ANNALI DI GEOFISICA, VOL. XXXVI, SUPPL. N. 5-6, 1993

La misura assoluta del campo magnetico terrestre eseguita dagli astronomi di Brera nel 1836, secondo le modalità di Gauss, e suo sviluppo

Maria Basso-Ricci
Istituto di Fisica Generale Applicata, Sezione di Storia della Fisica, Milano, Italia

Nell'opera di Gauss *Intensitas Vis Magneticae Terrestris ad Mensuram Absolutam Revocata* (Gauss, 1833a), considerata una delle più importanti nell'Ottocento, veniva data la prima misura assoluta di una grandezza non meccanica – la forza magnetica terrestre – in termini di lunghezza, massa e tempo. La misura era ottenuta con due esperimenti: nel primo si determinava il prodotto MH, nel secondo il quoziente M/H, dove M indicava il momento magnetico dell'ago e H l'intensità della forza magnetica terrestre orizzontale. Con il primo esperimento l'ago veniva posto in oscillazione, sottoposto all'azione del campo magnetico terrestre; noto il momento di inerzia del sistema K si otteneva MH dalla relazione

$$MH\,t^2 = \pi^2 K$$

Il metodo allora in uso in Europa, nei primi decenni dell'800, era quello di Hansteen: si contava il numero di oscillazioni eseguite dall'ago e si confrontava con il numero delle oscillazioni, fatte in un luogo di riferimento nello stesso intervallo di tempo; si otteneva così l'intensità relativa. Tutti i dati erano quindi legati al valore di 211 oscillazioni compiute in dieci minuti che Humboldt aveva trovato in Perù durante il suo viaggio americano (Cawood, 1977a).

Gauss introdusse un metodo nuovo anche riguardo a questa misurazione, ottenendo il momento di inerzia dell'intero apparato prescindendo dalle caratteristiche geometriche e usando il metodo dei minimi quadrati. Il magnete inizialmente oscillava sotto la sola influenza del campo magnetico terrestre, quindi veniva posta trasversalmente sul magnete un'asta di legno, su cui, simmetricamente rispetto al centro di sospensione, erano posti dei pesi ad una certa distanza; si misurava il periodo di oscillazione in questa nuova disposizione, e quindi si ripeteva la misura, spostando i pesi a varie distanze, ottenendo un sistema

$$\left.\begin{aligned} MHt_0^2 &= \pi^2 K \\ MHt_1^2 &= \pi^2(K + I + 2mr_1^2) \\ MHt_2^2 &= \pi^2(K + I + 2mr_2^2) \\ &\dots \\ MHt_n^2 &= \pi^2(K + I + 2mr_n^2) \end{aligned}\right\} \text{con pesi}$$

dove K era il momento di inerzia dell'apparato senza pesi, I quello dei pesi rispetto ad un asse passante per il loro baricentro e per le punte, più il momento di inerzia dell'asta di legno. Le incognite erano quindi tre, MH, K, I, ottenibili con il metodo dei minimi quadrati.

La novità introdotta da Gauss fu quella di fornire una procedura per la misura del quoziente M/H: essa si basava sull'analisi dell'interazione di due magneti sotto l'azione con-

giunta del campo magnetico terrestre. L'idea era già stata sviluppata da Poisson (Poisson, 1825a); il suo metodo era stato applicato da Moser e Riess, due scienziati tedeschi, nel 1830 (O'Hara, 1984a), ma presentava molte difficoltà sia pratiche che teoriche. Dagli scienziati del XIX secolo venne riconosciuta la priorità del metodo a Poisson, ma anche che Gauss fu il primo a stabilire definitivamente il metodo. Gauss conobbe comunque il lavoro di Poisson, mentre stava scrivendo l'*Intensitas* (Schaefer, 1924-29).

Secondo il metodo di Gauss, si sospendeva al posto del primo ago un secondo ago della stessa forma e dimensione, si misuravano le deviazioni che il primo magnete, il deviatore, creava sul secondo. Il magnete deviatore veniva posto dapprima ad est del magnete deviato, con il polo nord rivolto verso questo e successivamente con il polo sud, nella cosiddetta seconda posizione di Gauss; si ripetevano le misurazioni con il magnete deviatore, posto ora ad ovest di quello sospeso, ottenendo quattro deviazioni, di cui si calcolava la media h. Il tutto veniva ripetuto per due diverse distanze R e R' di circa 4 e 5 m. Calcolato quindi il coefficiente F,

$$F = \frac{R_1^5 \operatorname{tg} h_1 - R_2^5 \operatorname{tg} h_2}{R_1^2 - R_2^2}$$

si otteneva

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2} F + \frac{n+1}{n}$$

dove n era un coefficiente determinato sperimentalmente, che teneva conto della torsione del filo. Noto quindi il quoziente M/H e il prodotto MH, si ricavava la misura assoluta di H. Durante le misurazioni veniva tenuto in conto la variazione sia dell'intensità orizzontale che della declinazione magnetica mediante il confronto con un secondo magnetometro unifilare.

