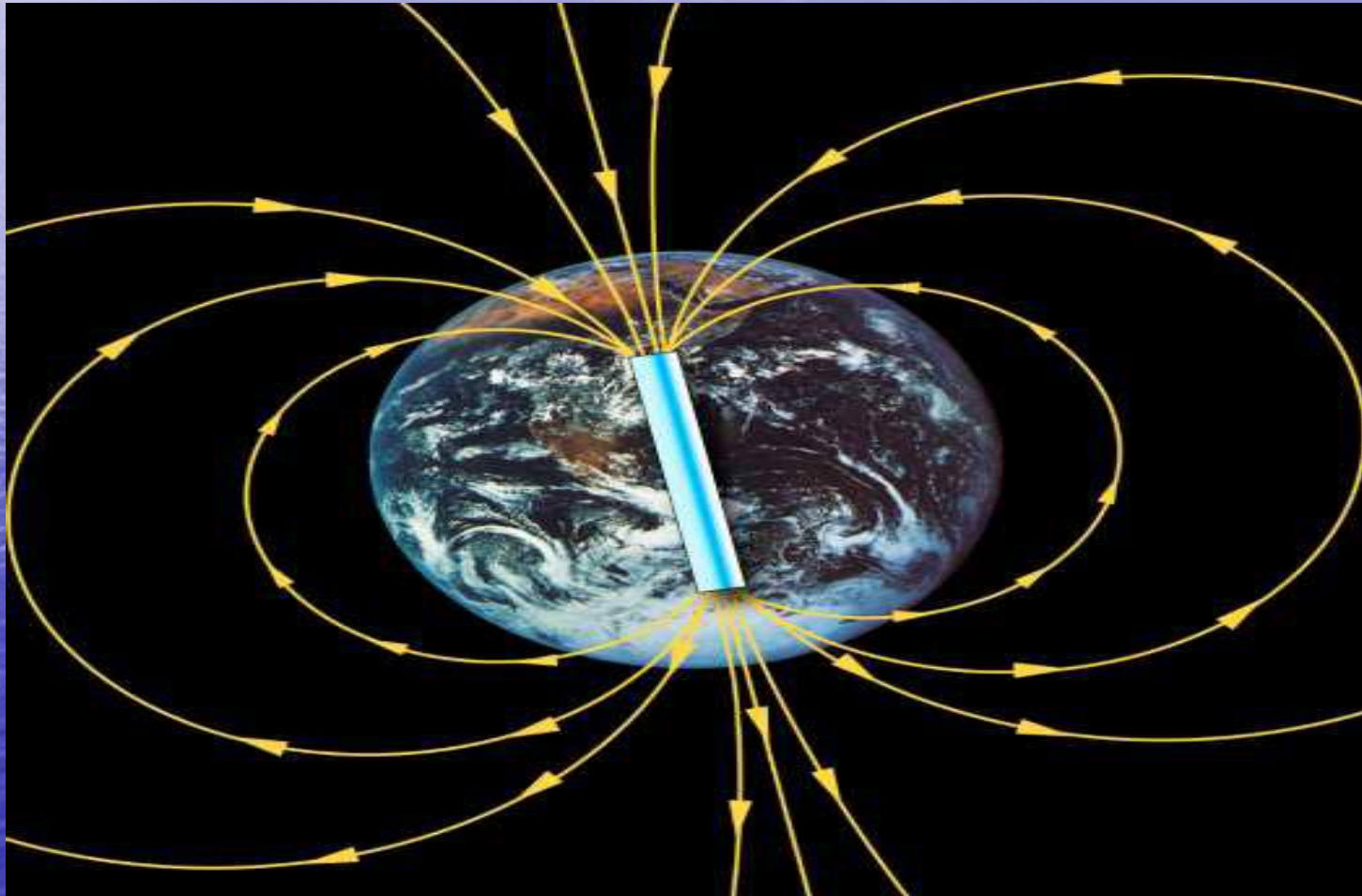


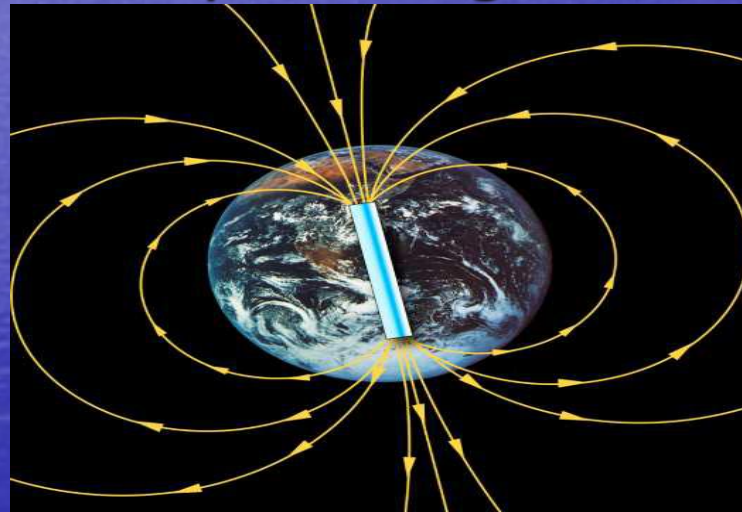
IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE. LE BUSSOLE: MAGNETICA E GIROSCOPICA



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Oggi è noto che:

in prima grossolana approssimazione la Terra si comporta come un dipolo magnetico.



Fino al Medioevo si pensava che ad attrarre l'ago magnetizzato fosse la Stella Polare.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE



Dante Alighieri nel XII canto del Paradiso dice:

*del cor de l'una delle luci nove
si mosse veloce, che l'ago alla
stella parer me fece volgermi al
suo dove.*

Guido Guinizzelli (XIII secolo)
*in quelle parti sotto tramontana
sono li monti de la calamita,
che dan vertute a l'aire
di trar lo ferro: ma perché lontana,
vole di simil petra aver aita
per farlo adoperare,
sì che l'ago si drizzi ver la stella.*

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE



La prima osservazione documentata dell'esistenza della declinazione è di Cristoforo Colombo nel 1492.

