

Declinazione magnetica: storia delle prime misure e misura con l'azimut del Sole

Costantino Sigismondi

(ICRA/Sapienza Università di Roma and IIS F. Caffè)

Abstract

The magnetic declination is the compass deviation from astronomical North. Georg Hartmann in 1510 in Rome firstly measured it as 6° East. Using accurate solar ephemerides and a UTC synchronized watch, the shadow of a vertical pole is astronomically referenced. The angles of a 10m size triangle including the direction of this shadow, the solar azimuth, and the magnetic North give the magnetic declination with an accuracy of 2 arcmin.

Introduzione

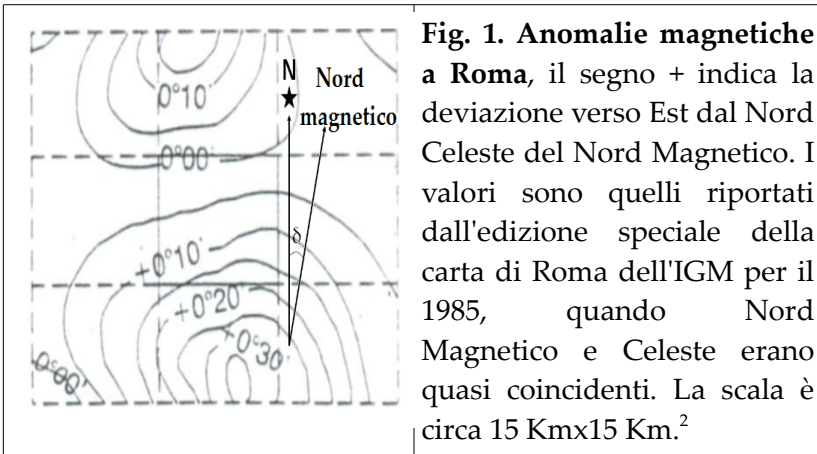
La bussola non indica il Nord celeste, astronomico, ma quello magnetico, che cambia con la posizione geografica, ed è individuato al netto dei campi magnetici locali (fili elettrici, telefoni, elettrodomestici) come una media territoriale.

Usando l'ombra di un palo verticale, una rotella metrica ed un orologio sincronizzato al secondo col tempo campione, si misura la deviazione dal Nord celeste della direzione dell'ago magnetizzato, con precisione operativa nominale di 2' d'arco, se le direzioni sono materializzate da segmenti di almeno 10 m, calcolando l'azimut del Sole ad un dato istante e per il luogo dove la direzione dell'ombra lo individua a terra. Così possiamo anche tracciare in pochi minuti il meridiano locale.

Declinazione Magnetica, carte IGM e modelli WMM e IGRF

La bussola indica il Nord magnetico, e a causa della differenza tra esso ed il Nord geografico, nonché della presenza di anomalie magnetiche locali, non consente una determinazione esatta del Nord geografico, anche detto astronomico o celeste. La declinazione magnetica δ a Roma, al 1/1/1985 è riportata

nella legenda della carta IGM¹ Istituto Geografico Militare.



Si vedono le anomalie magnetiche territoriali, entro i 30' su tutto il comprensorio romano. Il modello WMM Word Magnetic Model è valido dal 2014 al 2019 mentre quello IGRF International Geomagnetic Reference Field si estende dal 1590 al 2019: entrambi danno valori aggiornati del campo magnetico locale e della sua variazione annua.