Gli astronomi milanesi furono i primi in Italia ad applicare la metodologia ideata da Gauss (Tagliaferri e Tucci, 1989). Lo spunto iniziale fu dato dalla visita che due allievi dello scienziato tedesco effettuarono in Italia nel 1834. La prima tappa del loro viaggio fu Milano, dove Carlini, direttore dell'Osservatorio, ebbe agio di osservare gli strumenti e di farli copiare dal meccanico dell'osservatorio, Carlo Grindel. I due allievi portarono con sè l'invito a partecipare alle osservazioni magnetiche, proposte dalla *Magnetische Verein*, l'associazione di osservatori fondata da Gauss e Weber che, sull'onda di quella fondata da Humboldt, eseguivano osservazioni della declinazione per la durata di 24 ore, ogni 5′ in 6 giorni prefissati dell'anno. Kreil, primo allievo, fu incaricato dal direttore di eseguire le osservazioni (Basso-Ricci e Tucci, 1994).

L'interesse degli astronomi milanesi riguardo al magnetismo terrestre non era nuovo, ma risaliva già al primo decennio dell'800, come testimoniato dagli strumenti e dagli esperimenti eseguiti. L'Osservatorio possedeva già un inclinometro di Lenoir, il più diffuso in Europa a quell'epoca, costruito a Parigi e simile a quello usato da Humboldt in Perù. Nel 1822 Frisiani, II astronomo, eseguì un esperimento per la misura della declinazione (Frisiani, 1877a), con l'apparato di Prony, un cannocchiale sospeso ad un filo e portante una calamita, ma lo strumento fu abbandonato perché l'osservatore introduceva troppe perturbazioni. Lo strumento era simile a quello usato da Humboldt nel suo osservatorio a Berlino, dopo il viaggio italiano nel 1805-6 (Cawood, 1977a). Per superare le difficoltà incontrate da Frisiani, nel 1831 Carlini progettò di osservare il crocefilo del cannocchiale con un teodolite (Bernardi, 1831a). Un metodo simile fu introdotto successivamente da Airy e Lloyd e fu noto come metodo del collimatore. Airy utilizzava un magnete forato con un crocifilo ad un'estremità e posto nel fuoco di una lente disposta all'altra estremità; Lloyd poneva una scala nel fuoco di una lente ed entrambe sul magnete. Inoltre vari furono gli scienziati che, passando per Milano, compirono le osservazioni magnetiche, Humboldt nel 1805 e Quetelet, direttore dell'osservatorio di Bruxelles, usando la tecnica di Hansteen; ma soltanto con i due allievi di Gauss partì a Milano il piano che diede l'avvio a 87 anni di osservazioni.

La tecnica ideata da Gauss fornì il salto

qualitativo che altri scienziati non avevano fornito e il contributo di Milano è sottolineato non solo dalle lunghe osservazioni della variazione diurna della declinazione magnetica, dal 1836 al 1922, con il magnetometro di Gauss e dalle misure assolute dell'intensità orizzontale, ma anche dalla divulgazione delle modalità di misura dello scienziato tedesco. Nel 1837 uscì il primo supplemento alle Effemeridi di Milano che conteneva sia la traduzione dell'opera di Gauss in italiano (Gauss, 1837a), accompagnata da una spiegazione matematica entrambe ad opera del II Astronomo Paolo Frisiani (Frisiani, 1837a), sia una descrizione dello strumento e delle modalità eseguita da Kreil (Kreil, 1837a). Opere entrambe preziose perché, sebbene la traduzione italiana fosse uscita dopo quella tedesca e quella francese, era l'unica accompagnata da una spiegazione matematica e dalla descrizione dello strumento e delle modalità di misura. La traduzione tedesca conteva soltanto una breve descrizione dello strumento in nota, ad opera dello stesso Gauss, ma senza disegni e il primo volume dei *Resultate*, la rivista specializzata di geomagnetismo, con la completa descrizione dello strumento, i suoi disegni e dell'osservatorio magnetico, uscì soltanto nel 1837 (Gauss-Weber, 1837-43).

