cielo devo puntare il telescopio per osservarlo; analogamente, l'osservazione del transito di una stella al meridiano indica il tempo siderale. Per questo motivo le cupole degli osservatori astronomici erano sem-

tuato utilizzando uno strumento apposito, il *cronografo registratore* (figura 4). Era costituito da un meccanismo di trascinamento che faceva scorrere a velocità costante una striscia di carta su cui potevano scrivere due o più penne, comandate da elettromagneti. Una delle penne era comandata dal pendolo che, tramite un contatto elettrico, tracciava sulla carta una tacca a ogni secondo; la seconda penna era azionata da un pulsante che veniva premuto dall'osservatore nell'istante in cui vedeva la stella passare al meridiano: il confronto tra la posizione delle due serie di tacche sulla registrazione permetteva di stimare il ritardo dell'orologio. Di fatto osservazioni di questo tipo erano parte integrante dell'attività quotidiana degli osservatori, che in tal modo potevano mantenere, attraverso i propri orologi, una scala di tempo facilmente accessibile in qualsiasi momento per le proprie attività osservative, ma anche per la distribuzione dei segnali orari alla popolazione. La determinazione del tempo e la sua distribuzione alla società civile è stata fin dagli inizi uno degli scopi istituzionali di tutti gli osservatori astronomici in era moderna, e Brera non fa eccezione; anzi, si può dire che esso sia stato, tra tutti gli osservatori italiani, quello che ha svolto in modo più continuativo e sistematico questa funzione, fino alla fine degli anni '60 del Novecento.

Gli orologi dell'Osservatorio di Brera

Come tutti gli osservatori astronomici, anche l'Osservatorio di Brera ha posseduto e utilizzato, nel corso della propria attività, parecchi orologi di diverso tipo: soprattutto orologi a pendolo, almeno fino al primo terzo del XX secolo, e in seguito anche orologi al quarzo e atomici. Molti di questi orologi sono andati perduti nel normale processo di avvicendamento della strumentazione, ma altri sono stati conservati grazie alla sensibilità di alcune persone verso le testimonianze della storia passata. Ne elenchiamo nel seguito alcuni, che in qualche modo sono esemplificativi di una parte importante del lavoro degli astronomi negli ultimi due secoli e mezzo.

L'orologio di Boscovich

Negli anni successivi alla realizzazione della Specola di Brera (1765), Boscovich continuò a seguirne lo sviluppo come consulente esterno, interessandosi ai problemi relativi alla scelta e al funzionamento della strumentazione. Ne sono testimonianza diverse lettere che egli scambia con il padre Lagrange, che in quel periodo agiva come direttore dell'osservatorio:¹⁶ alcune di queste trattano anche di problemi legati al funzionamento dei pendoli. Tra i primi strumenti in dotazione alla specola c'erano un pendolo di Lepaute¹⁷ con asta compensata termicamente secondo il metodo di John

pre dotate di orologi che segnavano il tempo siderale, la cui accuratezza poteva essere verificata per mezzo di osservazioni agli strumenti dei passaggi; gli orologi a tempo siderale venivano poi usati per sincronizzare quelli a tempo solare. In teoria anche un orologio a tempo solare potrebbe essere sincronizzato direttamente, osservando il transito del Sole al meridiano, ma questo tipo di misura non era molto comune perché aveva una precisione inferiore a causa del grande diametro del disco del Sole (circa mezzo grado).

16 Le 37 lettere rimaste, inviate da Lagrange a Boscovich tra il 1764 e il 1770, sono in corso di pubblicazione nel volume XIV/2 dei Carteggi dell'Edizione Nazionale delle Opere e della Corrispondenza di Ruggiero Giuseppe Boscovich (ENB); le corrispondenti lettere di Boscovich a Lagrange sono invece perdute.

17 Jean-André Lepaute (1720-1789) fu uno dei più famosi orologiai del XVIII secolo, e fornitore della casa reale di Francia.

Harrison (*gridiron*)¹⁸ e un *valet*¹⁹; nessuno di questi strumenti ci è giunto, ma ne abbiamo notizia da documenti dell’epoca.²⁰ A partire dal 1768 Boscovich lavora al progetto di un suo “nuovo” pendolo, che descrive dettagliatamente in un manoscritto inviato nel 1769 al suo corrispondente Giovan Stefano Conti,²¹ e che verrà poi pubblicato con poche correzioni l’anno successivo.²² L’orologio di Boscovich utilizza alcune soluzioni che erano già note, in particolare una variante del metodo di compensazione termica di Ellicott, e la regolazione fine del periodo di oscillazione per mezzo di un piccolo peso aggiuntivo, scorrevole lungo l’asta che regge la lente²³. Il metodo di compensazione termica del pendolo di Boscovich usa due barre di metalli diversi che non sono collegate tra di loro secondo una geometria prefissata come nel *gridiron*, ma che agiscono per mezzo di una leva regolabile (figura 5): ciò permette di calibrare l’entità della compensazione per tener conto di effetti non facilmente predicibili in fase di progettazione dell’orologio, come la variabilità dei coefficienti di dilatazione termica in campioni diversi dello stesso metallo. Questo metodo di compensazione è stato descritto per la prima volta da John Ellicott in un articolo apparso nel 1752 sulle *Philosophical Transactions of the Royal Society*, ed è verosimile che Boscovich ne sia venuto a conoscenza durante il suo soggiorno londinese del 1760, quando frequentò la Royal Society e ne venne eletto membro. Questo sistema di compensazione è descritto anche in due famosi trattati di orologeria dell’epoca, quello di Lepaute (1755) e quello di Berthoud

18 Poiché il periodo di oscillazione di un pendolo dipende dalla lunghezza dell’asta (per la precisione, è proporzionale alla radice quadrata della lunghezza dell’asta), le variazioni di temperatura a cui il pendolo è sottoposto, nell’avvicinarsi tra giorno e notte e tra estate e inverno, generano, a causa della dilatazione termica del materiale di cui è composta l’asta, variazioni nel passo dell’orologio che possono arrivare a parecchi secondi al giorno. Per ovviare a questo inconveniente gli orologiai hanno inventato, a partire dalla prima metà del XVIII secolo, metodi diversi per compensare questi effetti. Uno dei sistemi più utilizzati è quello ideato da John Harrison (l’inventore del cronometro marino, vedi nota 8), che consiste nel costruire l’asta del pendolo assemblando sbarre di metalli differenti, che abbiano diversi coefficienti di dilatazione termica, secondo uno schema a serpentina, in modo che la dilatazione di una sbarra in una direzione sia esattamente compensata dalla dilatazione delle altre in direzione opposta, in modo che la lunghezza totale dell’asta rimanga comunque costante. Le aste compensate in questo modo sono solitamente indicate, a causa del loro aspetto, con il nome di *gridiron* (lett. “graticola”).

19 Il *valet* (lett. “valletto, servitore”) o *compteur* era un pendolo ausiliario che batteva i secondi, ad esempio facendo suonare un piccolo campanello. Per mezzo di esso l’astronomo era in grado, contando a mente i rintocchi, di conoscere esattamente il tempo senza togliere gli occhi dall’oculare del telescopio; questo procedimento veniva usato per determinare gli istanti dei passaggi al meridiano prima che fosse introdotto il cronografo registratore (i migliori osservatori erano in grado di interpolare i battiti con una precisione di 0.2-0.3 secondi). Il *valet* non era un orologio di grande accuratezza (solitamente non aveva un’asta compensata) e veniva sincronizzato con il pendolo principale della specola all’inizio di ogni sessione osservativa.

20 Ad esempio: in una lettera del 24 luglio 1765, in cui Lagrange informa Boscovich dell’arrivo dei due orologi a Brera; nella descrizione della dotazione dell’Osservatorio di Brera contenuta famosa “Risposta” di Boscovich al Principe Kaunitz (si veda Proverbio, 1987); e in un articolo di Barnaba Oriani pubblicato sulle *Ephemerides Astronomicae* dell’Osservatorio di Brera (Oriani, 1779).