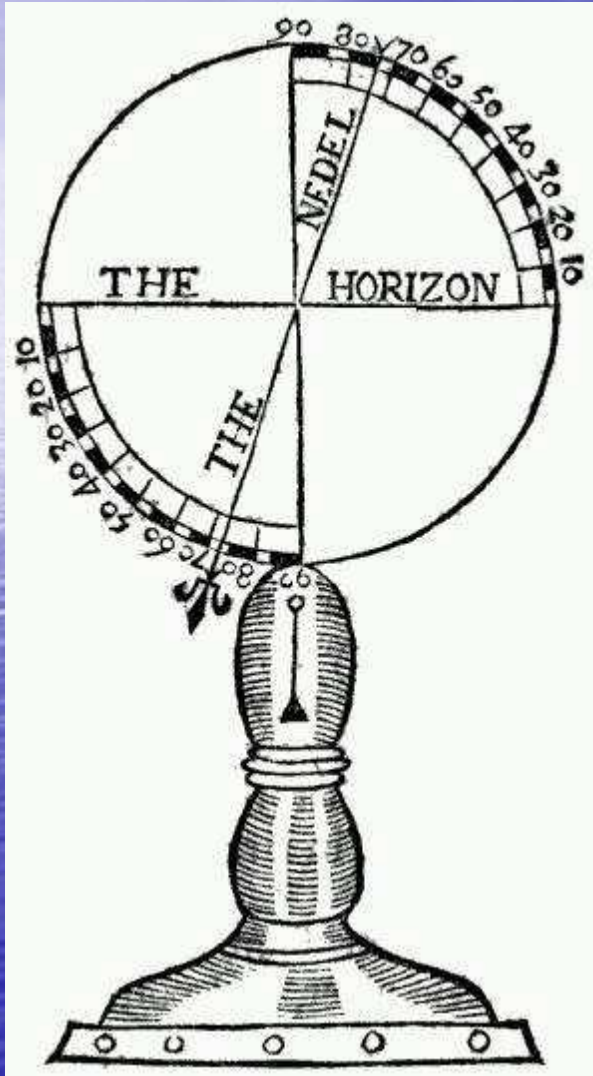
Partito da Palos il 3 agosto, e dalle Canarie il 6 settembre,

Il 9 settembre nota "la bussola grecheggia di una quarta"

Il 17 settembre nota "la bussola maestraleggia di una quarta".

Tra 10 ed 11 settembre aveva attraversato la linea agona. Dalla metà del '500 si fa strada l'ipotesi che la forza che orienta la bussola sia di origine terrestre.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE



Robert Normann
pubblica nel 1581
**“The new
attractive”** trattato
divulgativo sul
geomagnetismo in cui
si riportano risultati
sperimentali relativi in
particolare alle misure
di inclinazione e
declinazione.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

William Gilbert (1540 – 1603)

medico personale di Elisabetta I ed
astronomo inglese nel 1600 pubblica
il trattato

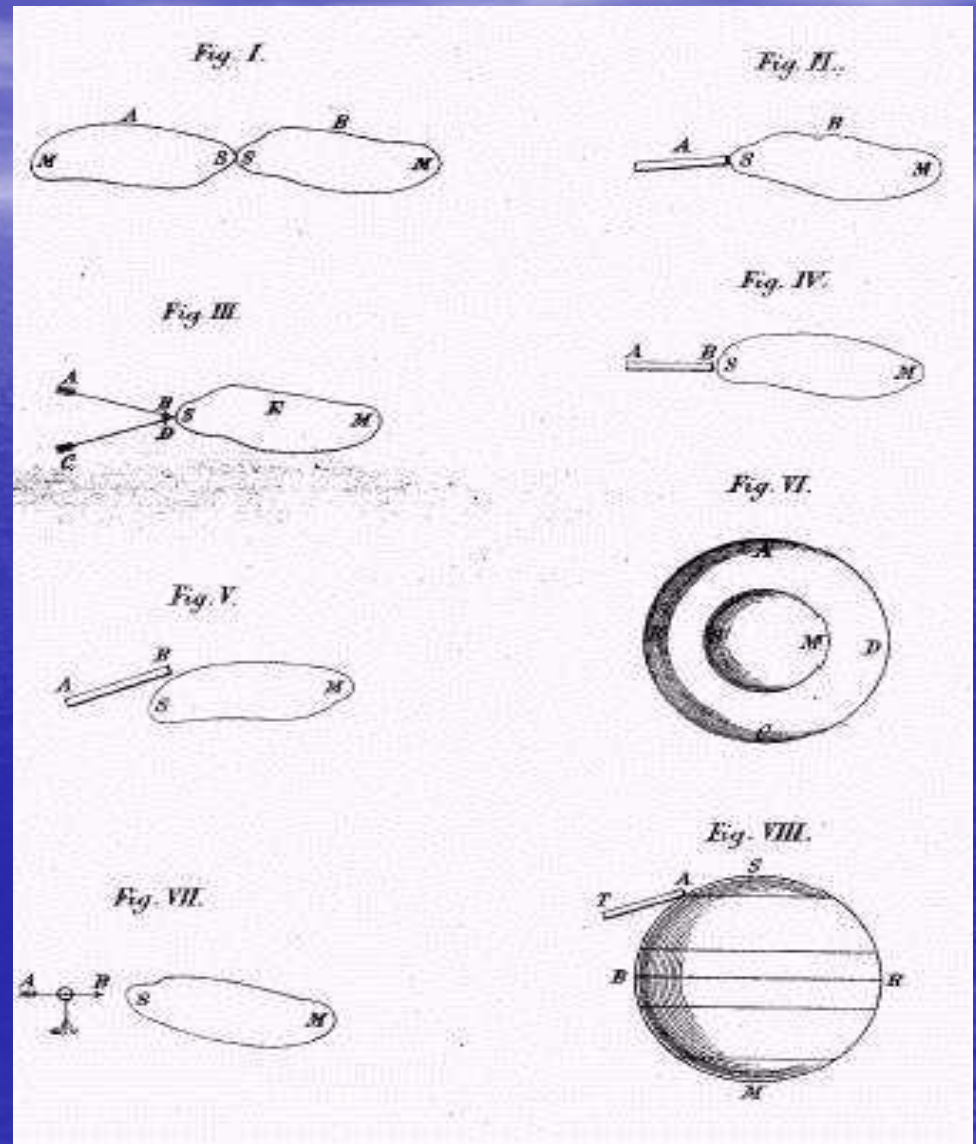
“De Magnete”

Nel testo le ipotesi formulate per
spiegare il magnetismo terrestre
sono dimostrate anche con la
descrizione di un “modello” del
globo terrestre realizzato in
magnetite.