Lo strumento, visibile in fig. 3, tav. 1 era stato costruito dal meccanico di Gauss, Meyerstein ed è tuttora conservato all'Osservatorio Astronomico di Brera. Era un magnetometro unifilare, composto da una sbarra di acciaio parallelepipeda, avente le dimensioni di 61 cm, 3.8 cm, 0.9 cm e pesante 1700 g. Il filo di sospensione di seta era lungo 2 m ed era protetto da un tubo di vetro, vedi fig. 7, tav. 1. Si avvolgeva nella parte superiore su una vite di legno che poteva scorrere in direzione est-ovest. Nella parte inferiore si agganciava ad un circolo di torsione, vedi fig. 7, tav. 1, poggiante su una staffa, vedi fig. 9, tav. 1 circolo e filo erano solidali, mentre la staffa di ottone poteva ruotare indipendentemente. La staffa aveva la forma a croce per poter introdurre l'ago in quattro posizioni diverse, in modo da poter allineare l'asse magnetico alla normale dello specchio. Lo specchio piano era posto ad un'estremità della sbarra, vedi fig. 10, tav. 1, secondo un metodo ideato da Poggendorff nel 1826, ma fu applicata da Gauss al magnetometro. Grazie a questo dispositivo si poteva leggere la scala posta sotto il teodolite, ottenendo nel contempo due utili risultati, eliminare l'influenza dell'osservatore e aumentare la sensibilità dello strumento, in questo modo si poteva arrivare ad osservare 25″ con la scala posta a 4.129 m.

È visibile nella staffa un incavo, *l*, fig. 9, tav. 1, per poter introdurre l'asta di legno necessaria per sistemare i pesi per la misura del momento di inerzia del sistema. Lo strumento era composto da un'altra sbarra di acciaio, delle stesse dimensioni della prima per la misura del quoziente M/H, e di una sbarra di zinco necessaria per trovare la posizione di torsione nulla.

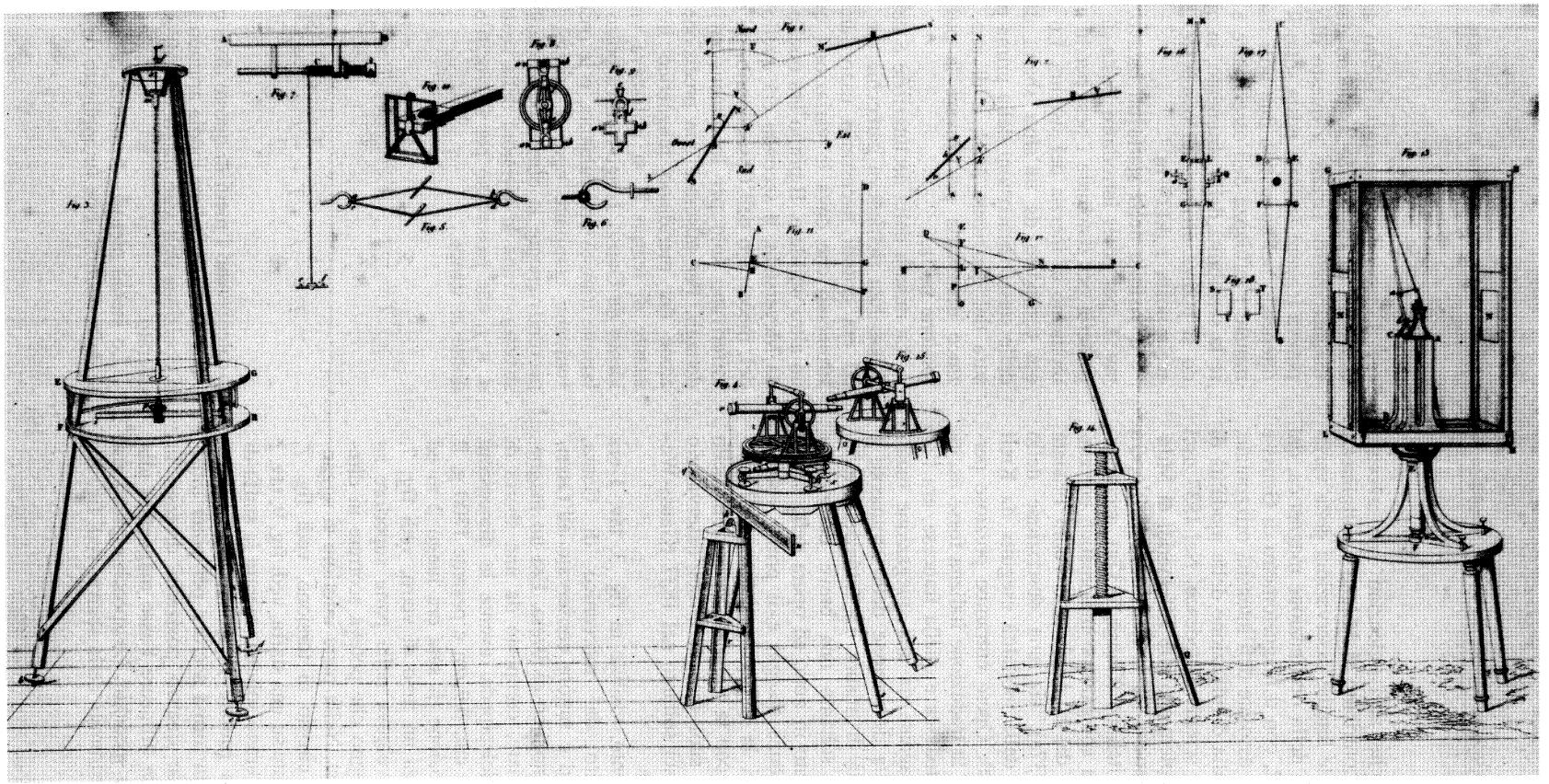
La misura della declinazione e dell'intensità assoluta richiedeva parecchie ore di tempo ed era quindi necessario usare un secondo strumento che dava le variazioni: questo era un altro unifilare. Il primo era quello costruito da Meyerstein, il secondo era quello di Grindel, meccanico dell'Osservatorio, gli strumenti differivano solo per le dimensioni e piccoli dettagli. Per misurare con precisione la posizione del meridiano magnetico in un dato istante di tempo T, si utilizzava un metodo ideato da Gauss. L'ago veniva posto in oscillazione tramite una calamita, e le osservazioni venivano compiute ogni 5 minuti. Era nota preventivamente la durata delle oscillazioni t, si osservavano le divisioni della scala a, b, c, d, e, f, che passavano per il crocifilo del teodolite ai tempi