21 Lettera di Boscovich a G. S. Conti del 20-21 febbraio 1769 (*ENB*, Carteggi, Vol. V/2, p. 18 ss.).

22 La descrizione del pendolo di Boscovich è stampata come appendice a un’opera di Giuseppe Toaldo (Toaldo, 1770).

23 In orologeria si indica con il nome di *lente* la massa oscillante che costituisce la parte terminale del pendolo; il termine deriva dal fatto che, al fine di ridurre l’attrito con l’aria, la massa è spesso sagomata in forma lenticolare.

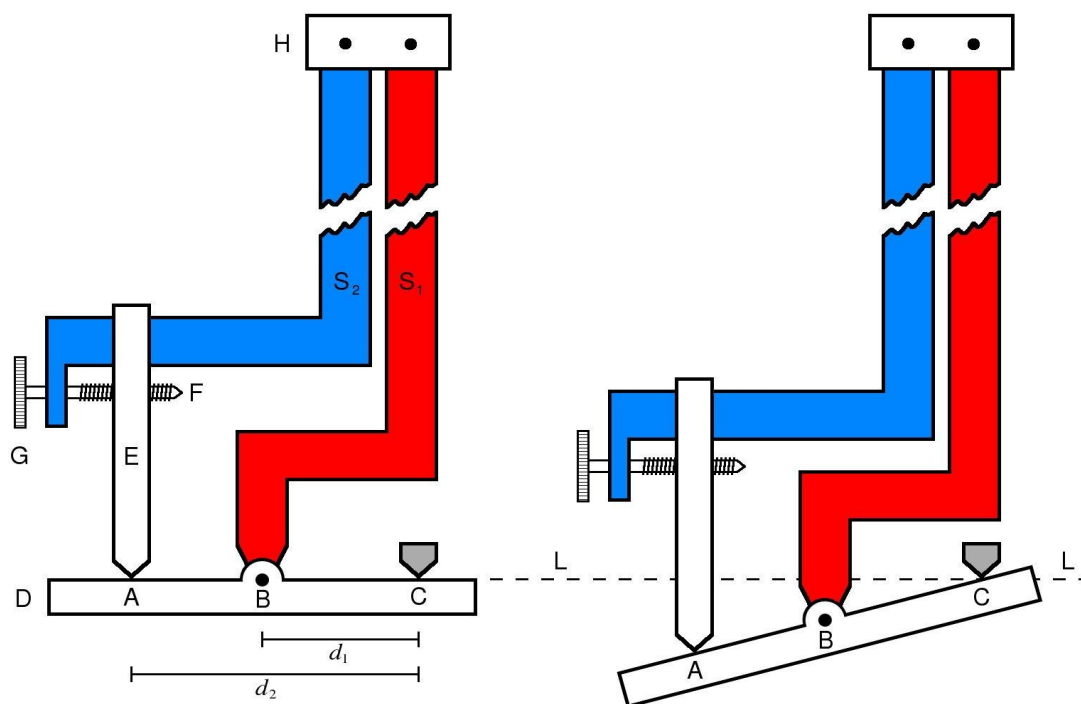


Figura 5: Schema di principio del metodo di compensazione termica del pendolo di Boscovich. L’asta del pendolo è costituita da due sbarre di metalli diversi, con S_2 che ha un coefficiente di dilatazione termica superiore a S_1 . All’estremità inferiore della sbarra S_1 è fissato il fulcro B di una leva di primo genere (sbarretta D), mentre la corrispondente estremità della sbarra S_2 (A) agisce come forza motrice; la forza resistente (applicata nel punto C) è costituita dal peso della lente. Indicando con l_1 ed l_2 le lunghezze delle due sbarre S_1 ed S_2 e con γ_1 e γ_2 i corrispondenti coefficienti di dilatazione termica, la condizione di compensazione (tenendo conto solo della dilatazione delle sbarre S_1 ed S_2) è data da $d_1/d_2 = \gamma_1 l_1 / \gamma_2 l_2$. Un vantaggio di questo meccanismo di compensazione rispetto al *gridiron* è che, variando la lunghezza d_2 per mezzo della vite GF, è possibile variare l’entità dell’effetto per adattarlo ai valori dei coefficienti di dilatazione dei metalli usati (che potrebbero non essere noti con precisione a priori) e per tener conto delle dilatazione di altre parti del pendolo (sospensione, lente).

(1763),²⁴ ed è possibile che Boscovich conoscesse almeno il primo, dato che l’Osservatorio di Brera aveva già acquistato un orologio di Lepaute, o almeno che l’abbia conosciuto durante la sua permanenza a Parigi nel 1769, quando incontrò Lepaute per sottoporgli il progetto del proprio orologio. Il meccanismo di regolazione fine della frequenza è invece tratto dallo *Horologium oscillatorium* di Huygens;²⁵ rispetto a Huygens però Boscovich introduce un miglioramento, che dimostra la sua dimestichezza con la pratica osservativa e con le esigenze degli astronomi: il piccolo peso scorrevole non è bloccato nella sua posizione con un morsetto a vite (come in Huygens), ma è sospeso a

24 Nessuno di questi due autori, come del resto neppure Boscovich nel suo articolo del 1770, citano Ellicott.

25 All’astronomo danese Christiaan Huygens (1629-1695) si deve la realizzazione e la commercializzazione del primo modello funzionante di orologio a pendolo (nel 1656); nel 1673 egli pubblicò lo *Horologium Oscillatorium: sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae*, un trattato fondamentale nella storia dell’orologeria, in cui sono descritti i principi fisici su cui si basa il funzionamento del nuovo strumento.