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

In Italia
**Benedetto
Castelli**,
discepolo di
Galileo Galilei
pubblica il
***Discorso inedito
sopra la
calamita***



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

La variazione del valore della declinazione nel tempo fu osservata dalla fine del XVI sec in poi da:

1580 – 81 William Borough

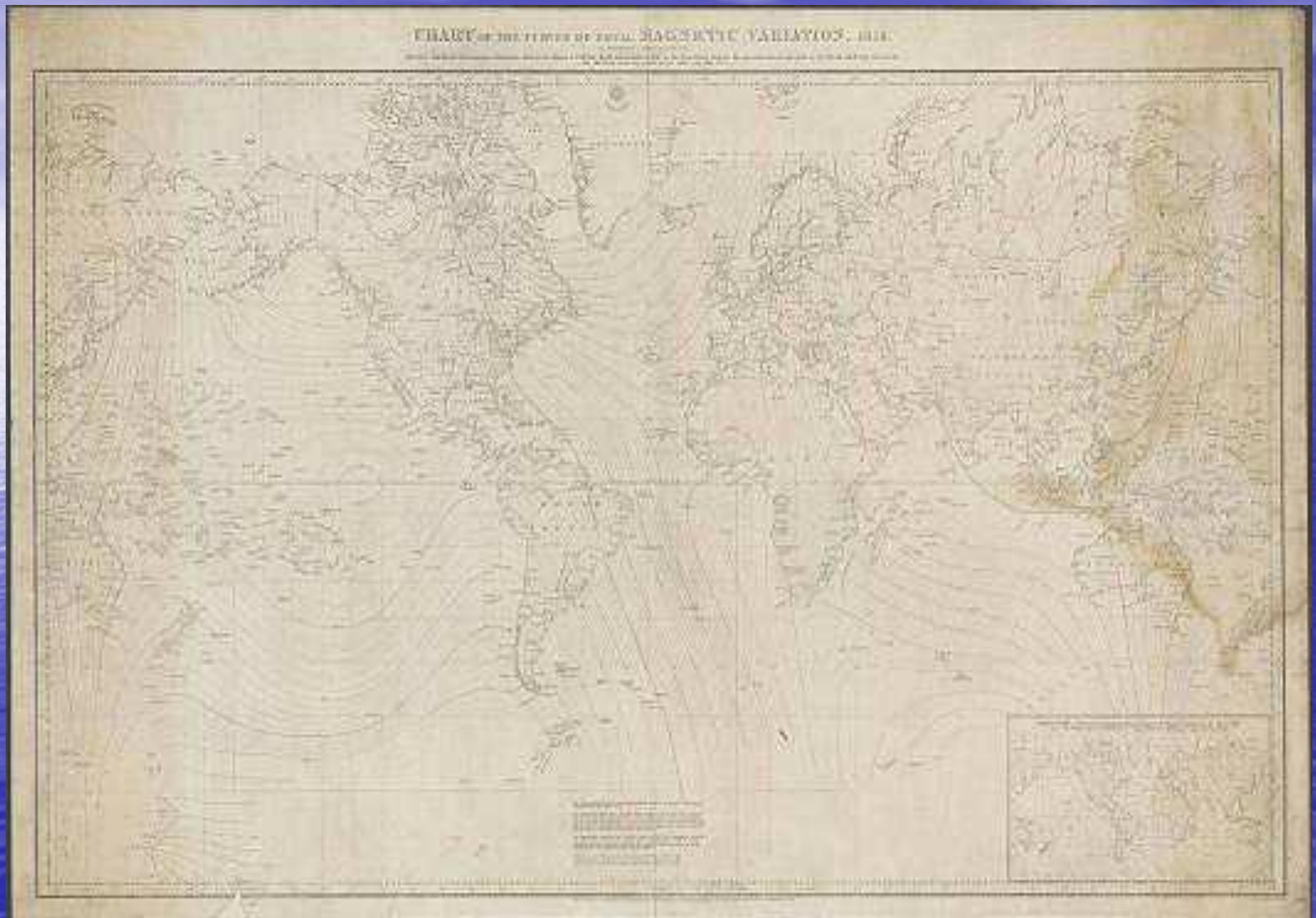
1622 Edmund Gunter

1634 Henry Gellibrand

1722 - 24 George Graham

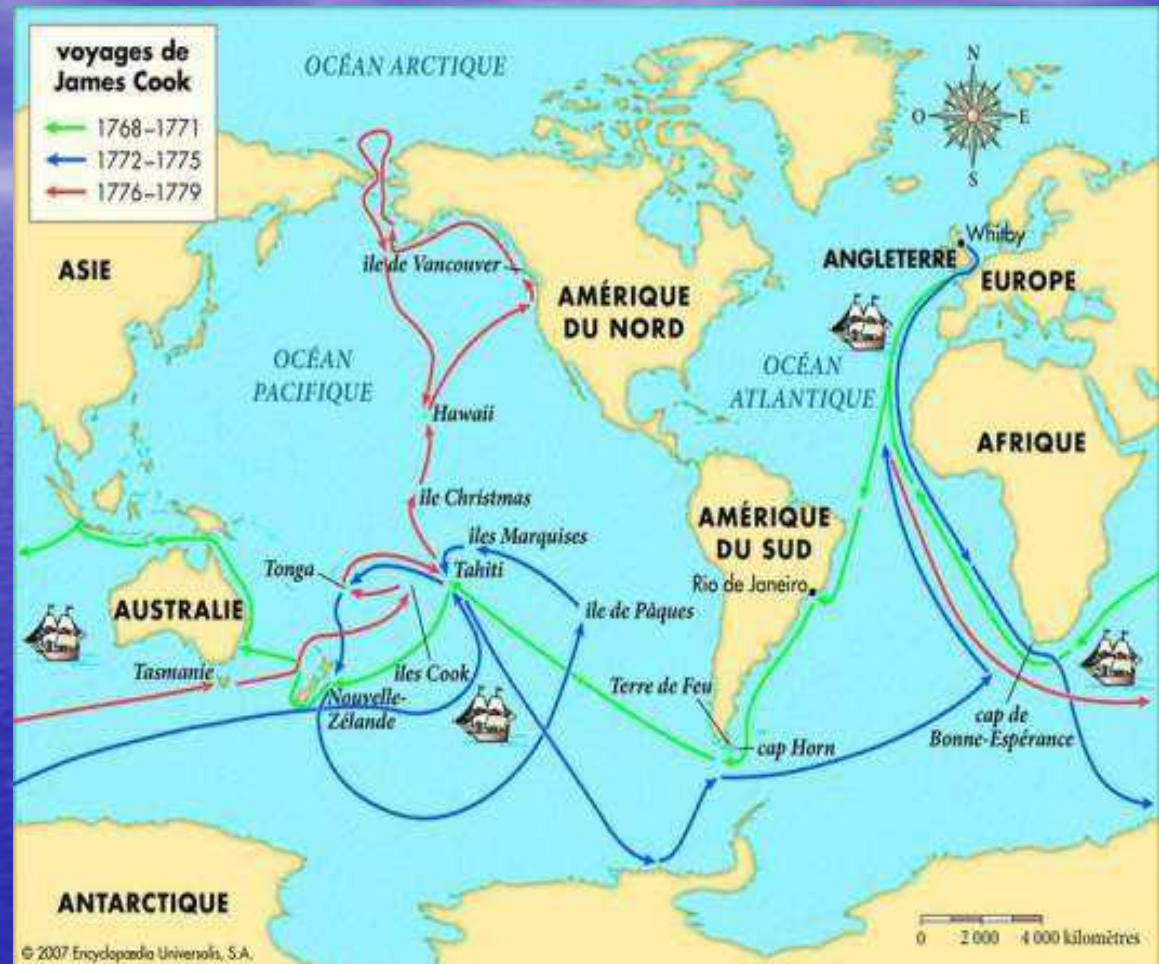
Edmund Halley (1656-1742), astronomo a Greenwich, effettuò misure di declinazione in mare e tracciò la prima carta delle isogone o linee Halleiane:

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE



IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