$$T - \frac{5}{2}t \qquad T - \frac{3}{2}t \qquad T - \frac{1}{2}t$$

$$T + \frac{1}{2}t \qquad T + \frac{3}{2}t \qquad T + \frac{5}{2}t$$

si calcolavano i medi di queste divisioni, prese a due a due, e la loro media aritmetica forniva la posizione dell'asse magnetico all'istante desiderato.

Lo stesso metodo di misura della variazione della declinazione fu applicato da Kreil alla



Tav. 1. Raccolta di figure relative al magnetometro e l'inclinometro di Brera (Kreil, 1837a).

misura della variazione dell'inclinazione utilizzando un inclinometro costruito allo scopo dal meccanico dell'Osservatorio e simile all'inclinometro di oscillazione di Gauss. Lo strumento, fig. 13, tav. 1 fu descritto nel primo supplemento delle Effemeridi (Kreil, 1837a). L'ago di forma romboidale, fig. 16 e 17, tav. 1, aveva le seguenti dimensioni: $CB = 0.833$ m, $DE = 0.019$ m, $EL = 0.011$ m, $MR = 0.0025$ m. La staffa *DEFG* aveva sui lati minori *EF* e *DF* gli specchi *EGLN* per poter leggere tramite il cannocchiale di fig. 15, tav. 1, la scala di fig. 14, tav. 1. Sui lati maggiori della staffa si trovavano le braccia *PQ* piegate ad angolo retto, che portavano 4 viti acuminate, che poggiavano sui piani di agata di fig. 18. Le doppie viti servivano perché, nella misura dell'inclinazione, l'ago veniva magnetizzato in senso contrario, per poter ripetere le serie di osservazioni a causa della non coincidenza baricentro e centro di rotazione. Un problema rimasto aperto in questo periodo era la misura della variazione dell'inclinazione a causa degli attriti degli assi di rotazione. In Europa soltanto il russo Kupffer stava lavorando con un inclinometro a coltelli, e la bilancia magnetica di Lloyd fu progettata soltanto agli inizi degli anni '40 (O'Hara, 1984a). Quindi Milano fu uno tra i primi centri nei quali veniva osservata la variazione dell'inclinazione e dell'intensità totale, dedotta dalla variazione del periodo di oscillazione dell'inclinometro. Lo strumento fu abbandonato nel 1841, perché troppo sensibile alle scosse meccaniche.