La tabella 1 è compilata dal sito del NOAA³ per Roma, lat. N 41°52'45" long. E 12°27'06.84" sul meridiano di Monte Mario, quello fondamentale per il sistema geodetico ROMA40.²

Sommando alla figura 1 (1985) i dati NOAA attuali si ha un'idea delle medie territoriali del campo e della declinazione magnetica a Roma Centro: nel 2015.5 $\delta = 2^\circ 45'$ verso Est.⁴

- 1 La variazione di δ indicata sulla carta è di $+ 6' 30''$ all'anno, differente dai modelli WMM e IGRF, riportati nei siti ufficiali degli aeroporti, cf. <http://www.enav.it/enavWebPortalStatic/AIP/AD/AD2/ADPRA1-1.pdf>.
- 2 Si ritrova nella carta 1:25000 F374III serie 25DB Roma sud-ovest, 2000, cf. A. Cantile, *Cartografia Ufficiale dell'Istituto Geografico Militare*.
- 3 National Oceanographic and Atmospheric Administration. www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm
- 4 Agli equinozi il Sole raggiunge questo azimuth circa 9 min 20 s dopo il

Tab. 1 δ a Roma ⁷	Declinazione magnetica	Variazione annua
Anno 1985.0	0°02'11" Est	4'33" E
2007.0	1°51'27" Est	5'51" E
2015.5	2°45'50" Est	6'20" E

Nelle grotte⁵ dove il GPS né gli astri funzionano, la conoscenza dell'anomalia magnetica permette di orientarsi⁶ bene.

Determinazione del Nord magnetico: Colombo e Hartmann

Prima di individuare la direzione del Nord Magnetico occorre sincerarsi che non vi siano campi magnetici locali che perturbano l'ago magnetico della bussola.⁷ Collocando in diversi luoghi la bussola si verifica se varia la direzione di equilibrio dell'ago in dipendenza della posizione della bussola nell'ambiente dove si effettua la misura.⁸ Una zona dove il campo magnetico sia uniforme, di origine solo terrestre, è proprio la condizione più difficile da ottenere.⁹

mezzogiorno locale, al solstizio d'estate circa 4 min 54 s dopo, mentre al solstizio invernale dopo quasi 14 minuti; le misure perciò vengono meglio nel semestre a cavallo del solstizio d'Inverno quando il Sole meridiano cambia azimut più lentamente.

5 <http://www.boegan.it/legislazione-e-tecnica/la-declinazione-magnetica/>

6 *Nortear* è la parola portoghese per *orientarsi*, cercare il Nord. In questo articolo si approfondisce la ricerca del Nord Celeste con la bussola.

7 All'ITIS Ferraris (Roma, via Fonteiana) sia nelle aule che all'esterno la deviazione statistica delle misure di campo magnetico arriva a $\pm 5^\circ$ per una stessa direzione, campionata ogni 50 cm (lab. fisica 2CT 2015).

8 Lungo i 50 metri della linea meridiana della Basilica di Santa Maria degli Angeli e dei Martiri a Roma, ho rivelato fluttuazioni del campo magnetico locale di $\pm 10^\circ$, cf. C. Sigismondi, *Misura della Declinazione Magnetica a Roma usando l'azimut del Sole*, in *Meridiani e Longitudini a Roma*, Semestrare di Studi e Ricerche di Geografia, Sapienza Università di Roma, 2006 (2), p. 164.

9 Lo confermano al Dipartimento di Rilevamento del Politecnico di Milano cf. G. Bezoari, C. Monti, A. Selvini, *Topografia Generale con*

Il primo a misurare la declinazione magnetica sulla terra ferma fu il prete di Norimberga Georg Hartmann (1489-1564) scienziato e costruttore di strumenti, durante un viaggio a Roma nel 1510, dove misurò una declinazione orientale di 6°. ¹⁰ Hartmann costruiva quadranti solari muniti di ago magnetizzato, con i quali poteva confrontare direttamente la deviazione dalla linea meridiana della bussola. A Norimberga nel cinquecento fioriva l'industria della bussola (*Kompass*). Hartmann si chiese se la deviazione osservata a Roma e poi anche a Norimberga fosse causata da proprietà intrinseche all'ago magnetizzato, ma capì che era una proprietà del campo magnetico terrestre, come scrisse nella lettera al duca Alberto di Prussia del 1544 ¹¹ Nel 1590 le misure in mare della declinazione magnetica avevano raggiunto 30' di precisione. ¹² Cristoforo Colombo aveva annotato nel diario del 13 settembre 1492 che l'ago magnetico non segnava il Nord celeste. Le note scritte il 17 settembre 1492 ci chiariscono il metodo che usava Colombo: confrontava la posizione della Polare (in meridiano) con la direzione dell'ago magnetico. ¹³ Colombo nella sua

elementi di Geodesia, UTET, Torino 2002, e le nostre misure a Roma al Liceo Morgagni e alla Villa dei Quintili (cf. Sigismondi, *op. cit.*, 2006).

