

Declinazione magnetica

La bussola fece la sua comparsa in Europa nel XII secolo e tra le tante ipotesi per la spiegazione dell'orientamento del suo ago calamitato una delle prime fu quella dell'attrazione da parte della Stella Polare. Nel giornale di bordo di Cristoforo Colombo, relativo al suo primo viaggio effettuato dal 3 agosto 1492 all'11 marzo 1493, si possono leggere alcuni riferimenti a quel particolare fenomeno che in seguito sarà chiamato declinazione magnetica o della bussola. Che tale osservazione condotta da Colombo fosse la prima della storia europea è dovuta al fisico e storico della scienza il religioso italiano Timoteo Bertelli (1826 – 1905) che svolse approfondite ricerche sull'uso e sulla storia della bussola, spiegando tra l'altro l'origine della leggenda di Flavio Gioia.

In verità studi successivi hanno evidenziato che i cinesi già dal VIII secolo erano consapevoli di tale proprietà magnetica. Vi sono poi studi del fisico scozzese Crichton Mitchell (1864 – 1948) che dimostrerebbero, basandosi sull'evoluzione delle meridiane solari, che la conoscenza della declinazione già era in atto in Europa nel 1450.

Ritornando al giornale di bordo di Colombo occorre dire che il documento originale è andato perduto, probabilmente per la segretezza assegnata a tutti i documenti contenenti notizie marittime su quanto si scopriva nei viaggi di esplorazione. Fortuna volle che Bartolomeo La Casas (1484 – 1566), trovandosi nel 1502 in America al seguito della spedizione dell'esploratore spagnolo Nicolás de Ovando (1460 – 1511), fu testimone di quanto accadde del quarto viaggio di Colombo e di cogliere l'occasione di leggere e trascrivere il Giornale di bordo dell'Ammiraglio.

Nel Giornale relativo al primo viaggio si legge:

Giovedì, 13 settembre

Quel giorno, con la sua notte, sempre tenendo la loro rotta, che era a ovest, percorsero XXXIII leghe, e ne contava tre o quattro di meno. Le correnti gli erano contrarie. E in questo giorno, al calar della notte, gli aghi inclinavano a nord-ovest e il mattino inclinavano alquanto verso nord-est.

Lunedì, 17 settembre

Navigò sulla sua rotta verso ovest, ... Fecero i piloti il punto sul nord e lo segnarono, e videro che gli aghi inclinavano verso nord-est di una gran quarta; e i marinai ne erano spaventati e stavano in pena e non dicevano parola. Se ne avvide l'Ammiraglio e ordinò che alle prime luci dell'alba rifacessero il punto sul nord, e videro che la bussola era buona. E la ragione di ciò è che sembra esser la stella a muoversi e non gli aghi. ...

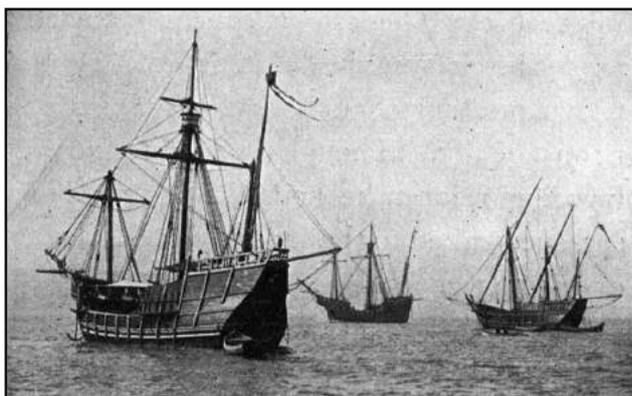
Su quest'ultima frase occorre ricordare quanto detto all'inizio sulla accreditata influenza della Polare e la conoscenza di Colombo della non coincidenza di tale stella con il nord geografico.

Al ritorno in Spagna l'episodio accaduto a Colombo non ebbe immediata attenzione ritenuto una conseguenza dell'imperfezione della bussola.

Sotto la spinta della necessità di poter fornire le navi di bussole sempre più precise, pochi anni dopo iniziarono studi sul fenomeno soprattutto da parte dei costruttori di strumenti.

La prima misurazione di declinazione fu effettuata a Roma dal matematico e costruttore di strumenti tedesco Georg Hartman (1489 – 1564) tra il 1510 e il 1518 durante una sua sosta in Italia.