James Cook
durante i
viaggi di
esplorazione
intorno
all'Australia
effettuò anche
misure di
declinazione.

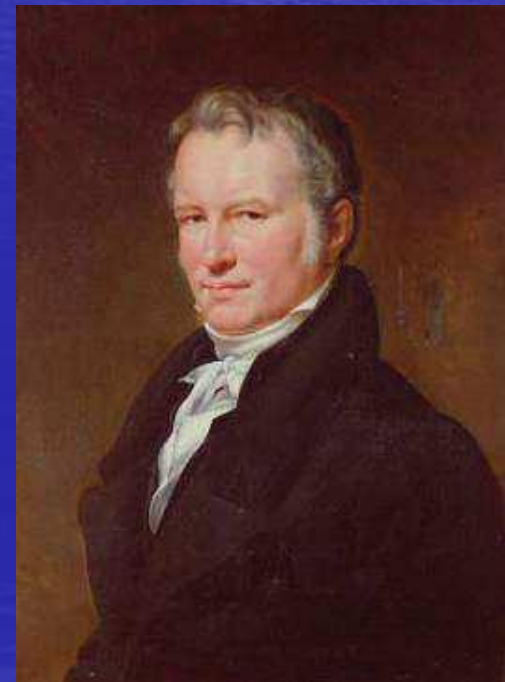


IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Nel 1804 i fisici francesi **Biot** e **Gay-Lussac** in una salita in pallone misurarono anche grandezze magnetiche.



Lo studioso **Alexandre Von Humboldt** (1769 -1859) durante il viaggio di esplorazione in Sud America raccolse molti dati sulla declinazione e la sua variazione

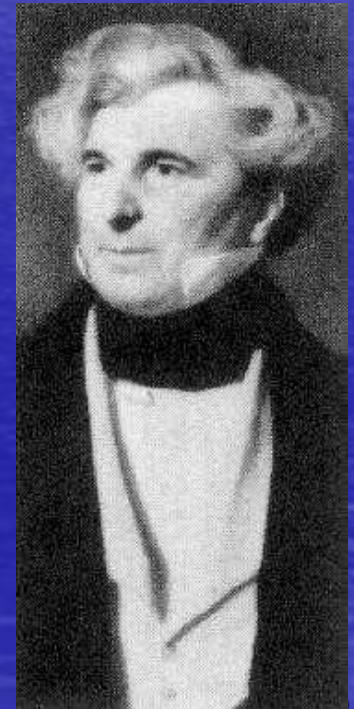


IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE



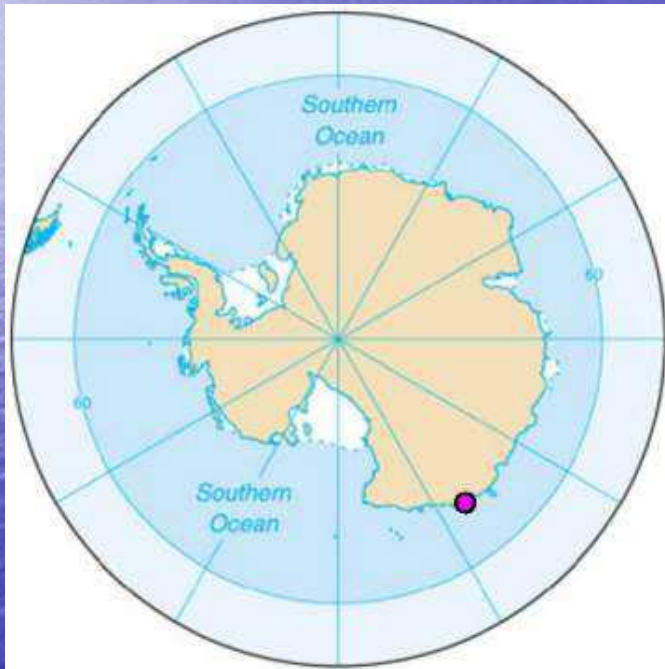
Carl Friedric Gauss (1777 - 1855) ideò nel 1837 un metodo di misura diretta della forza totale e delle sue componenti.