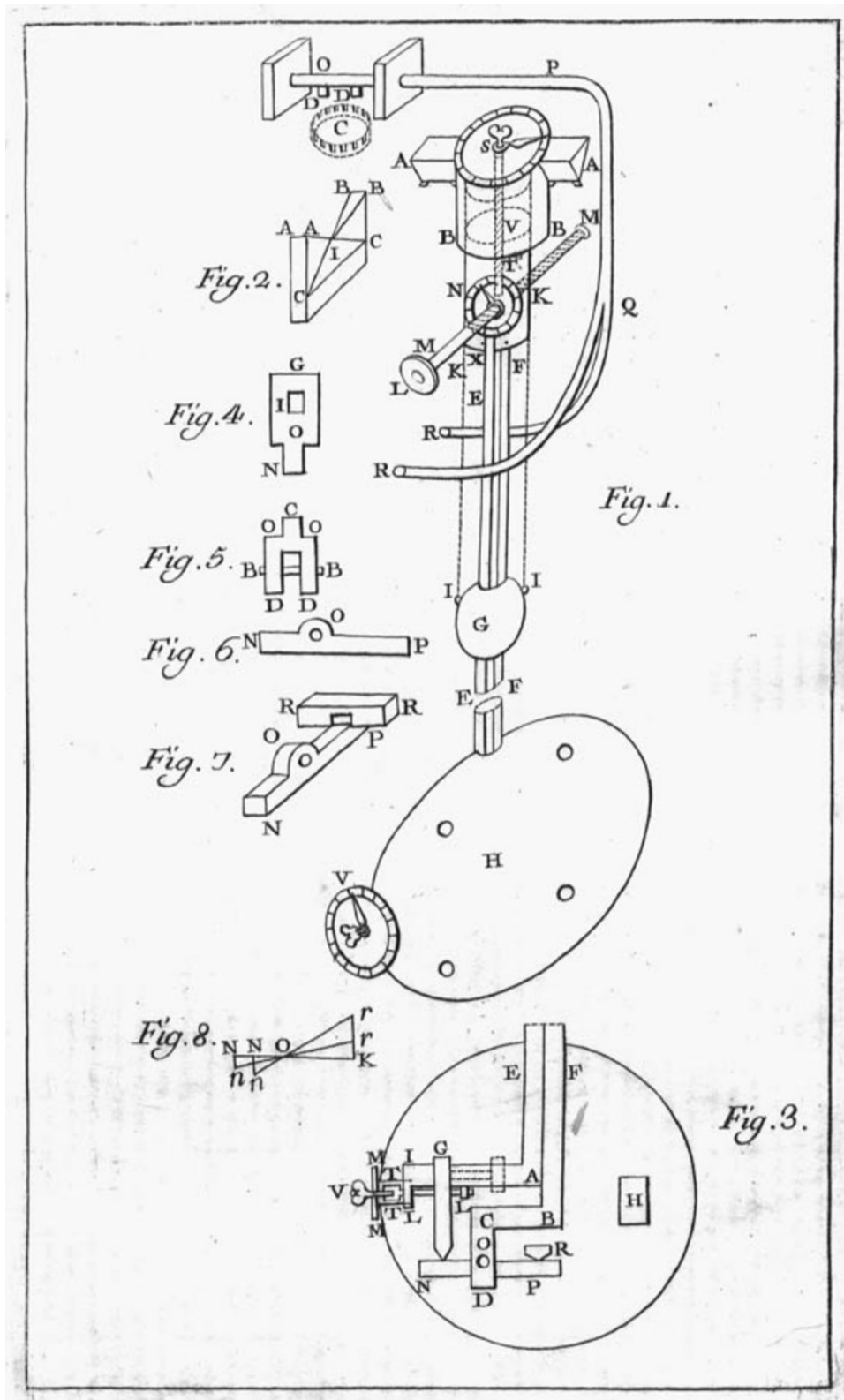


Figura 6: La figura con cui Boscovich illustra le caratteristiche principali del proprio pendolo nel suo articolo del 1770.

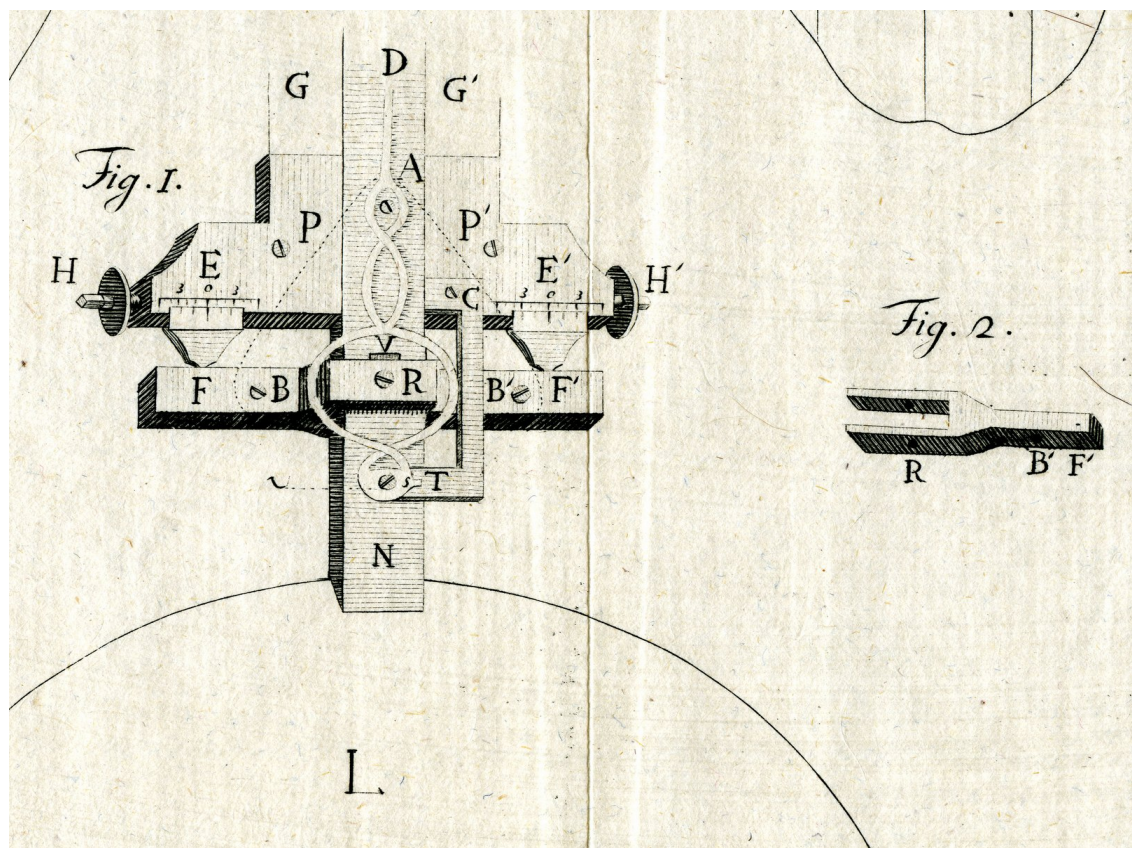


Figura 7: Meccanismo di compensazione termica del pendolo di Megele (da Oriani, 1779). L'asta del pendolo è formata da una sbarra centrale d'acciaio (D) e da due sbarre laterali di ottone (G e G'); le due leve a forma di forcilla (FBR ed RB'F') hanno i fulcri (B e B') fissati a due perni che sono inseriti in una placca metallica (non rappresentata in figura) solidale con la sbarra d'acciaio D. Alla parte inferiore delle due sbarre d'ottone (G e G') sono fissate due sagome metalliche a forma di L (PE e P'E') dotate di due punte che premono sulla parte esterna (F ed F') delle due leve. La parte interna (R) delle due leve ha un perno che passa attraverso il blocchetto N che sostiene la lente del pendolo L; si noti che il blocchetto N è posto sotto la sbarra D ma non è fissato ad essa (si può muovere in senso verticale indipendentemente da D). Il meccanismo funziona in questo modo: se la temperatura sale, la sbarra d'acciaio D si allunga e fa scendere i perni delle leve B e B'; tuttavia le sbarre d'ottone G e G' si allungano di più, premono sui punti F ed F' e li fanno scendere più che i punti B e B'; le due leve ruotano attorno ai propri fulcri, facendo salire il punto R di sospensione della lente rispetto a B e B'. Se le lunghezze dei bracci delle leve sono regolate correttamente (attraverso le viti senza fine HE ed H'E') i due spostamenti si compensano e la distanza del punto R (cioè della lente) dal punto di sospensione dell'asta rimane invariata.

una coppia di sottili fili metallici, le cui estremità superiori sono avvolte su un piccolo albero inserito nella parte superiore dell'asta. In questo modo, ruotando l'albero per mezzo di una manopola, è possibile far scendere o salire il peso senza dover arrestare il movimento del pendolo e quindi interrompere la continuità del tempo segnato dall'orologio; l'entità dello spostamento è indicata con precisione da un indice, fissato alla manopola, lungo una scala graduata (figura 6).²⁶ Anche il meccanismo grossolano di regolazione della frequenza può essere azionato senza fermare il pendolo, in quando

²⁶ Secondo la stima di Boscovich, la rotazione della manopola di una tacca (corrispondente a un centesimo di angolo giro) introduce una variazione nel passo del pendolo di un cinquantesimo di secondo al giorno.



Figura 8: La parte terminale dell'asta, la lente e il meccanismo di compensazione termica del primo pendolo di Megele.

non consiste in una vite posta sotto la lente oscillante (come nella maggior parte dei pendoli) ma in un pistone che scorre all'interno di un cilindro cavo, posto sulla parte superiore dell'asta, in mezzo ai due coltelli di sospensione; la posizione del pistone è regolata da una vite comandata da una manopola, anch'essa dotata di scala graduata.