Intanto il crescente numero di viaggi esplorativi in mare aumentava la conoscenza sulla variabilità della declinazione magnetica con la posizione geografica e al tempo stesso si cercavano migliori metodi per



Le repliche della *Niña*, *Pinta* e *Santa Maria* in navigazione dalla Spagna a Chicago nel 1893 per l'Esposizione Colombiana Mondiale

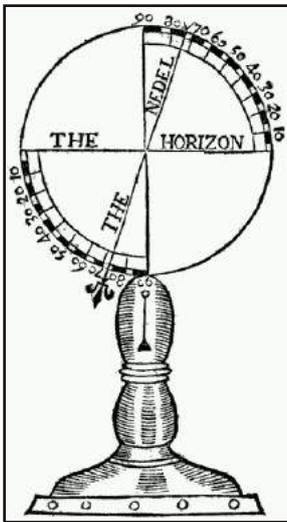
determinarla in mare.

Si deve a Sebastiano Caboto (c. 1480 – 1557), figlio di Giovanni, l'attenzione a fornire ai marinai qualche informazione, seppure in una forma non ben definita, sulla declinazione magnetica riportando sulle carte (all'epoca, intorno al 1530 Caboto era *piloto mayor* della Spagna) le corrispondenti variazioni rilevate in mare. Tale attenzione trovava una sua giustificazione nella ipotesi di Caboto che le variazioni geografiche della declinazione potessero essere applicate per la determinazione della longitudine.

Un primo passo nella comprensione del fenomeno la diede il cosmografo spagnolo Martín Cortés de Albarac (1510 -1582) contribuendo a differenziare i poli magnetici da quelli terrestri.

Nel libro *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar* (Siviglia, 1551) Cortés, trattando in maniera sintetica di navigazione e cosmografia, evidenzia il problema della declinazione magnetica per cui ipotizza un polo magnetico in Groenlandia (oggi nel nord del Canada).

Nel 1581, con la pubblicazione di un opuscolo sulla natura e le proprietà della calamita compilato dall'inglese Robert Norman, marinaio e poi costruttore di bussole, divenne noto anche un altro fenomeno magnetico, quello dell'inclinazione (*magnetic dip*) dell'ago della bussola rispetto all'orizzontale, un



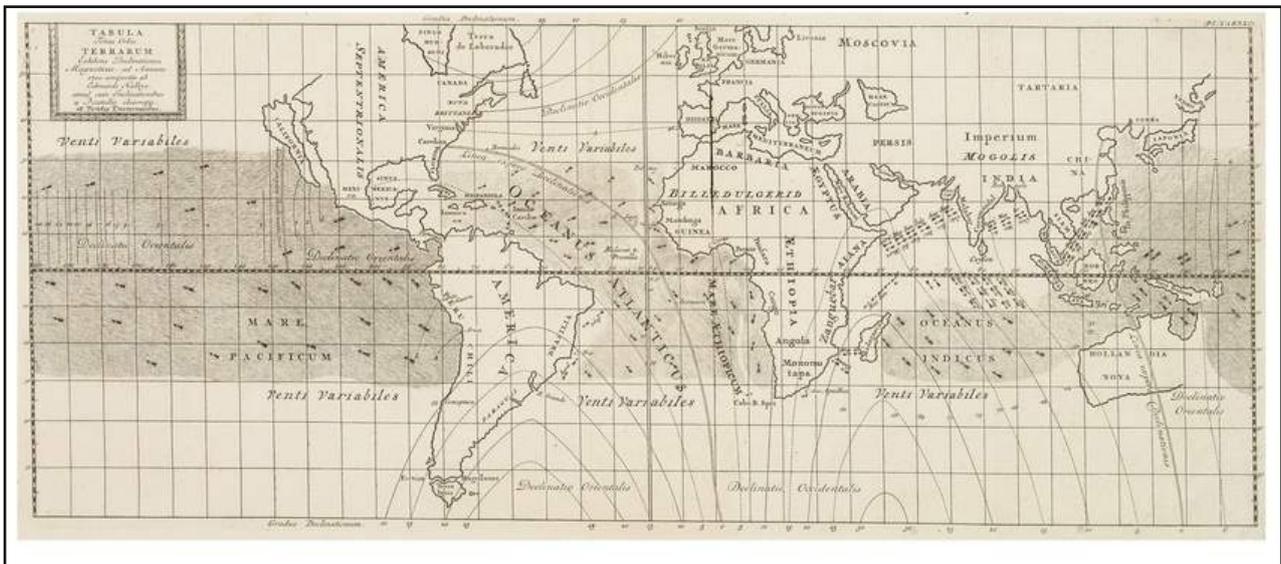
fenomeno probabilmente già noto da tempo, ma non studiato, che diede l'avvio alla costruzione degli inclinometri simili a quello illustrato da Norman nella sua pubblicazione. L'inclinazione cresce andando verso il polo nord (e in senso opposto verso il polo sud), una scoperta che determinò il definitivo abbandono dell'idea di una Polare capace di attrarre l'ago di una bussola.