Nel 1829 James Ross raggiunge il polo magnetico Nord.

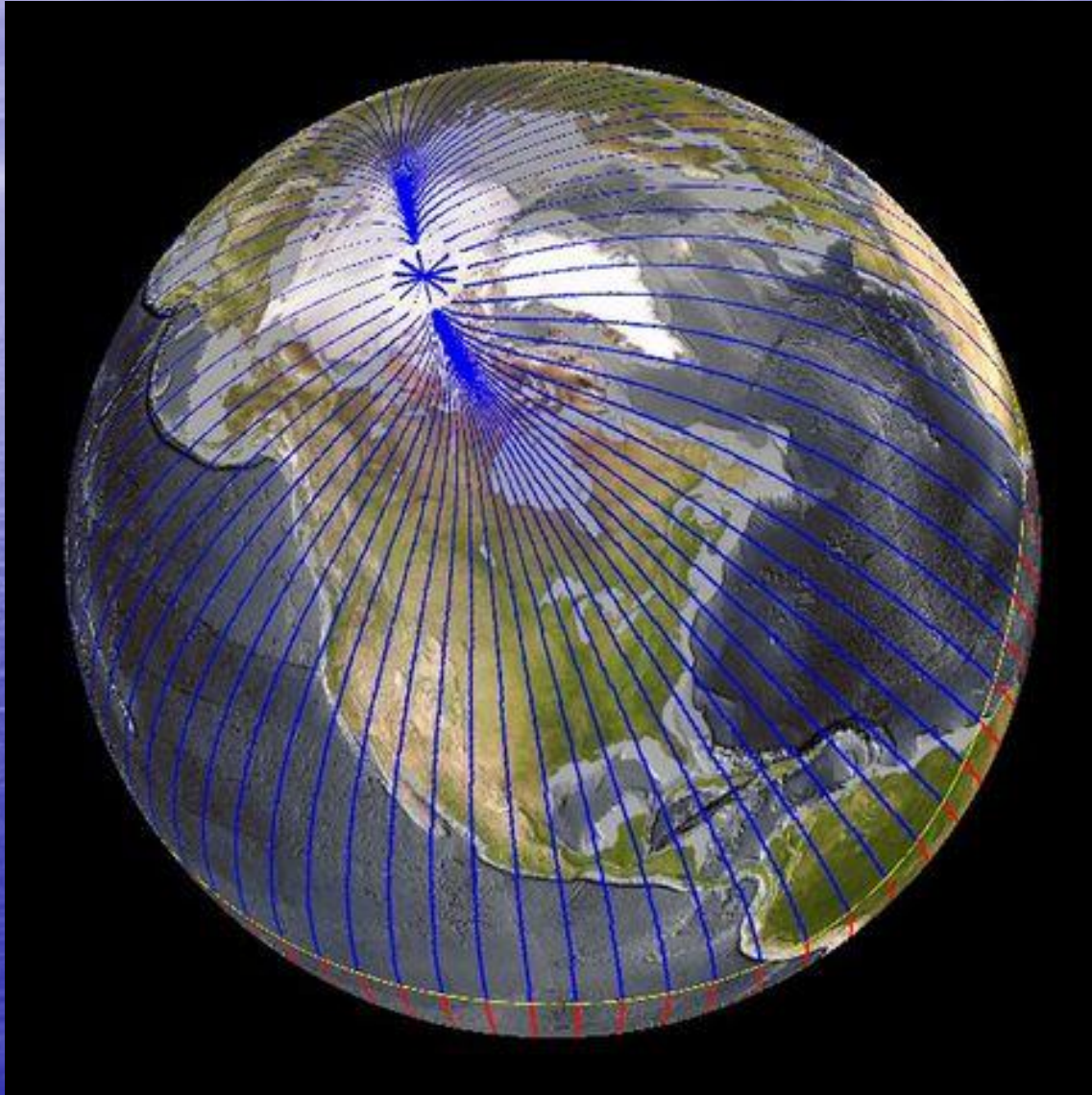


IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

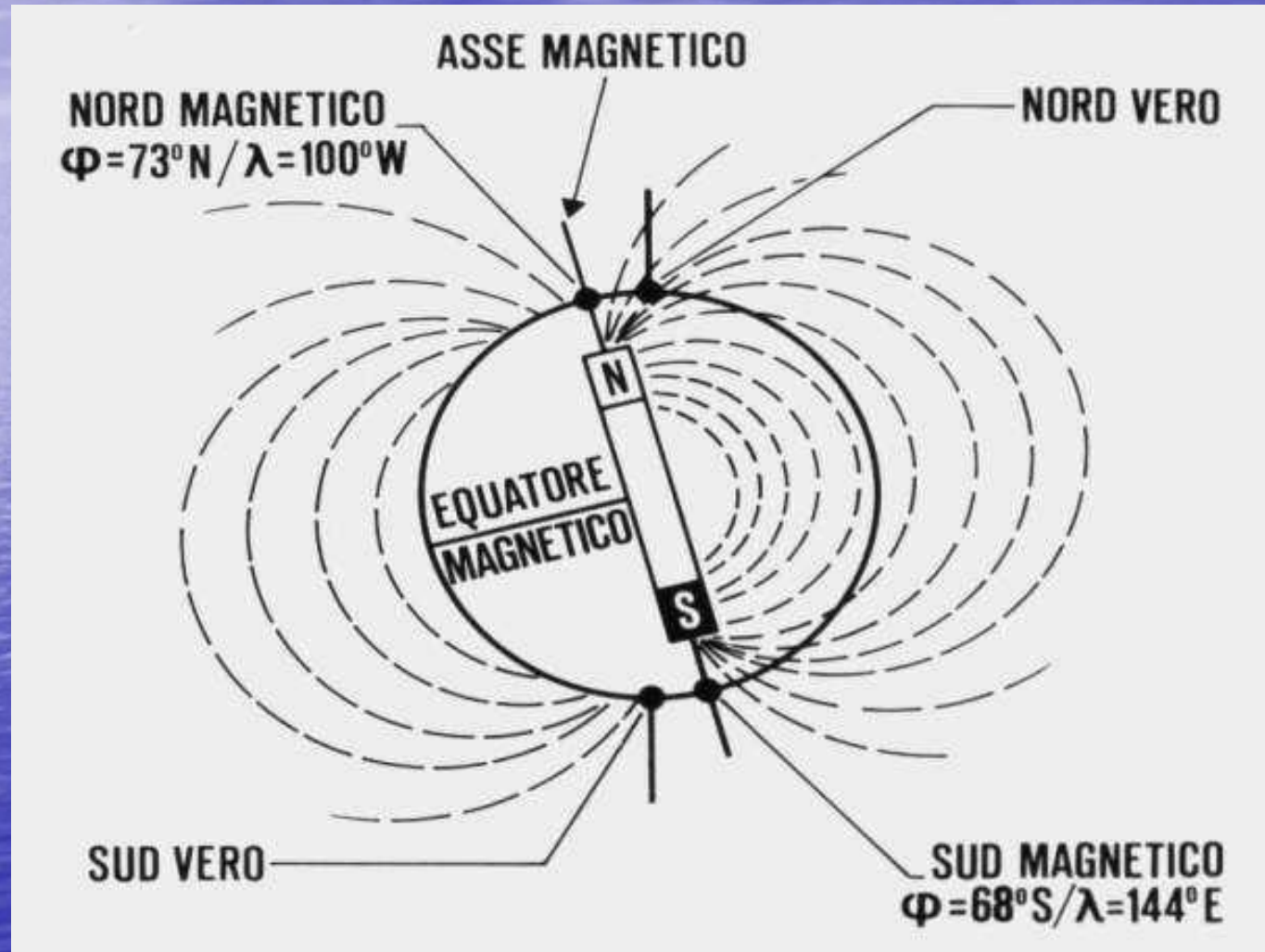
Nel 1839 Jules Dumont D'Urville raggiunge il polo magnetico SUD.