10 <http://catalogo.museogalileo.it/approfondimento/DeclinazioneMagnetica.html>

11 Si veda la traduzione in francese dell'articolo in tedesco di G. Hellmann, *Les premières observations magnetiques (I)*, Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, vol. 2, pp.246-253 (1896), che contiene le lettera del 4 marzo 1544 dove si racconta della prima misura fatta a Roma (p. 250).

12 Jonkers, A. R. T. et al., *Four Centuries of Geomagnetic Data, from Historical Records*, Reviews of Geophysics **41**,2 (2003); Bloxham, J. and D. Gubbins, *L'evoluzione del campo magnetico terrestre*, Le Scienze, Feb 1990.

13 G. Hellmann, *Les premières observations magnetiques (II)*, Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, vol. 2, pp.284-290 (1896). È chiaro che compiendo a quell'epoca la Polare un'orbita di 7° di diametro attorno al Polo Nord Celeste, Colombo doveva conoscere gli istanti di culminazione superiore e inferiore della stella Polare, cioè quando si trovava esattamente al Nord celeste, che per il 17/9/1492 erano

navigazione non si sarebbe basato solo su dati astronomici.¹⁴ Per i navigatori portoghesi Pedro Nunes (latinizzato in Pietro Nonio) nel 1537¹⁵ formalizzò i metodi per misurare la declinazione magnetica in mare.¹⁶

La seconda misura di Hartmann viene collocata nel 1544,¹⁷ tuttavia un suo manoscritto MS RAR 434 della Bayerische Staatsbibliothek 80328 di Monaco, mostra che Hartmann indicava nei disegni degli orologi già la declinazione magnetica di Norimberga nel 1539.¹⁸ Chapman¹⁹ aggiunge che Hartmann misurò per primo anche l'inclinazione del campo magnetico, fenomeno verificabile per tutte le località non

coincidenti con il mezzogiorno e la mezzanotte locale (12 ore dopo, cf. Software Stellarium 0.12.4). Tanto il passaggio al meridiano del Sole quanto la misura delle dodici ore successive per arrivare alla mezzanotte erano misure standard per quell'epoca. Non è un caso che la misura della declinazione magnetica sia stata fatta il 17 settembre: la Polare e il Sole erano in meridiano contemporaneamente: questo valeva in tutto il Mondo. È una “regola del pollice” ben nota a chi usava notturnabi da almeno 500 anni (cf. Bertola e Sigismondi, Gerbertus 5, 99, 2015, *Gerberto, i tubi astronomici e la via Lactea*).

- 14 P. Ranfagni, et al., *Colombo e la navigazione oceanica per punti stimati*, mostrano che Colombo usava la bussola per la direzione e la stima delle velocità istantanee della nave per il tempo per conoscere lo spazio percorso. Un galleggiante lasciato a prua veniva cronometrato con la recita di una filastrocca. La sillaba della filastrocca in cui il galleggiante superava il traguardo fissato a poppa dava la velocità. www.arcetri.astro.it/~ranfagni/CD/CD_TESTI/COL_A_1.HTM 1998
- 15 Pedro Nunes, *Tratado da Sphera com a Teorica do Sol e da Lua[...]*, Lisboa, German Galharde, 1537. Fol.
- 16 G. Hellmann, *op. cit.* p. 287-288.
- 17 Così Hellmann (*op. cit.* 1896), e gli autori successivi; cf. la nota 10.
- 18 Nicola Severino, *Georg Hartmann, Il primo grande gnomonista della Rinascenza*, Dicembre 2008 www.nicolaseverino.it; la sua figura a p. 7 qui è riprodotta in fig. 2 per datare quella misura di δ . La parte inferiore con la bussola per l'orientamento e $\delta=10^\circ$ Est è stata qui spostata a destra.
- 19 A. Chapman, nell'*Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism* David Gubbins, Emilio Herrero-Bervera ed., p. 397-398 Springer 2007.