Qualcuno pensò di utilizzare l'inclinazione per ricavare la latitudine, ma poi ci si accorse che i valori non seguono i paralleli e l'idea fu abbandonata.

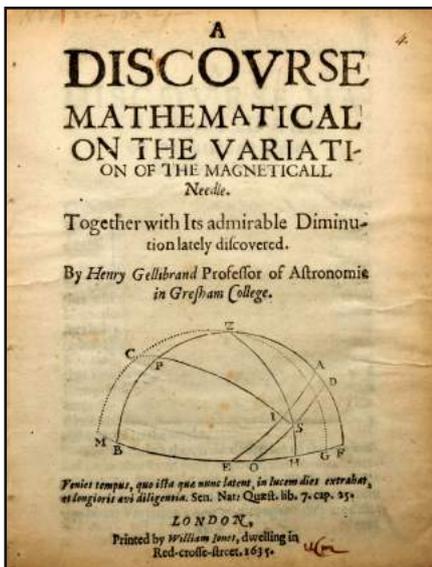
Con il '600 o poco prima, ebbe inizio una continua attività di rilevamento della declinazione in tutto il globo che diede la possibilità nel 1700 all'astronomo inglese Edmund Halley (1656 – 1742) di compilare le prime carte magnetiche in cui erano tracciate le linee congiungenti punti di uguale declinazione in valore e direzione (est – ovest), indicate inizialmente come *Halleyan lines* e poi semplicemente isogone (di uguale angolo).

Inclinometro di Norman

Intanto nel 1634 il matematico francese Henry Gallibrand (1597 – 1637), nel confrontare le misure di declinazione in tempi diversi della città di Londra, comprese che la declinazione magnetica è variabile anche nel tempo (11° 15' E nel 1580; 6° 15'E nel 1622; 4° 10' E nel 1634, con una variazione di oltre 7° in 54 anni).



Carta del Mondo di E. Halley con linee di uguale declinazione - 1701



Naturalmente, ormai abbandonata l'ipotesi dell'influenza della Polare, occorre fornire una nuova spiegazione di quanto si era scoperto.

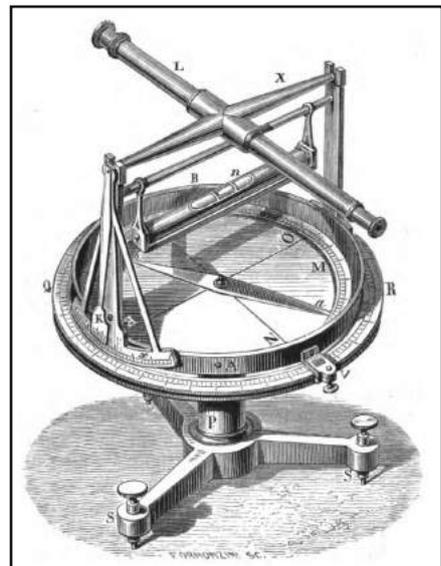
La prima teoria sulle cause del magnetismo terrestre fu proposta dal medico reale inglese William Gilbert (1527 – 1608) nell'opera pubblicata nel 1600 *De magnete magneticisque corporibus et magno magnete tellure* nel quale, dopo aver esposto i suoi studi sui magneti, paragona la Terra ad una enorme calamita. (Per altre notizie si rimanda all'articolo [Magnetismo e bussole prima di Gilbert](#)). Passeranno più di due secoli durante i quali furono prodotte altre teorie, mentre elettricità e magnetismo divennero i settori della scienza e della tecnologia di maggiore attrazione.

L'idea di Gilbert di una grande calamita, un modello accettato ancora oggi, pone il nord magnetico prossimo a quello geografico. Si tratta di una convenzione perchè due calamite si attraggono per poli opposti e si respingono per poli dello stesso segno, con il nord dell'ago in effetti

attratto dal sud della calamita Terra. Tale primo schema però non si poteva definire completo anche perchè non si aveva ancora una visione “geometrica” delle azioni magnetiche, quella che in seguito sarà chiamata la teoria dei campi usata per la prima volta dal fisico e chimico inglese Michael Faraday (1791 – 1867) per descrivere le forze dovute a cariche elettriche e magnetiche.