Nel 1839 fu pubblicato ad opera di Kreil e Della Vedova, un aiutante esterno dell'Osservatorio (Kreil e Della Vedova, 1839a), un volume contenente le osservazioni assolute e di variazione dei tre elementi, *D*, *H*, *I* dei tre anni, con le leggi empiriche dedotte da esse. La variazione dell'intensità orizzontale era dedotta dalla variazione del periodo di oscillazione dell'ago orizzontale: il bifilare, che permetteva una misura statica, ideato da Gauss nel 1837, giunse a Milano soltanto nel 1839. Partito Kreil, perché nominato Aggiunto dell'Osservatorio di Praga, il lavoro scemò, anche se Milano continuò a partecipare ai piani internazionali. Ormai diminuito il numero di persone dell'Osservatorio, Carlini riteneva gravose le osservazioni magnetiche, che andavano a discapito di quelle astronomiche e sollecitò più volte le autorità a creare un osservatorio magnetico a parte.

Nel 1858 e nel 1863 Buzzetti, allievo dell'Osservatorio, rideterminò i valori assoluti degli elementi magnetici (Buzzetti, 1864a). A Milano non si potevano fare ormai che le misure di variazione, non essendoci un locale privo di ferro, anche se l'Osservatorio fu sempre munito di due apparati unifilari che potevano essere impiegati sia per le misure di variazione che per quelle assolute. Le misure, fatte nel 1858, furono eseguite soltanto in due stazioni, una a Brera e l'altra al Collegio Calchi-Taeggi, mentre quelle del 1863 in sei successive località diverse di Milano. Rispetto alle precedenti misure assolute, condotte da Kreil, non vi era alcuna differenza, se non che si era aggiunto il bifilare per il confronto con le variazioni dell'intensità assoluta, ma mancava invece lo strumento che dava le variazioni dell'inclinazione, l'inclinometro di Kreil.

Nel 1871 Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio, passò in rassegna le osservazioni magnetiche che erano state fatte a partire dal 1836, e utilizzò i dati per ricercare una relazione tra periodo undecennale delle macchie solari e la variazione annuale della variazione diurna della declinazione (Schiaparelli, 1874a). Progettò inoltre di eseguire delle misure orarie per conoscere la variazione dei tre elementi ΔD, ΔH, ΔZ negli anni '72 e '77, supposti essere rispettivamente gli anni del massimo e del minimo delle macchie solari. La variazione dell'inclinazione veniva ricavata dalla misura dell'intensità orizzontale e verticale. Gli strumenti furono il magnetometro di Gauss, il bifilare e, per la misura della variazione dell'intensità verticale, fu usata la bilancia verticale, secondo il progetto di Lloyd. Tale strumento fu costruito dal meccanico dell'Osservatorio Giuseppe Kolschitter, a partire dal vecchio inclinometro di Kreil (Rajna, 1884a).

Successivamente continuarono le misure della variazione della declinazione in quanto i dati venivano inviati a Wolf, direttore dell'Osservatorio di Zurigo, e alla sua morte, nel 1893, al suo successore Wolfer, per la sua ricerca della relazione tra le macchie solari e il

magnetismo terrestre. Wolf aveva proposto una formula lineare

$$v = a + br$$

dove v era la media annuale della variazione diurna della declinazione, a e b dei coefficenti costanti e r il numero delle macchie di Wolf.

Il lavoro sul magnetismo fu portato avanti, a partire dagli anni 1870, dall'astronomo Rajna che ricalcolò, mediante il metodo dei minimi quadrati, i coefficienti a e b; nei primi anni del '900 fu ripreso da Gabba che fu l'ultimo astronomo che lavorò sul magnetismo terrestre a Milano. In un articolo, apparso nel 1921, Gabba (Gabba, 1921) ribadiva che i residui non si presentavano con i segni alternati, ma a gruppi, il che lasciava supporre che la formula di Wolf non fosse esatta, e tale relazione si trovava anche nelle misure eseguite a Praga e Christiania (le altre serie di misurazione della variazione diurna della declinazione più lunghe, la prima partita nel 1839, proprio ad opera di Kreil, la seconda nel 1842). Maurer aveva proposto che i coefficienti a e b della formula di Wolf contenessero dei termini che dipendevano dal campo magnetico del luogo, ma a Milano ormai non erano state più fatte misure assolute dal 1883, esattamente da quando C. Chistoni, primo assistente fisico dell'Ufficio Centrale Meteorologico di Roma, le aveva eseguite con gli strumenti dell'Ufficio, secondo il metodo di Lamont.