Dopo due tentativi falliti presso artigiani di Lucca e di Vienna, Boscovich riuscì, nell'estate del 1769, a far realizzare il suo pendolo da Lepaute a Parigi, dove si era recato per motivi di salute. Boscovich presentò l'orologio all'Accademia delle Scienze di Parigi, che lo fece esaminare da una commissione che espresse generale apprezzamento per lo strumento. L'orologio di Boscovich fu trasportato a Milano, dove rimase in uso presso l'Osservatorio di Brera fino al 1773: in quell'anno Boscovich, dovendo lasciare Milano per trasferirsi a Parigi, cedette il pendolo all'Osservatorio Astronomico di Padova, dove fu utilizzato fino al 1825.²⁷

Gli orologi di Giuseppe Megele

Joseph (Giuseppe) Megele (1740-1816), gesuita laico, si era formato come *meccanico* (o *macchinista*) all'Osservatorio Astronomico di Vienna sotto la direzione del Padre Liesganig,²⁸ ma nel 1772 o 1773 era stato trasferito a Brera. Negli osservatori astronomici il macchinista aveva il compito di tenere in efficienza (pulitura, verniciatura, riparazione) gli strumenti, e di costruirne di nuovi quando gli era richiesto. Il suo stipendio era alto, ma includeva anche i costi per l'acquisto degli attrezzi della sua officina e le

27 In quell'anno fu ceduto a un macchinista dell'Osservatorio di Padova, e da allora se ne sono perse le tracce. Per altre informazioni sul pendolo di Boscovich si veda Carpino (2016).

28 Joseph Liesganig (1719-1799), gesuita, fu un matematico, astronomo e teologo austriaco; dal 1756 al 1773 fu direttore dell'Osservatorio Astronomico di Vienna.

paghe degli assistenti; tra i suoi compiti c’era anche quello di formare un allievo che potesse prendere il suo posto quando fosse andato in pensione. In compenso gli era permesso, al di fuori delle ore che doveva dedicare all’osservatorio, di svolgere attività in proprio. Salvo una breve interruzione, Megele lavorò a Brera fino al 1816, anno del suo pensionamento, ed è l’artefice di molta della strumentazione utilizzata nell’Osservatorio in questo periodo,²⁹ e in particolare di due orologi a pendolo.

Anche il primo orologio di Megele utilizzava il sistema di compensazione di Elliott: il meccanismo è descritto in dettaglio in un articolo, pubblicato sulle *Ephemerides Mediolanenses*³⁰ per l’anno 1781, in cui Barnaba Oriani riferisce di una serie di esperimenti sull’effetto delle variazioni di temperatura sull’andamento dei pendoli (figura 7). Oriani è consapevole del fatto che il meccanismo è stato già descritto nell’*Essai* di Berthoud, ma sembra credere, erroneamente, che l’inventore ne sia Boscovich; forse ciò potrebbe significare che Megele abbia tratto dal pendolo di Boscovich (che sicuramente doveva conoscere) l’idea di usare questo tipo di compensazione. Di questo pendolo rimane solo l’asta e la lente, con il suo meccanismo di compensazione (figura 8); tutto il resto è andato perduto.

Si è invece conservato fino a oggi il secondo orologio a pendolo eseguito da Megele. Fu costruito nel 1798 come copia di un orologio di Arnold, e probabilmente per questo motivo non reca la firma del costruttore. È dotato di una compensazione termica a *gridiron*, con tre sbarre d’acciaio e due di zinco; è montato in una cassa di legno alta 180 cm, dotata di uno sportello anteriore di vetro. Il quadrante rotondo, del diametro di 26 cm, ha una scala principale divisa in 60 minuti; nella sua metà superiore ha inscritto un quadrante più piccolo con l’indicazione dei secondi, mentre le ore sono segnate su un disco rotante posto dietro il quadrante, di cui è visibile una parte attraverso una finestra a forma di arco posta nella parte inferiore.³¹ Il pendolo di Megele è stato molto apprezzato dagli astronomi di Brera, che per lungo tempo l’hanno considerato come uno degli orologi più precisi dell’Osservatorio, secondo forse solo al pendolo di Arnold descritto più sotto. Fu trasferito nella sede di Merate dell’Osservatorio subito dopo la sua fondazione (1925), e lì utilizzato nella cupola dello strumento dei passaggi Bamberg. L’orologio è stato restaurato nel 1997 ed è attualmente esposto nella galleria del Museo Astronomico di Brera (figura 9).³²

29 Gli strumenti prodotti da Megele che sono giunti fino a noi (oltre all’orologio a pendolo) sono: due telescopi rifrattori, che montano obiettivi acromatici di John Dollond; uno strumento dei passaggi; un quadrante portatile e tre aste per misure geodetiche che sono state utilizzate nella campagna di triangolazione eseguita per la produzione della Carta del Milanese e del Mantovano del 1796. Probabilmente è da attribuire a Megele anche la costruzione originaria di una macchina parallattica, la cui iscrizione “Carlo Grindel in Milano” potrebbe riferirsi a una modifica successiva. Per altre notizie su Megele si veda Broglia e Mussio (2015).

30 Le *Ephemerides Astronomicae ad meridianum Mediolanensem* erano l’annuario ufficiale della Specola di Brera. La pubblicazione era divisa in due parti: la prima conteneva dati e tavole utili per le osservazioni astronomiche (posizione del Sole, della Luna e dei pianeti, eclissi, congiunzioni ecc.); la seconda raccoglieva articoli e resoconti sull’attività scientifica dell’Osservatorio. Le *Ephemerides* furono pubblicate dal 1774 al 1874.

31 Questa disposizione “spezzata” del quadrante è spesso utilizzata nella costruzione degli orologi cosiddetti *regolatori* (cioè orologi di grande precisione dedicati a scopi astronomici o scientifici); infatti la disposizione in cui gli alberi delle lancette sono coassiali al centro del quadrante, che rende più agevole la lettura ed è più comune negli orologi da salotto, richiede un maggior numero di ingranaggi e quindi aumenta gli attriti interni del meccanismo, diminuendone la precisione.

32 Le informazioni storiche su questo orologio, come sugli strumenti successivi, sono ricavate dal cata-



Figura 9: Due degli orologi a pendolo esposti nella galleria del Museo Astronomico di Brera: il pendolo di Megele (a sinistra) e il pendolo Riefler.

logo redatto da Miotto, Tagliaferri e Tucci (1989) e dal suo successivo aggiornamento contenuto nel libro *I cieli di Brera* (2000).

L'orologio di Arnold

L'Osservatorio di Brera ha posseduto anche un orologio a pendolo di Arnold, che ha un'importanza particolare anche da un punto di vista storico perché è stato un dono personale di Napoleone Bonaparte agli astronomi della Specola. La storia dei rapporti tra Napoleone e gli astronomi di Brera è un argomento che ha un certo interesse anche di per sé. Dopo essere giunto in Italia come un giovane generale e aver stupito l'Europa per la rapidità con cui aveva sconfitto gli eserciti del Regno di Sardegna e dell'Impero Austriaco, nel maggio 1796 Napoleone aveva occupato Milano, dove aveva voluto incontrare i personaggi più importanti della politica e della cultura locale, cercando di convincerli a rinnegare la propria fedeltà all'Austria e a dare il proprio appoggio al nuovo governo. Tra questi aveva incontrato anche Barnaba Oriani (1752-1832), personalità di spicco dell'Osservatorio di Brera e astronomo di fama internazionale, il quale però aveva reagito piuttosto duramente alle *avances* del futuro Imperatore dei Francesi. Nonostante ciò (o forse proprio per la sincerità e determinazione dimostrate da Oriani) Napoleone aveva finito per apprezzare l'astronomo e gli aveva conferito diverse cariche onorifiche e responsabilità civili e scientifiche.³³ Nel 1797 Napoleone aveva voluto donare alla Specola un orologio a pendolo del costruttore inglese John Arnold³⁴, uno strumento prestigioso e di grande precisione; l'evento viene così ricordato da Lalande³⁵:

[1797] *Le général Bonaparte [...] a voulu donner à l'observatoire de Milan une pendule meilleure que celles qui s'y trouvaient. On a écrit à Londres pour avoir une pendule d'Arnold, dont tous les pivots tournent sur des rubis, où les plans de l'ancre sont en diamans, le compensateur de fer et de zinc: elle a coûté 110 guinées ou 2800 francs, et c'est un véritable chef d'oeuvre; elle a été placée en 1802.*³⁶

Il pendolo di Arnold è rimasto per più di un secolo l'orologio principale dell'Osservatorio. Ancora alla fine dell'Ottocento e nei primi due decenni del Novecento esso veniva utilizzato per le applicazioni che richiedevano maggior precisione, come le campagne di longitudine; fu sostituito in queste funzioni solo quando l'Osservatorio acquistò, a partire dal 1921, i più moderni pendoli Riefler. Anche il pendolo di Arnold è stato trasferito a Merate per essere usato in associazione agli strumenti dei passaggi; la sua presenza in Osservatorio è documentata fino agli anni '30 del XX secolo, ma in seguito se ne sono perse le tracce, e non sappiamo che fine abbia fatto; forse è andato disperso nel corso delle vicissitudini che l'Osservatorio ha attraversato durante e dopo la Seconda Guerra Mondiale. Non esiste negli archivi dell'Osservatorio alcuna fotografia

33 Per una narrazione più estesa dei rapporti tra Napoleone e gli astronomi di Brera vedi la scheda MusAB: [I rapporti di Napoleone Bonaparte con l'Osservatorio Astronomico di Brera](#).

34 John Arnold (1736-1799) è stato un importante orologiaio inglese, il primo a produrre orologi da polso di precisione; era molto apprezzato anche per i suoi cronometri marini.

35 Joseph-Jérôme Lefrançois de Lalande (1732-1807) è stato uno dei più importanti astronomi francesi della fine del Settecento; dal 1795 fu direttore dell'Osservatorio Astronomico di Parigi.

36 [1797] *Il generale Bonaparte [...] ha voluto donare all'osservatorio di Milano un orologio a pendolo migliore di quelli che già vi si trovavano. Ha fatto scrivere a Londra per avere un orologio a pendolo di Arnold, con tutti i perni per i movimenti in rubino, con le facce dell'ancora [dello scappamento] in diamante, e il meccanismo di compensazione in ferro e zinco: è costato 110 ghinee, cioè 2800 franchi, ed è un vero capolavoro; è stato installato nel 1802 (Lalande, 1803, p. 792-3).*



Figura 10: Ritratto di Barnaba Oriani fatto dal pittore Pietro Narducci (1793-1880); olio su tela, 1830. L'astronomo è ritratto nel suo studio, circondato da strumenti astronomici: uno strumento dei passaggi (a destra), un teodolite e l'orologio a pendolo di Arnold, dono di Napoleone (a sinistra).



Figura 11: Il pendolo Robin, attualmente conservato in uno dei locali della sede di Merate dell'Osservatorio.

del pendolo di Arnold; l'unica sua rappresentazione conosciuta è quella che compare in un ritratto di Barnaba Oriani del 1830 (figura 10).

L'orologio Robin

Un altro orologio legato alle vicende della campagna di Napoleone in Italia è un pendolo del costruttore Robin³⁷, uno strumento di raffinata fattura, come è comune alla produzione francese di questo periodo (figura 11). Il pendolo è stato costruito nel 1784 (come risulta da una iscrizione sullo strumento) e originariamente faceva parte della dotazione dell'osservatorio di Antonio Cagnoli (1743-1816), un diplomatico veronese che si era appassionato all'astronomia, raggiungendo in questo campo risultati di altissimo livello, tanto da essere in corrispondenza con alcuni tra i massimi astronomi dell'epoca e da essere eletto (nel 1796) presidente dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Nell'aprile del 1797 Verona era stata il teatro di una delle più gravi rivolte contro l'occupazione napoleonica, e le truppe francesi erano riuscite ad avere la meglio sugli insorti solo dopo una settimana di assedio e di cannoneggiamenti. Nonostante Napoleone avesse raccomandato al suo generale Augereau di rispettare "la persona e la proprietà" del Cagnoli, l'osservatorio fu colpito da un proiettile e seriamente danneggiato.³⁸ A titolo di risarcimento il governo francese acquistò tutta la strumentazione, destinando quella ancora funzionante ad altri istituti. Fu così che il pendolo di Robin fu assegnato all'Osservatorio di Brera, assieme a una macchina parallattica (telescopio con montatura equatoriale) di Mégnié.

L'orologio ha un'asta compensata a *gridiron* composta da nove sbarre di due metalli alternati, dotata nella sua parte inferiore di una lancetta che misura lo scorrimento relativo delle sbarre (cioè l'entità della compensazione); è alloggiato in una cassa di legno alta 152 cm, con lo sportello anteriore e le due fiancate in vetro. Il movimento è dotato di un *remontoir*³⁹ a molla della durata di due minuti; la carica avviene per mezzo di una chiave che si inserisce in codoli che si trovano nella parte superiore del mobile, e che sono normalmente nascosti dietro una modanatura di legno ribaltabile. Il quadrante è di metallo smaltato e di forma rotonda, con un diametro di 23.5 cm; le lancette dei secondi, dei minuti e delle ore sono coassiali, e le tre scale relative sono concentriche. Attualmente l'orologio non è esposto al pubblico, ma conservato in una sala nella sede di Merate.

Gli orologi di Grindel

Carlo Grindel (1779-1854) fu allievo di Giuseppe Megele e suo successore come macchinista dell'Osservatorio a partire dal 1816. Fu attivissimo nella produzione di

37 Robert Robin (1742-1799) è stato un orologiaio francese; è famoso, oltre che per l'invenzione di nuovi meccanismi di scappamento, per i suoi orologi riccamente decorati (con figure in porcellana o bronzo dorato); fu fornitore di Luigi XVI e della regina Maria Antonietta.

38 Anche per questa vicenda vedi la scheda MusAB: [I rapporti di Napoleone Bonaparte con l'Osservatorio Astronomico di Brera](#).

39 Il *remontoir* è un sistema secondario (una piccola molla o un piccolo peso) usato in alcuni orologi di precisione per fornire energia al pendolo. L'idea su cui si basa è che il meccanismo principale di carica (molla o pesi) può avere dimensioni notevoli ed essere composto da diverse parti mobili, e pertanto è soggetti ad attriti che possono deteriorare la precisione del movimento, mentre il *remontoir*, per le sue piccole dimensioni, esercita una forza molto più costante. Il *remontoir* è in grado di fornire energia per un tempo piuttosto limitato (generalmente dell'ordine dei minuti), dopodiché deve essere ricaricato dalla sorgente d'energia principale del meccanismo.



Figura 12: Uno degli orologi a pendolo costruiti da Carlo Grindel per l'Osservatorio di Brera.



Figura 13: Il secondo degli orologi a pendolo di Carlo Grindel (a destra) e il pendolo Riefler per misurazioni gravimetriche (a sinistra). Del contenitore metallico in dotazione al pendolo Riefler rimane solo la parte inferiore; la parte superiore, che consisteva in un altro cilindro metallico dotato di oblò, è mancante e sostituita da una campana di *plexiglas* ai fini dell'esposizione museale.

strumenti sia per l'Osservatorio (sestanti, teodoliti, cannocchiali, strumenti meteorologici e geomagnetici, orologi) sia per altri istituti scientifici e privati fino al 1847, anno in cui, a causa di seri problemi di vista, venne sostituito dal figlio Francesco (1816-1859).