Posizione dei poli magnetici



Posizione dei poli magnetici



Posizione dei poli magnetici
Nel 2005 Il polo nord magnetico si trovava alle
coordinate: $\varphi = 82^{\circ} 42' \text{ N}$; $\lambda = 114^{\circ} 24' \text{ W}$;



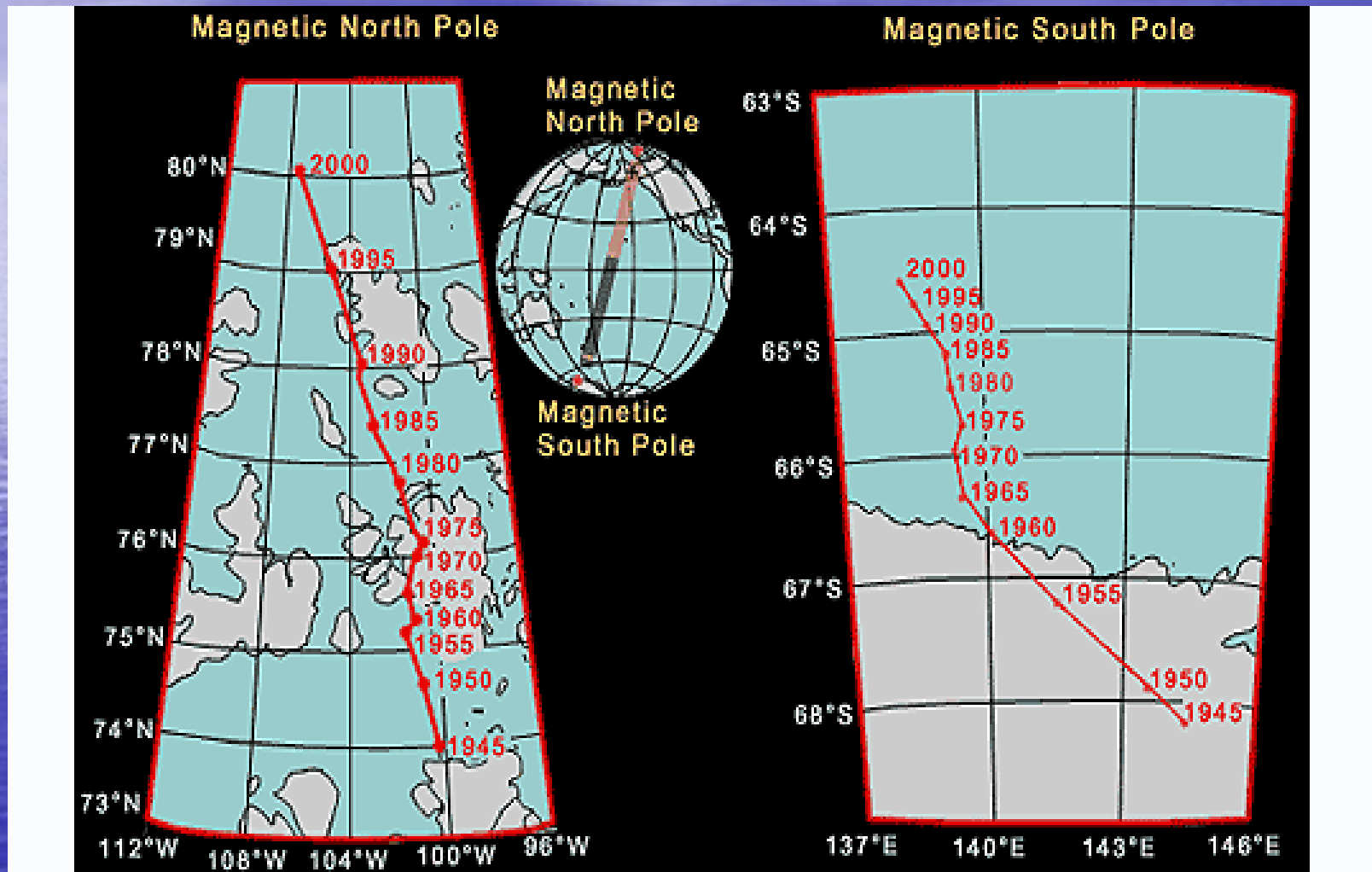
Posizione dei poli magnetici

Nel 2005 Il polo sud magnetico si trovava alle coordinate: $\varphi = 64^{\circ} 32' S$; $\lambda = 137^{\circ} 52' E$

L'Antarctique en 1914 et 2008



Polo nord e sud magnetici nei vari anni



Polo Nord e Sud magnetici nei vari anni

**Polo
magnetico
Nord**

**(2001)
81,3 N 110,8 W**

**(2004 est)
82,3 N 113,4 W**

**(2005 est)
83,1 N 117,8 W**

**(2009 est)
84,9 N 131,0 W**

**(2012 est)
85,9 N 147,0 W**

**Polo
magnetico Sud**

**(1998)
64,6 S 138,5 E**

**(2004 est)
63,5 S 138,0 E**

**(2005 est)
64,3 S 137,5 E**

**(2007)
64,4 S 137,6 E**

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

La Terra, per la presenza del suo nucleo ferro-magnetico (composto prevalentemente da ferro e nichel) funziona da colossale magnete naturale il cui dipolo, per l'eccentricità del nucleo stesso, risulta situato a circa 1200 Km. dal centro del geoide.