BIBLIOGRAFIA

BASSO-RICCI, M. e P. TUCCI (1994): Gauss' magnetometer at Brera Astronomical Observatory, in *Atti del XI International Scientific Instrument Symposium, Bologna 1991* (preprint).

BERNARDI, A. (1831a): Sulla declinazione dell'ago magnetizzato, *Biblioteca Italiana*, **64**, 255-258.

BUZZETTI, C. (1864): Determinazione dei valori assoluti degli elementi del magnetismo terrestre, fatte a Milano nell'anno 1863, *Effemeridi Astronomiche di Milano per l'anno 1865*, 113-128.

CAWOOD, J. (1977a): Terrestrial magnetism and the development of international collaboration in the early nineteenth century, *Ann. Sci.*, **70** (254), 493-518.

FRISIANI, P. (1837a): Annotazioni, in *Primo Supplemento alle Effemeridi Astronomiche di Milano per l'anno 1838*, Milano, 58-112.

FRISIANI, P. (1877a): Sul magnetismo terrestre. Quarta memoria, *Memorie del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti*, serie III, **4** (13), 189-212.

GABBA, L. (1921): L'escursione diurna della declinazione magnetica a Milano in rapporto alla frequenza delle macchie solari durante il quinquennio 1916-1920. *Rendiconti del Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere*, serie II, **54**, 433-439.

GAUSS, K.F. (1833a): *Intensitas vis Magneticae Terrestris ad Mensuram Absoltuam Revocata* (Gottingae: Sumtibus Dieterichianis).

GAUSS, K.H. (1837a): Misura assoluta della forza magnetica terrestre, in *Primo Supplemento alle Effemeridi Astronomiche di Milano per l'anno 1838*, Milano, 1-57.

GAUSS, K.H e W. WEBER (Eds.) (1837-1843a): *Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins*, 6 vols. Göttingen, Liepzig.

KREIL, K. (1837a): Descrizione degli apparati magnetici e dei metodi con cui si eseguiscono le osservazioni, in *Primo Supplemento alle Effemeridi Astronomiche di Milano per l'anno 1838*, Milano, 133-197.

KREIL, K. e P. DELLA VEDOVA (1839a): Osservazioni sull'intensità e sulla direzione della forza magnetica istituite negli anni 1836,1837, 1838 all'I.R. Osservatorio di Milano, in *Secondo Supplemento alle Effemeridi Astronomiche di Milano per l'anno 1839*, Milano, I-XII, 1-268.

O'HARA, J.G. (1984a): Gauss method for measuring the terrestrial magnetic force in absolute measure: its invention and introduction in geomagnetic research, *Centaurus*, **27**, 121-147.

POISSON, S. (1825a): Solution d'un probleme relatif au magnètisme terrestre, *Ann. Chim. Phys.*, **30**, 257-263.

RAJNA, M. (1884a): Sulle variazioni diurne del magnetismo terrestre. Risultati di osservazioni fatte a Milano negli anni 1872 e 1877 calcolati e dedotti da Michele Rajna Terzo Astronomo dell'Osservatorio di Milano, *Pubblicazioni del Reale Osservatorio di Brera in Milano*, **26**, 13-60.

SCHAEFER, C. (1924-1929a): Über Gauss' Physikalische Arbeiten (magnetismus, Elektrynamik, Optick). in *Königliche Gessellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, a cura di K. F. GAUSS WERKE (Berlin-Göttingen: Springer), vol. 11(2), 1-103.

SCHIAPARELLI, G.V. (1874a): Il periodo undecennale delle variazioni diurne del magnetismo terrestre considerato in relazione con la frequenza delle macchie solari. Risultati di osservazioni fatte a Milano (1836-1873), *Memorie della Società degli Spettroscopisti Italiani*, appendice 3.

TAGLIAFERRI, G. e P. TUCCI (1989): K.F. Gauss e la partecipazione di Brera al suo programma di misure geomagnetiche, in *Atti del IX Congresso Nazionale di Storia della Fisica, Urbino 1988*, a cura di F. BEVILACQUA, 267-284.

TUCCI, P. (1991): Coulomb e Gauss sul magnetismo, *Giornale di Fisica*, **22** (2-3), 93-121.