Di Grindel rimangono all'Osservatorio due orologi a pendolo che hanno struttura simile: sono montati in casse di legno divise in tre parti (una base, un alloggiamento centrale per il pendolo e uno superiore per il quadrante e la meccanica), di cui le due superiori sono dotate di finestre di vetro; sono dotati di compensazione a *gridiron* a cinque sbarre (acciaio/zinco); hanno quadranti composti con la struttura tipica del regolatore astronomico (il quadrante principale per i minuti ha iscritti due quadranti più piccoli per i secondi, in alto, e per le ore, in basso). I quadranti differiscono però per forma e materiale: in un caso esso è rotondo, di metallo smaltato di bianco e con le scale e le numerazioni dipinte in inchiostro (figura 12); nell'altro è quadrato, con scale e numerazioni incise direttamente sulla superficie di metallo non verniciato (figura 13). Entrambi gli strumenti recano la firma del costruttore al centro del quadrante, ma non hanno indicazione della data di produzione.

L'orologio di Alberti

Nella galleria del Museo Astronomico di Brera è esposto anche un orologio di tipo inconsueto, costruito (come risulta dall'iscrizione riportata sul quadrante) da Gioachino Alberti nel 1819. L'orologio ha un pendolo ad asta compensata (*gridiron* a cinque sbarre di acciaio/zinco) che è posto *sopra* il quadrante invece che sotto di esso. Lo scappamento è posto nella parte superiore del quadrante ed è formato da una levetta che viene normalmente tenuta in posizione per gravità da un piccolo peso, e che viene spostata ad ogni oscillazione del pendolo da una sbarra che sporge sotto la lente; in questo modo la massa oscillante non ha alcun contatto con lo scappamento per gran parte del suo moto. Un altro vantaggio di questa configurazione è che, per produrre lo spostamento *lineare* necessario per azionare lo scappamento, l'ampiezza *angolare* di oscillazione del pendolo può essere molto inferiore rispetto al caso in cui lo scappamento sia posto appena sotto al punto di sospensione, come avviene di solito, riducendo di molto l'errore circolare:⁴⁰ di fatto il pendolo di Alberti funziona con un'ampiezza di oscillazione di soli $0^{\circ}.17$ (da confrontarsi con gli $1^{\circ}.44$ del pendolo di Megele e gli

40 L'errore circolare nell'orologio a pendolo è dovuto al fatto che il periodo di oscillazione varia a seconda dell'ampiezza del movimento. Questo effetto è piccolo (tanto che Galileo Galilei, che fu il primo a studiare il comportamento del pendolo, non si accorse della sua esistenza) ma aumenta rapidamente con l'ampiezza dell'oscillazione: un pendolo che oscilla con l'ampiezza di 1° ritarda di 1.6 s/d (secondi al giorno) rispetto a un pendolo con movimento di ampiezza infinitesima; il ritardo sale a 6.6 s/d per un'ampiezza di 2° . Nonostante il nome, questo effetto non costituisce di per sé un errore nel tempo segnato dall'orologio: se l'ampiezza di oscillazione del pendolo fosse costante, anche il ritardo sarebbe costante e potrebbe essere facilmente controbilanciato da un opportuno accorciamento dell'asta. Tuttavia, a causa del cambiamento delle condizioni ambientali (temperatura e pressione atmosferica), dello stato di lubrificazione e usura delle parti meccaniche e dell'accumulo di polvere, è inevitabile che ci siano variazioni dell'ampiezza, che causano variazioni nel passo che non sono prevedibili, e che sono tanto maggiori quanto maggiore è l'ampiezza; ad esempio, una variazione del 10% dell'ampiezza di oscillazione attorno a un valore di 1° provoca un cambiamento del passo dell'orologio di 0.33 s/d; la stessa variazione del 10% attorno a 2° produce un cambiamento di 1.32 s/d. Pertanto si tendeva a progettare i pendoli di precisione (e soprattutto i regolatori astronomici) in modo che avessero l'ampiezza di oscillazione più bassa possibile, compatibilmente con il corretto funzionamento del meccanismo di scappamento.



Figura 14: L'esposizione degli orologi a pendolo nella galleria del Museo Astronomico di Brera; da sinistra: Riefler (gravimetrico), Grindel, Alberti, Megele, Riefler.

$1^{\circ}.10$ e $0^{\circ}.78$ dei due pendoli di Grindel precedentemente descritti). A causa di questa disposizione l'orologio ha un'altezza notevole (342 cm) perché il quadrante con il meccanismo, posto circa a metà della cassa, deve lasciare sopra di sé lo spazio per il pendolo, e nella parte inferiore un'altezza sufficiente per la discesa dei pesi (figura 14). La cassa è in legno di noce, ma nella sua parte posteriore ha una lastra di marmo a cui sono fissate la sospensione del pendolo e il quadrante con il meccanismo.

Per questo pendolo (e per un altro simile, con asta da mezzo secondo) Gioachino Alberti fu premiato con una medaglia d'argento nella *Distribuzione de' premi d'industria* del 4 ottobre 1820 dell'Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, con la seguente motivazione:

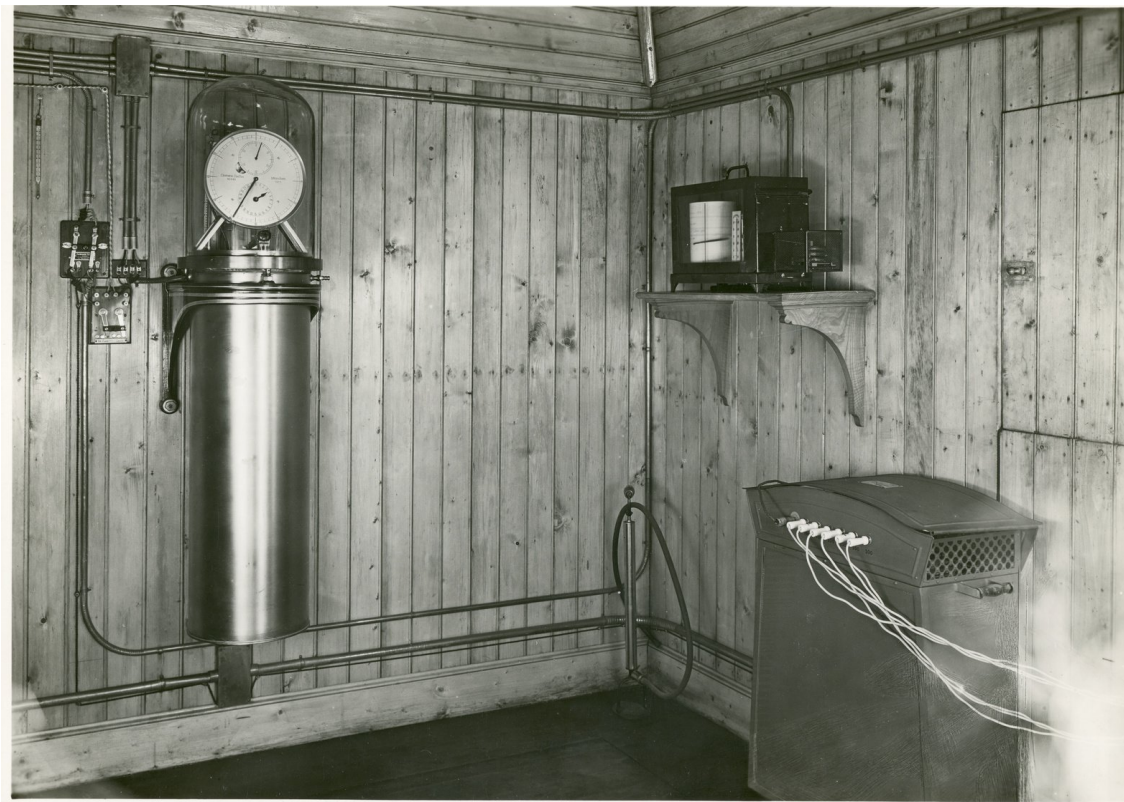


Figura 15: Fotografia d'epoca che mostra un pendolo Riefler (dotato di cilindro metallico a tenuta d'aria) installato nel cupolino di uno strumento dei passaggi della sede di Merate.