Ciò porta ad un imperfetto allineamento tra l'ago magnetico di una bussola e l'asse dei meridiani che coincide invece con i poli geografici. Tale deviazione viene denominata «declinazione magnetica».

Per lo stesso motivo l'ago non si dispone orizzontalmente bensì, con un angolo più o meno accentuato, rivolto verso il basso o verso l'alto. Questo angolo verticale viene chiamato «inclinazione magnetica» e nel nostro emisfero è normalmente negativo. Questo dato non ha comunque rilevanza tranne per la necessità, di bilanciare l'ago stesso onde mantenere rigorosamente orizzontale l'asse di rotazione.

L'intensità del campo magnetico viene misurata in «oersted»; l'angolo «d» di deviazione (declinazione magnetica) viene sempre indicato in gradi sessagesimali e può essere positivo, per declinazione «orientale» (E) o negativo, per declinazione «occidentale» (W).

Variazioni della declinazione

La declinazione magnetica non è mai costante nel tempo e nello spazio ma varia secondo le seguenti regole:

A) Variazioni secolari

B) Variazioni stagionali

C) Variazioni diurne e notturne

D) Variazioni accidentali

A) Variazioni secolari

Sono le variazioni principali e dipendono da spostamenti lentissimi del nucleo: esse hanno un ciclo completo di circa 600 anni di cui per 300 anni aumentano da un massimo negativo ad un massimo positivo, poi in un periodo di uguale durata decrescono sino a tornare più o meno ai valori iniziali e così di seguito nei secoli e millenni.

In Inghilterra, nella città di Londra, si sono riscontrate le seguenti variazioni storiche: nel 1600 la declinazione era di 8° Est, nel 1800 si è raggiunto il massimo valore negativo con 24° Ovest per tornare, nel 1955, a soli 8° Ovest. L'esame di questi dati fa appunto ritenere valido un ciclo periodico di circa 600 anni.

L'ultima massima declinazione occidentale per l'Italia è stata rilevata nell'anno 1814 con 22° 34' W; da allora è andata progressivamente regredendo per raggiungere, da rilevamenti 1973 dell'I.G.M., dei valori minimi e talora addirittura positivi (E).

B) Variazioni stagionali

L'anomalia magnetica varia da mese a mese ed è minima nel mese di dicembre e massima in giugno. Essa varia pertanto in funzione della temperatura media locale.

C) Variazioni diurne e notturne

Probabilmente sempre per effetto della temperatura, si hanno escursioni magnetiche diurne e notturne.

Mentre la notte l'anomalia è minima, durante il giorno oscilla da un massimo di deviazione Ovest intorno alle ore 8 del mattino ad un massimo Est verso le ore 14. Poi ritorna ad un valore medio alle 18 e si mantiene quasi stabile sino al mattino seguente.

D) Variazioni accidentali

Sono dovute principalmente ad anomalie proprie della zona (presenza di minerali o rocce ad alto contenuto magnetico), le perturbazioni elettriche ed elettromagnetiche (tra cui principalmente le macchie solari, l'approssimarsi di temporali e la vicinanza di linee elettriche, trasformatori, eccetera). Mentre le anomalie stagionali e diurne non comportano variazioni degne di rilievo, almeno per i nostri scopi, in quanto la somma dei loro effetti difficilmente supera i 5'-6' di grado.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Ma qual è l'origine del CMT? Ancora non si sa con certezza, ma non si può pensare che sia causato dalla presenza di grosse quantità di ferro e nichel nel centro della Terra, poiché questi minerali si troverebbero ad una temperatura superiore a quella del punto di Curie. (È detto **punto di Curie**, o **temperatura di Curie**, quel valore **di temperatura** al di sopra del quale un materiale ferromagnetico perde alcune delle sue proprietà e si comporta similmente a uno paramagnetico, per il ferro è 580° Celsius). C'è un accordo internazionale nel considerare il CMT dovuto a correnti elettriche in movimento lungo il nucleo esterno, la cui conducibilità elettrica deve essere altissima.

Studi Italiani sul CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

L'Italia, agli inizi del secolo scorso ha condotto numerose spedizioni di studio sul campo magnetico terrestre.

Campagna italiana di rilievi in Himalaia nel 1913 / 14
Stazioni per rilievi geomagnetici.



Fig. 2. - Stazione magnetica a Dras.

Nave idrografica Città di Milano utilizzata per la campagna di rilievi in Artico, negli anni 1920-30. Il Comandante Modena vi sperimentò i correttori di ferro dolce che da lui presero nome.