Con il '700 le misure di declinazione venivano condotte con un declinometro o bussola di declinazione, in sintesi un ago di bussola molto sensibile capace di misurare con precisione variazioni anche irregolari della declinazione, come quelle dovute ad esempio a terremoti o temporali. Lo strumento era posizionato secondo l'asse geografico terrestre (nel meridiano contenente i poli celesti). Con la fine del secolo lo strumento, in versione portatile, fu dotato di un telescopio per ricavare astronomicamente la posizione dell'asse terrestre nord-sud per misurare il valore assoluto di declinazione magnetica.

Nella prima metà dell'800 il sodalizio tra due grandi uomini di scienza, il fisico tedesco Eduard Weber (1804 – 1891) e il matematico tedesco Karl Friedrich Gauss (1777 – 1855), diede origine a importanti risultati tecnico scientifici tra cui una prima configurazione del campo magnetico terrestre con le linee di forze conformi alla legge di Gauss sul magnetismo e la realizzazione del primo magnetometro,

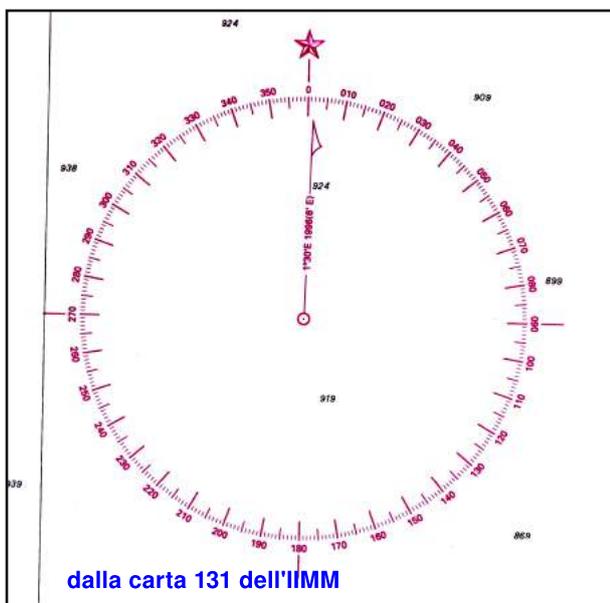


Declinometro con telescopio - 1850

uno strumento capace di rilevare le tre componenti del campo magnetico terrestre: declinazione, inclinazione e intensità.

Lo schema teorico oggi più plausibile individua nella produzione di correnti elettriche interne alla Terra la principale causa della formazione del campo magnetico terrestre (oltre il 90%), a cui si vanno ad aggiungere altri contributi, comunque innescati dalla prima componente, che riguardano la parte più esterna del pianeta fin oltre nello spazio in cui interagendo con il vento solare origina una particolare regione detta magnetosfera, che si estende per decine di migliaia di chilometri, sul lato rivolto verso il Sole e per milioni di chilometri sull'altro lato non condizionato dal vento solare, costituendo un eccezionale schermo alle radiazioni provenienti dal Sole.

A partire dal 1958, con l'inizio delle imprese spaziali, si avvertì la necessità di disporre di un modello matematico rappresentativo su larga scala del campo magnetico terrestre. Il primo modello proposto è stato quello denominato IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), attivo dal 1968, aggiornato e migliorato ogni 5 anni man mano che si ottenevano misure più accurate. Fornisce valori dal 1590 ad oggi,



utile per interpretare dati storici.

Altro modello è il WMM (*World Magnetic Model*), sviluppato dal 1990 da USA e UK, considerato lo standard di navigazione per gli Stati Uniti e per la Nato, aggiornato anch'esso ogni 5 anni ovvero quando si rilevano movimenti straordinariamente ampi e irregolari del polo nord magnetico.

L'affinamento dei modelli è stato favorito dal crescente numero di siti di misura, da quelli in terra ferma, ma anche su navi oceanografiche, velivoli e dallo spazio. Tale incremento si è avuto principalmente per la disponibilità di una tecnologia ad alte prestazioni e a più bassi costi.

L'Italia, attraverso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) gestisce 5 osservatori, 3 nella penisola e 2 in Antartide.

Nelle dispense di navigazione marittima (da diporto, ma non solo) si legge che la declinazione magnetica è ricavabile dalla carta nautica su cui sono presenti informazioni utili a calcolarla. Facciamo un esempio: ci troviamo nel 2022 nel basso Tirreno. La rosa azimutale riportata sulla carta dell'IIMM, nel noto colore magenta, contiene la seguente dicitura: 1° 30' E al 1996, con una variazione annuale di 6' E.

In 26 anni la declinazione è quindi variata di: 2° 36' E a cui corrisponde un valore totale di 4° 6' E.