Nell'orologio a pendolo a mezzo secondo presentato dal sig. Gioachino Alberti si è potuto riconoscere una novità di pensiero ed un reale vantaggio dal lato principalmente della facilità dell'esecuzione. Egli ha trovato modo di sopprimervi l'ancora o la ruota di scappamento, sostituendovi un pignone ed unito all'asse di questo un martelletto che ad ogni due oscillazioni del pendolo gl'imprime un leggero impulso sufficiente a perpetuarne il movimento.

Il nuovo congegno, oltre la facilità di costruzione, promette una maggiore regolarità nell'andamento, diminuendo gli attriti, togliendo in gran parte gl'inconvenienti prodotti dall'olio, ed evitando le anomalie che provengono dal difetto di verticalità della macchina.

Un secondo orologio ad uso dell'astronomia costruito dal medesimo autore con metodo consimile sarà quanto prima sperimentato nell'I. R. Osservatorio.⁴¹

Gli orologi Riefler

Le innovazioni introdotte da Siegmund Riefler alla fine dell'Ottocento nella costruzione degli orologi a pendolo hanno costituito una vera rivoluzione, che ha portato la precisione degli orologi meccanici al livello dei centesimi di secondo al giorno e ha fat-

⁴¹ *Atti della distribuzione dei premi d'industria fattasi nel dì 4 ottobre 1820 onomastico di Sua Maestà I. R. A. da S. E. il Signor Conte di Strassoldo Presidente dell'I. R. Governo della Lombardia ecc. ecc., Milano, Dall'Imp. Regia Stamperia, 1820.*

to sì che gli orologi di questa ditta diventassero lo standard di fatto nella misura del tempo e fossero adottati come *master clock* nei maggiori osservatori astronomici. Negli orologi Riefler il moto del pendolo è quasi libero, perché l'asta non è collegata rigidamente al punto di sospensione, ma attraverso una lamina flessibile; lo scappamento fornisce l'energia necessaria a controbilanciare le perdite per attrito non direttamente all'asta, ma flettendo leggermente la lamina, che accumula così energia elastica e la rilascia progressivamente al pendolo. Lo scappamento è costituito da due ruote coassiali separate, collegate tra di loro rigidamente, che entrano in contatto con due diverse superfici ricavate da uno spinotto collegato all'ancora, e che svolgono separatamente le funzioni di trattenere il movimento della ruota e di fornire l'impulso al pendolo. La forza motrice è fornita da un piccolo peso (*remontoir*) che spinge verso il basso un braccio orizzontale, e che viene ricaricato ogni 30 secondi dall'impulso fornito da un elettromagnete. L'asta del pendolo è fatta di *invar*, una lega di ferro e cromo che ha un coefficiente di dilatazione termica molto basso (meno di un decimo di quello dell'acciaio); la compensazione termica è ottenuta per mezzo di un corto manicotto di ottone inserito all'estremità inferiore dell'asta e che, penetrando all'interno della lente, ne costituisce il punto di appoggio. Alcuni modelli erano dotati di un contenitore cilindrico a tenuta d'aria, che manteneva l'intero orologio in condizioni di pressione e temperatura costanti.

L'Osservatorio di Brera ha posseduto diversi pendoli Riefler, che erano utilizzati nelle applicazioni in cui era richiesta la massima precisione, e in particolare in associazione agli strumenti dei passaggi, per misurare gli istanti dei transiti stellari (figura 15). Attualmente ne rimangono solo due: uno strumento per la misura del tempo, contenuto in una cassa di metallo e vetro (figura 9), e uno strumento privo di quadrante, contenuto in un cilindro metallico, che serviva per misure gravimetriche⁴² (figura 13).

Il servizio del tempo e il Centro di Cronometria

A partire dall'epoca della sua fondazione, l'Osservatorio di Brera ha svolto il ruolo di determinare, mantenere e distribuire l'ora esatta alla popolazione della Lombardia austriaca prima, del Regno e d'Italia e della Repubblica poi. Questo compito è cessato solo alla fine degli anni '60 del Novecento, in concomitanza con l'introduzione del tempo atomico.⁴³ Così quando nel 1786 il governo austriaco decise, sull'esempio di quanto era stato fatto in altri stati (e in particolare in Francia), il passaggio dall'antica *ora italica*, determinata in base al tramonto del Sole, alla più moderna *ora oltremontana*, basata sul transito del Sole al meridiano (un evento determinabile con una precisione molto maggiore, ma non osservabile senza l'ausilio di strumenti), furono gli astronomi di Brera a costruire, nella prima campata del Duomo di Milano, la meridiana che doveva dare il segnale orario alla cittadinanza.⁴⁴ Nel 1921, quando la sede di

42 Poiché il periodo di oscillazione di un pendolo è inversamente proporzionale alla radice quadrata dell'accelerazione di gravità, una sua misura accurata può servire alla determinazione del campo gravitazionale; ad esempio le variazioni locali del campo gravitazionale dovute a effetti mareali (attrazione del Sole e della Luna) producono variazioni del passo di un pendolo dell'ordine del millisecondo al giorno.

43 Vedi nota 9.

44 La meridiana consiste in un sottile listello di ottone, inserito nel pavimento della chiesa e orientato in direzione nord-sud, e in un foro circolare praticato nel soffitto della navata: gli elementi sono disposti in modo che il sottile pennello di luce solare che filtra dal foro attraversi la linea meridiana

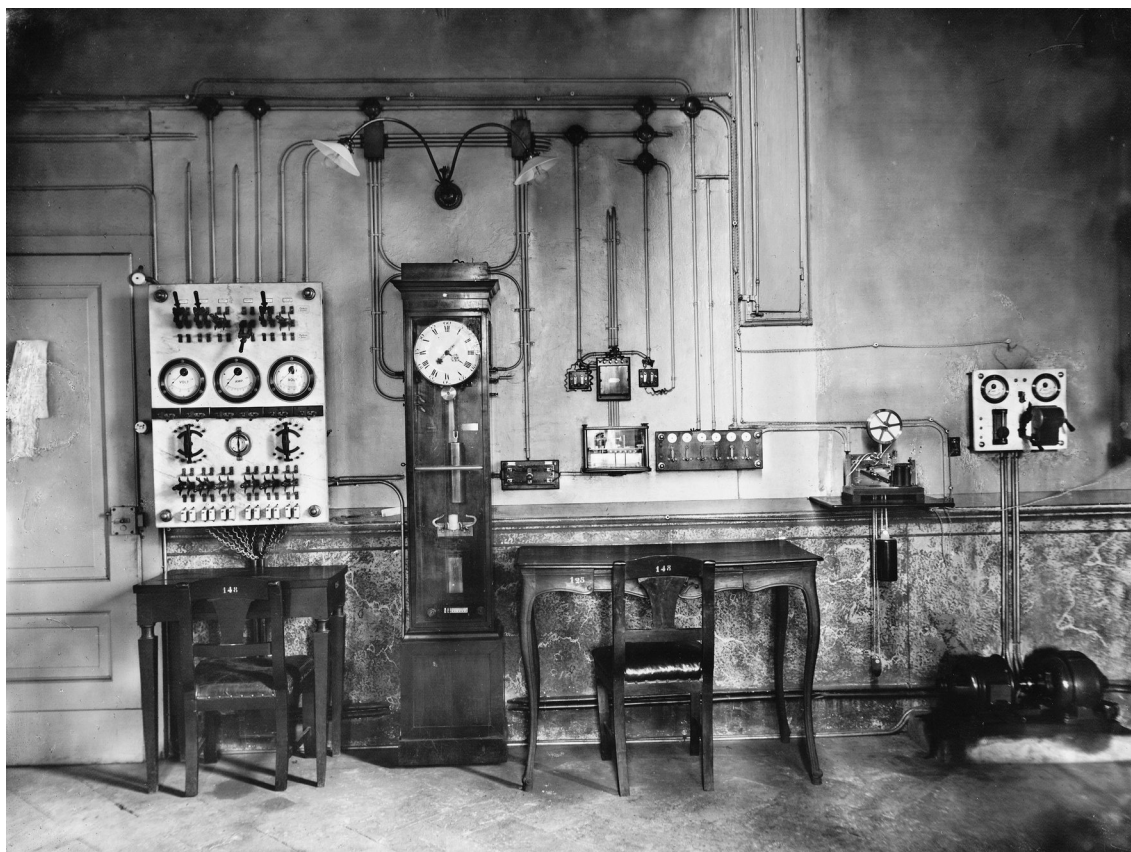


Figura 16: L'orologio a pendolo e il quadro elettrico installati nella sede dell'Osservatorio di Brera nel 1921, che comandavano la sirena del mezzogiorno posta sul palazzo della *Rinascente* in piazza del Duomo a Milano.