equatoriali: a Roma nel 2015 $i=58^\circ$ entrante,²⁰ la punta dell'ago che indica il Nord, si abbassa di 58° rispetto all'orizzontale, se l'ago può oscillare su un piano perpendicolare all'orizzonte.

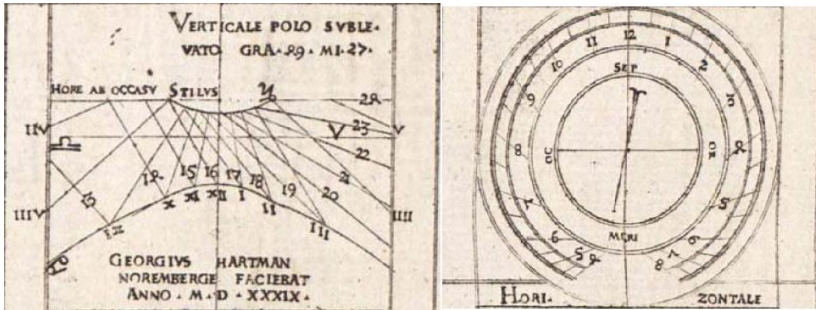


Fig. 2 Disegno di orologio dittico di Georg Hartmann (1539).

Misurare la declinazione magnetica: l'azimut magnetico

Scelta la posizione dove misurare δ occorre individuare e prolungare la direzione di equilibrio dell'ago magnetico con la massima precisione. Posizionandosi sulla verticale dell'asse dell'ago si confronta la direzione dell'ago con quella di una linea retta disegnata su un foglio A3 sottostante alla bussola e ruotabile a piacere. Quando l'allineamento è perfetto si fissa il foglio e con esso la direzione. Con la bussola misuriamo l'azimut magnetico di una direzione georeferenziata col Sole.

Georeferenziazione col Sole, teorema del coseno, tan e arctan

All'istante del transito del Sole al meridiano l'ombra punta esattamente al Nord celeste; con le effemeridi²¹ per ogni istante

20 Dati NOAA <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm> in accordo con la misura di 55° nel laboratorio di fisica dell'ITIS Ferraris a Roma (2CT 2015), con un ago magnetico montato su un asse girevole.

21 Effemeridi del Sole si possono ottenere online al sito www.calsky.org. La precisione di un minuto e di un secondo di tempo danno $15'$ e $15''$ in azimut. Si deve poi sommare il raggio solare ($16'$) all'azimut del centro del Sole nell'istante in cui la luce del Sole è radente alla parete che si vuole georeferenziare astronomicamente (Ferraris 1e2BT 2015 nota 24).

si calcola l'azimut del Sole in quel momento e si ha una direzione astronomicamente referenziata. Una differenza grande tra azimut del Sole e Nord magnetico permette di risolvere meglio il triangolo col teorema del coseno.²² L'ombra di uno stilo in posizione verticale fornisce la direzione (azimut) astronomicamente referenziata. La linea retta che parte dalla base del palo (dal suo centro A) incrocia un'altra retta che individua la direzione dell'ago magnetizzato BC. Tracciando anche una terza retta AB si individua un triangolo ABC come in figura 3.