Nel sito del NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) è disponibile un [calcolatore](#) della declinazione (su dati del WMM) che per la stessa area fornisce un valore di 3° 58' E e una variazione annuale di 8' E. Le differenze come si vede, sono minime, almeno per il Mediterraneo, ma non sarebbe male adottare la correzione del NOAA.

Ora se proviamo ad osservare il campo magnetico terrestre, secondo opportuna rappresentazione, si ha l'occasione di riconoscere aree più o meno estese, tecnicamente dette anomalie, caratterizzate da forti variazioni dei parametri magnetici.

Tra questi le anomalie locali sulla declinazione magnetica che può variare anche di 20°. Esempi si trovano anche in Italia, in alcune isole quali Capraia, Elba, Lipari e in qualche zona interna come nella provincia di Genova e nelle province di Napoli e Caserta, in Sardegna.

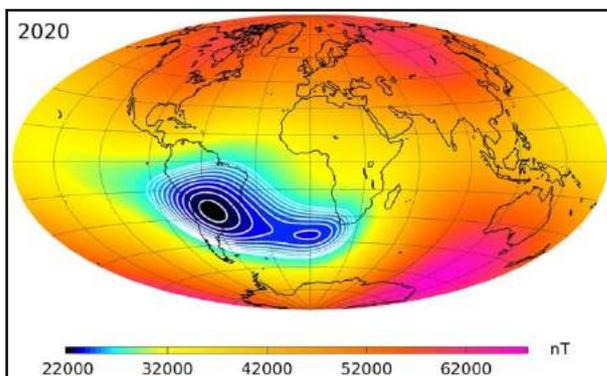


immagine della SAA nell'anno 2020

Un'altra condizione fuori delle medie, riconoscibile nei diagrammi a colori dell'intensità magnetica si nota nel Sud Atlantico, ma che interessa parti del Sud America, Sud Africa e Antartide. Tale zona, nota come *Anomalia del Sud Atlantico* o SAA (*South Atlantic Anomaly*), è caratterizzata da una improvvisa diminuzione dell'intensità magnetica. Poiché il campo magnetico si estende nello spazio tale anomalia è risentita anche ad alte quote tanto che i satelliti spaziali che transitano sull'area, non più protetti dalle particelle ad alta energia, sono costretti a spegnere alcuni strumenti di bordo durante l'attraversamento. I voli spaziali con uomini a bordo che hanno orbite che includono un passaggio nella SAA, richiedono schermature aggiuntive delle stazioni.

Da quando la bussola comparve a bordo sino a quasi tutto il Cinquecento la sua imperfezione non permetteva a naviganti e cartografi di apprezzare angoli inferiori alla quarta (11,25°). A ciò si aggiungeva un grossolano modo di controllarne l'orientamento: per molto tempo un metodo di valutazione dell'errore di una bussola era quello proposto dal navigatore genovese Emanuele Pessagno (a cavallo tra il '200 e il '300) con impiego

della Stella Polare. Il metodo, detto “la benedizione del pilota”, consisteva nel puntare, a nave ferma, con le dita distese della mano (come per benedire appunto) la Stella Polare abbassandole poi verticalmente fino alla bussola per verificare la direzione dell’ago magnetico. All'approssimazione di un tale metodo di misura si aggiungeva l'inconsapevole errore dovuto alla posizione relativa della Polare rispetto al polo celeste (intorno a cui ruotano le stelle), ritenendola fissa e attrattiva dell'ago magnetico.

La Polare, distando dal polo celeste le ruota intorno, una condizione all'epoca non nota a tutti (come visto Colombo la presenta al suo equipaggio per dare una prima spiegazione sul comportamento dell'ago della bussola). Valutare la posizione relativa della Stella Polare, all'epoca variabile nell'intervallo $\pm 3,5^\circ$ (oggi meno del $\pm 1^\circ$), era indispensabile anche per correggere l'altezza misurata della stella al fine di determinare la latitudine. Non tenerne conto corrispondeva ad assumere un errore massimo di $3,5^\circ$ con conseguente errore di posizione che alle medie latitudini è di circa 150 miglia. La variazione della Polare veniva ricavata dalla posizione di una delle due guardiane dell'Orsa Minore al momento della misura.

I primi miglioramenti si ebbero intorno alla metà del '500 con l'apparizione della sospensione cardanica e l'introduzione a bordo della balestriglia (entrambi descritti da Martín Cortés nel suo già citato *Breve compendio*) e sempre in tale periodo, conseguenza della scoperta e degli studi sulla declinazione, si comprese la differenza tra polo magnetico e polo geografico per cui la procedura, pur approssimata, di riferirsi alla Polare non andava più bene dovendo tener conto dell'angolo tra il nord magnetico e il nord vero o geografico.