piazza del Duomo dei magazzini *La Rinascente* fu riaperta dopo l'incendio che l'aveva distrutta la notte di Natale del 1918, il senatore Borletti (che ne era proprietario dal 1917) volle celebrare l'evento facendo installare sul tetto del palazzo una potente sirena che doveva dare il segnale del mezzogiorno a tutta la città. Borletti strinse un accordo con l'Osservatorio di Brera perché la sirena fosse controllata dagli astronomi, finanziando l'acquisto di un orologio a pendolo e dei quadri di controllo necessari a trasmettere il segnale, attraverso un cavo elettrico, dai locali della Specola a piazza del Duomo (figura 16).⁴⁵ Il sistema rimase in funzione fino a quando la stanza dove l'attrezzatura era installata fu distrutta dai bombardamenti che colpirono il Palazzo di Brera la notte tra il 7 e l'8 agosto 1943. Fino a quella data l'Osservatorio di Brera trasmetteva il segnale orario anche alla sede dell'EIAR (la futura RAI) di corso Sempione, da dove veniva poi diffuso in tutta Italia nel corso delle trasmissioni radiofoniche e televisive.

Le osservazioni astrometriche e il servizio del tempo furono ripristinati nel 1957 quando, in occasione dell'Anno Geofisico Internazionale, la cupola che precedente-

nell'istante esatto del mezzogiorno.

⁴⁵ Per una cronaca di questi avvenimenti si vedano gli articoli comparsi sul *Corriere della Sera* del 1° luglio 1921, 2 marzo e 31 dicembre 1922, e 2 gennaio 1923.



Figura 17: I due orologi al quarzo Ebauches installati all'Osservatorio di Brera per il servizio del tempo dopo il 1957.



Figura 18: Il campione di frequenza al cesio Hewlett Packard 5061A in dotazione al servizio dell'ora dell'Osservatorio di Brera negli anni '60 del Novecento.



Figura 19: Il quadro di controllo della stazione del tempo nella sede di Merate agli inizi degli anni '70. La strumentazione gestiva gli orologi (alloggiati in una stanza termostata separata), i trasmettitori radio che diffondevano i segnali orari, e i ricevitori che permettevano il confronto con i segnali di sincronizzazione provenienti da altri istituti.

mente aveva ospitato il telescopio Merz-Repsold⁴⁶ (fatto installare da Giovanni Virginio Schiaparelli nel 1886 e poi trasferito nella sede di Merate nel 1936) fu ristrutturata per ospitare gli strumenti dei passaggi (compreso un nuovo Askania AP 100). A partire da quell'anno furono installati anche orologi elettronici al quarzo (figura 17) e poi atomici (figura 18). Negli anni '60 fu istituito anche un Centro di Cronometria, un istituto che era ospitato nei locali dell'Osservatorio Astronomico ma ne era indipendente dal punto di vista amministrativo, economico e di personale, e si occupava delle applicazioni legate alla determinazione del tempo in ambito civile e industriale. Alla fine degli anni '60 tutte queste attività furono trasferite per un breve periodo nella sede di Merate (figura 19), prima di essere interrotte definitivamente nel 1972.

46 Il telescopio rifrattore Merz-Repsold, di 49 cm di apertura e 7 m di lunghezza focale, è stato recentemente restaurato, e dal settembre 2017 è esposto nella sezione *Spazio* del Museo Nazionale di Scienza e Tecnologia *Leonardo da Vinci* di Milano, assieme ad altri strumenti provenienti dall'Osservatorio Astronomico di Brera.

Riferimenti bibliografici

- AA. VV. (a cura di Graziella Buccellati), *I cieli di Brera. Astronomia da Tolomeo a Balla* (direzione scientifica Pasquale Tucci), Università degli Studi di Milano (2000)
- Elio Antonello, [*Bonaparte and the astronomers of Brera Observatory*](#), arXiv:1405.6841 (2014)
- Ferdinand Berthoud, [*Essai sur l'Horlogerie; dans lequel on traite de cet Art relativement a l'usage civil, a l'Astronomie et a la Navigation en établissant des Principes confirmés par l'expérience, Tome Second*](#), Paris (1763)
- Pietro Broglia, Luigi Mussio, *Notizie storiche sui "macchinisti" di alcune specole italiane*, in Atti del convegno Memorial "Giovanna Togliatti", Sessione Speciale della 19° Conferenza Nazionale ASITA, Lecco, 30 settembre 2015 (2015)
- Mario Carpino, *Boscovich's "new pendulum clock"*, Atti della Fondazione Giorgio Ronchi, Anno LXXI, n. 3, 273-321 (2016)
- John Ellicott, [*A Description of Two Methods, by which the Irregularity of the Motion of a Clock, arising from the Influence of Heat and Cold upon the Rod of the Pendulum, may be prevented*](#), Phil. Trans. of the Royal Society, 47, 479-494 (1752)
- Christiaan Huygens, [*Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae*](#), Parigi (1673)
- Jérôme de Lalande, [*Bibliographie Astronomique; avec l'histoire de l'astronomie depuis 1781 jusqu'à 1802*](#), Paris, Imprimerie de la Republique (1803)
- Jean-André Lepaute, [*Traité d'Horlogerie contenant tout ce qui est nécessaire pour bien connoitre et pour régler les pendules et les montres*](#), Parigi (1755)
- Enrico Miotto, Guido Tagliaferri, Pasquale Tucci, *La strumentazione nella storia dell'Osservatorio Astronomico di Brera*, Università degli Studi di Milano – Unicopli (1989)
- Barnaba Oriani, *De motu duorum Horologiorum pendulis effectum caloris per se corrigentibus instructorum*, in [*Ephemerides Astronomicae Anni 1781 ad meridianum Mediolanensem supputatae ab Angelo de Cesaris*](#), 221-246 (1779)
- Edoardo Proverbio, *Historic and critical comment on the "Risposta" of R. J. Boscovich to a paragraph in a letter by prince Kaunitz*, Nuncius, anno II, fasc. 2, 171-226 (1987)
- Edoardo Proverbio, *Il progetto di R. G. Boscovich e la realizzazione della Specola di Brera in Milano (1764-1765)*, Quaderni di Storia della Fisica, 1, 173-208 (1997)
- Giovanni Virginio Schiaparelli, Giovanni Celoria, [*Resoconto delle operazioni fatte a Milano nel 1870 in corrispondenza cogli astronomi della Commissione Geodetica Svizzera per determinare la differenza di longitudine dell'Osservatorio di Brera coll'Osservatorio di Neuchatel e colla stazione trigonometrica del Sempione*](#), Pubblicazioni del Reale Osservatorio di Brera in Milano, N.° VIII (1875)
- Giuseppe Toaldo, [*Della vera influenza degli astri, delle stagioni, e mutazioni di tempo. Saggio meteorologico fondato sopra lunghe osservazioni, ed applicato agli usi dell'agricoltura, medicina, nautica, ec. Si aggiungono i Pronostici di Arato tradotti dal Sig. Antonio Luigi Bricci, e la descrizione d'un nuovo pendolo a correzione, del Ch. P. Boscovich*](#), in Padova (1770)