Il bordo dell'ombra del palo si muove verso Est e ad un tempo t_1 tocca il punto C, e lo lascia all'istante t_2 . La media tra t_1 e t_2 è l'istante in cui l'ombra è orientata esattamente secondo la retta AC. Questo istante medio si inserisce, insieme con la longitudine e la latitudine del luogo, per ottenere dalle effemeridi l'azimut α del Sole quando l'ombra del palo copre la retta AC. Dalla misura dei lati AB AC e CB si ricavano i tre angoli del triangolo con un'accuratezza di 2' (con lati di 10m), e la conoscenza di α consente di orientare esattamente nello spazio questo triangolo e la retta CB in particolare.

Sincronizzazione degli orologi e geolocalizzazione

Tutte queste misure sono attendibili a patto di avere gli istanti di tempo t_1 e t_2 sincronizzati con il tempo universale coordinato UTC.²³ Le coordinate geografiche del luogo si ricavano da Google maps o da GPS entro 1 m di precisione.

22 Si possono “risolvere” due triangoli rettangoli adiacenti di cui sono noti i cateti; le ipotenuse sono rispettivamente l'ombra e la direzione dell'ago magnetico, così basta conoscere solo la definizione di tangente e arctan.

23 Gli orologi, se non lo sono già in automatico, devono essere sincronizzati col tempo campione Italiano; è possibile farlo al sito http://www.inrim.it/ntp/webclock_i.shtml gestito dall'INRIM.

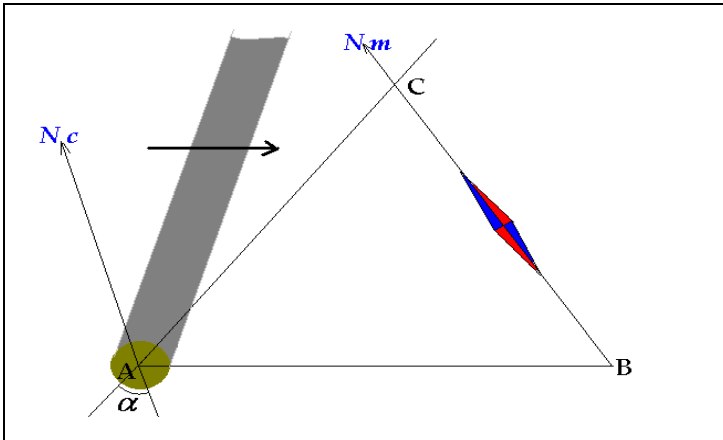


Figura 3. Geometria dell'esperimento per misurare la declinazione magnetica. Si traccia il segmento AC prima che l'ombra lo ricopra; si determina l'istante di copertura accuratamente. L'angolo ACB consente di legare la declinazione magnetica δ all'azimut del Sole in quel momento.

Conclusioni

Hartmann misurò $\delta=6^\circ$ a Roma nel 1510, mentre Colombo fu il primo a segnalarla il 13 e 17 settembre 1492, a metà del primo viaggio in America. Per misurare δ entro $\pm 2'$, servono triangoli con lati di 10 m, evitando l'inquinamento di campi magnetici locali. Si sfrutta la verticalità di un palo o una parete²⁴ per l'allineamento astronomico usando l'azimut del Sole. L'errore del metodo sta tutto nella determinazione dell'azimut magnetico, entro $\pm 15'$ con bussole inferiori a 15 cm di diametro.

²⁴ All'ITIS Ferraris l'allineamento di una parete, ragionevolmente verticale, col Sole è stato determinato con 10s di precisione, ossia $2'30''$ in angolo. L'azimut astronomico 278° e quello magnetico $360^\circ - 85.5^\circ = 274.5^\circ$ sono stati misurati così in due tempi diversi, raggiungendo una precisione migliore: $\delta = 278^\circ - 274.5^\circ = 3^\circ 30'$ Est, cioè il Nord magnetico è a Est di quello astronomico. Per Roma NOAA dà $2^\circ 45'$ Est (tab. 1), che è una media territoriale con gradiente spaziale di $7'$ per Km, come dalla fig. 1. Ringrazio il prof. Mauro Climaco e Roberto Bacci per l'assistenza tecnica.