Con il finire del '600 si aggiunse una nuova esigenza di bordo che richiese un metodo di "calibrazione" della bussola più affidabile. A bordo delle navi fece la comparsa una particolare bussola espressamente realizzata per un'operazione, in effetti già in uso da molto tempo prima con la normale bussola, consistente nel rilevare l'angolo orizzontale formato dalla direzione di un oggetto con quella dell'ago dello strumento.

Il navigante poteva così ricavare il punto nave come incrocio di due rilevamenti, ma anche il cartografo poteva beneficiare di un tale strumento, noto come bussola da rilevamento (*bearing compass*), una normale bussola corredata di un'alidada fornita di pinnule e traguardi, facendo progredire la costruzione delle carte nautiche.

A questo punto la declinazione poteva determinarsi come differenza tra il rilevamento magnetico e il corrispondente rilevamento vero di un astro o, lungo la costa, di punti cospicui noti.

A mare il riferimento più adatto è il Sole al momento del sorgere o del tramonto quando il verticale dell'astro (il circolo massimo che lo contiene) forma un angolo con le direzioni cardinali Est od Ovest (costituenti il primo verticale), un arco di orizzonte noto come amplitudine, variabile nel tempo e con la latitudine di osservazione (nei secoli XVII e XVIII tale metodo era l'unico valido per la scarsa affidabilità dei rilievi costieri).

La procedura, ancora oggi adottata, consiste nel traguardare con la bussola da rilevamento il Sole al sorgere o al tramonto (il riferimento è il lembo superiore dell'astro) ricavando il rilevamento bussola del Sole (Rilb). In funzione delle condizioni di osservazione (declinazione del Sole e latitudine) si ricava per interpolazioni l'amplitudine vera dalle tavole (n. 17) delle effemeridi edite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e quindi l'azimut vero ossia il rilevamento vero dell'astro Rilv. Il passaggio successivo è in breve: $Rilv - Rilb = d + \delta$ detta variazione, somma della declinazione magnetica d e della deviazione δ , quest'ultima scoperta molto tempo dopo col diffondersi delle costruzioni in ferro in grado di creare un campo magnetico che si viene a sovrapporre al campo magnetico terrestre.

Note: La declinazione magnetica si distingue dall'altra declinazione, quella astronomica, per l'aggettivo che l'accompagna. Per evitare confusione, come avviene comunemente nelle comunicazioni a voce, in inglese la declinazione magnetica è detta in marina *variation*, anche se tale parola è usata scientificamente per i cambiamenti nel tempo del campo magnetico. In italiano *variazione* è invece la somma algebrica della declinazione e della deviazione della bussola, quest'ultimo termine indicativo dell'errore dell'ago calamitato causato dal campo magnetico della nave.

dalla formula dei coseni: $\cos(p) = \cos(c)\cos(z) + \text{sen}(c)\text{sen}(z)\cos(\hat{Z})$

$$\cos(\hat{Z}) = \frac{\cos(p) - \cos(c)\cos(z)}{\text{sen}(c)\text{sen}(z)}$$

con il sole al tramonto e al sorgere: $z = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos(z) = 0; \sin(z) = 1 \Rightarrow \cos(\hat{Z}) = \frac{\cos(p)}{\text{sen}(c)}$

$p = \frac{\pi}{2} - \phi; c = \frac{\pi}{2} - \varphi \Rightarrow \cos(\hat{Z}) = \frac{\text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi)}$ essendo $Am = \hat{Z} - \frac{\pi}{2}$ oppure $Am = \frac{\pi}{2} - \hat{Z}$

$$\text{sen}(Am) = \frac{\text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi)}$$

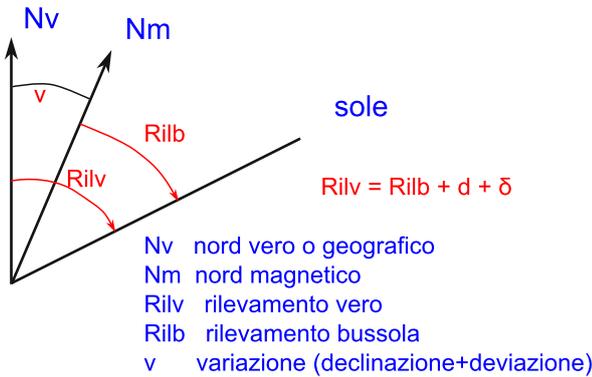
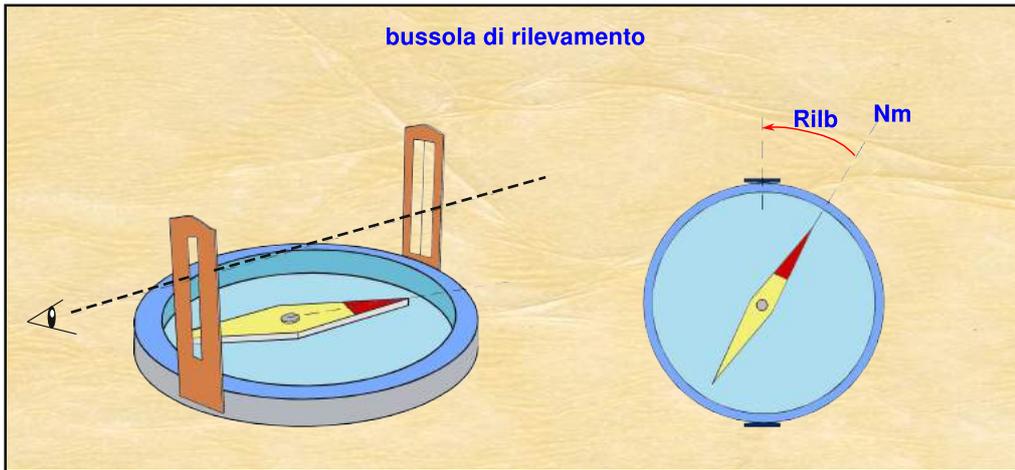


TAVOLA 17
AMPLITUDINI

DECLINAZIONE

Lat.	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°
0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
2	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
4	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0
6	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1
8	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1
10	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.2	12.2	13.2	14.2
12	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.3	14.3
14	0.0	1.0	2.0	3.1	4.1	5.1	6.2	7.2	8.2	9.2	10.3	11.4	12.4	13.4	14.4
16	0.0	1.0	2.1	3.1	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.3	11.4	12.5	13.5	14.5
18	0.0	1.0	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3	7.4	8.4	9.5	10.5	11.6	12.6	13.7	14.7
20	0.0	1.1	2.1	3.2	4.3	5.3	6.4	7.4	8.5	9.6	10.7	11.7	12.8	13.8	14.9
21	0.0	1.1	2.1	3.2	4.3	5.4	6.4	7.5	8.6	9.6	10.7	11.8	12.9	14.0	15.0
22	0.0	1.1	2.2	3.2	4.3	5.4	6.5	7.6	8.6	9.7	10.8	11.9	13.0	14.0	15.1
23	0.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.4	6.5	7.6	8.7	9.8	10.9	12.0	13.1	14.2	15.3
24	0.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.0	12.1	13.2	14.3	15.4
25	0.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.1	12.2	13.3	14.4	15.5
26	0.0	1.1	2.2	3.3	4.4	5.6	6.7	7.8	8.9	10.0	11.2	12.2	13.4	14.5	15.6
27	0.0	1.1	2.3	3.4	4.5	5.6	6.7	7.9	9.0	10.1	11.3	12.4	13.5	14.6	15.7
28	0.0	1.1	2.3	3.4	4.5	5.7	6.8	7.9	9.1	10.2	11.4	12.5	13.6	14.8	15.9
29	0.0	1.1	2.3	3.4	4.6	5.7	6.9	8.0	9.2	10.3	11.5	12.6	13.7	14.9	16.0
30	0.0	1.2	2.3	3.4	4.6	5.8	6.9	8.1	9.3	10.4	11.5	12.7	13.9	15.0	16.2
31	0.0	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7.0	8.2	9.3	10.5	11.7	12.9	14.0	15.2	16.4
32	0.0	1.2	2.4	3.5	4.7	5.9	7.0	8.3	9.5	10.6	11.8	13.0	14.2	15.3	16.6
33	0.0	1.2	2.4	3.6	4.7	6.0	7.2	8.3	9.5	10.7	11.9	13.2	14.4	15.6	16.8
34	0.0	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.3	9.7	10.8	12.1	13.3	14.5	15.7	17.0
35	0.0	1.2	2.5	3.7	4.9	6.1	7.3	8.6	9.8	11.0	12.2	13.5	14.7	15.9	17.2
36	0.0	1.2	2.5	3.7	4.9	6.1	7.4	8.7	9.9	11.1	12.4	13.6	14.9	16.1	17.4
37	0.0	1.2	2.5	3.7	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.6	13.8	15.1	16.3	17.6
38	0.0	1.3	2.5	3.8	5.1	6.3	7.6	8.9	10.2	11.4	12.7	14.0	15.3	16.6	17.9
39	0.0	1.3	2.6	3.9	5.2	6.4	7.8	9.0	10.3	11.6	12.9	14.2	15.5	16.8	18.1
40	0.0	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.5	11.7	13.1	14.4	15.7	17.1	18.4
41	0.0	1.3	2.7	3.9	5.3	6.6	8.0	9.3	10.6	12.0	13.3	14.6	16.0	17.3	18.7
42	0.0	1.3	2.7	4.0	5.4	6.7	8.0	9.4	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.6	19.0
43	0.0	1.4	2.7	4.1	5.5	6.9	8.2	9.6	11.0	12.4	13.7	15.1	16.5	17.9	19.3
44	0.0	1.4	2.8	4.2	5.6	6.9	8.3	9.7	11.1	12.5	14.0	15.3	16.8	18.2	19.6
45	0.0	1.4	2.8	4.2	5.7	7.1	8.5	9.9	11.3	12.8	14.2	15.7	17.1	18.5	20.0
46	0.0	1.4	2.9	4.3	5.8	7.2	8.6	10.1	11.5	13.0	14.5	15.9	17.4	18.9	20.4
47	0.0	1.5	2.9	4.4	5.9	7.4	8.8	10.3	11.8	13.3	14.8	16.3	17.7	19.3	20.8
48	0.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	16.6	18.1	19.7	21.2
49	0.0	1.5	3.0	4.6	6.1	7.6	9.2	10.7	12.2	13.8	15.4	16.9	18.5	20.1	21.6
50	0.0	1.5	3.1	4.7	6.2	7.8	9.3	10.9	12.5	14.1	15.7	17.3	18.9	20.5	22.1
51	0.0	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0	9.5	11.2	12.8	14.4	16.0	17.7	19.3	20.9	22.6
52	0.0	1.6	3.2	4.9	6.5	8.1	9.7	11.4	13.1	14.7	16.4	18.1	19.7	21.4	23.1
53	0.0	1.6	3.3	5.0	6.7	8.3	10.0	11.7	13.4	15.1	16.8	18.5	20.2	21.9	23.7
54	0.0	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2	12.0	13.7	15.4	17.2	18.9	20.7	22.5	24.3
55	0.0	1.7	3.5	5.2	7.0	8.7	10.5	12.3	14.0	15.8	17.6	19.4	21.2	23.1	24.9
56	0.0	1.8	3.6	5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	18.1	19.9	21.8	23.7	25.6
57	0.0	1.8	3.7	5.5	7.4	9.2	11.1	12.9	14.8	16.7	18.6	20.5	22.4	24.4	26.4
58	0.0	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	11.4	13.2	15.2	17.2	19.1	21.1	23.1	25.1	27.2
59	0.0	1.9	3.9	5.8	7.8	9.7	11.7	13.7	15.7	17.7	19.7	21.7	23.7	25.7	27.8
60	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.1	14.1	16.2	18.2	20.3	22.4	24.6	26.7	28.9
61	0.0	2.1	4.1	6.2	8.3	10.3	12.5	14.6	16.7	18.8	21.0	23.1	25.4	27.6	29.9
62	0.0	2.1	4.2	6.4	8.5	10.7	12.9	15.1	17.3	19.4	21.7	23.9	26.3	28.6	31.0
63	0.0	2.2	4.3	6.6	8.8	11.1	13.4	15.6	17.9	20.1	22.5	24.8	27.2	29.7	32.2
64	0.0	2.3	4.6	6.9	9.2	11.5	13.9	16.2	18.5	20.9	23.3	25.7	28.3	30.9	33.4
65	0.0	2.4	4.8	7.1	9.5	11.9	14.4	16.8	19.3	21.7	24.2	26.8	29.5	32.2	34.9
66	0.0	2.5	4.9	7.4	9.9	12.4	14.9	17.4	20.0	22.6	25.3	28.0	30.7	33.6	36.5
67	0.0	2.6	5.1	7.7	10.3	12.9	15.5	18.2	20.9	23.6	26.4	29.2	32.1	35.1	38.2
68	0.0	2.7	5.3	8.0	10.7	13.5	16.2	19.0	21.8	24.7	27.6	30.6	33.7	36.9	40.2
69	0.0	2.8	5.5	8.4	11.2	14.1	17.0	19.9	22.8	25.9	29.0	32.2	35.5	38.9	42.5
70	0.0	2.9	5.8	8.8	11.8	14.8	17.8	20.9	24.0	27.2	30.5	33.9	37.4	41.1	45.0

Per l'ampiezza al sorgere o al tramonto apparenti del lembo superiore del Sole apportare la correzione indicata alla pag. N. 131

estratto delle tav. 17 delle effemeridi dell'IIMM