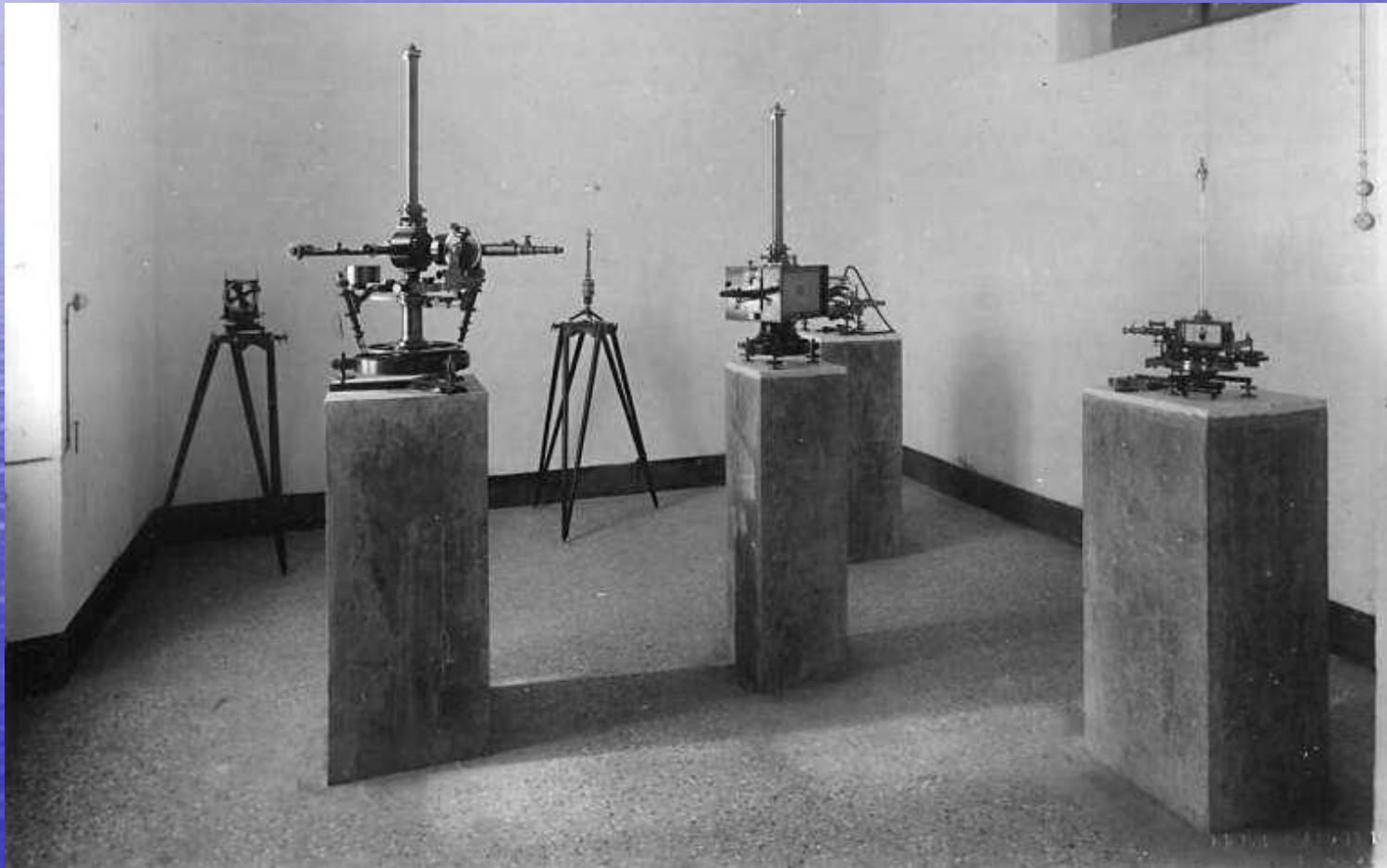


Studi Italiani sul CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Osservatorio geomagnetico al Forte Castellaccio (GENOVA) attivo tra il 1932 al 1972



Sala strumenti magnetici all'osservatorio Castellaccio



Studi Italiani sul CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Alcuni strumenti dell'osservatorio geomagnetico dell'Istituto Idrografico della Marina

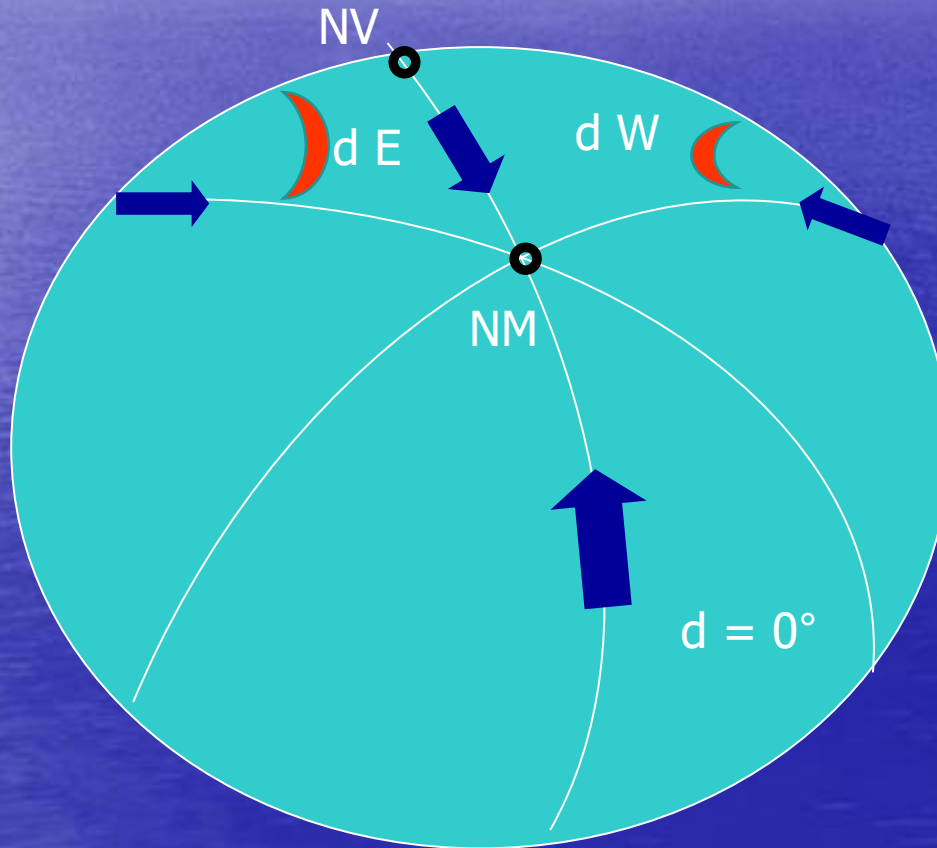


IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

La bussola magnetica in assenza di campi perturbatori si allinea verso il Nord Magnetico, l'angolo compreso tra la direzione del nord vero e quella del nord magnetico prende il nome di:

declinazione magnetica (d) .

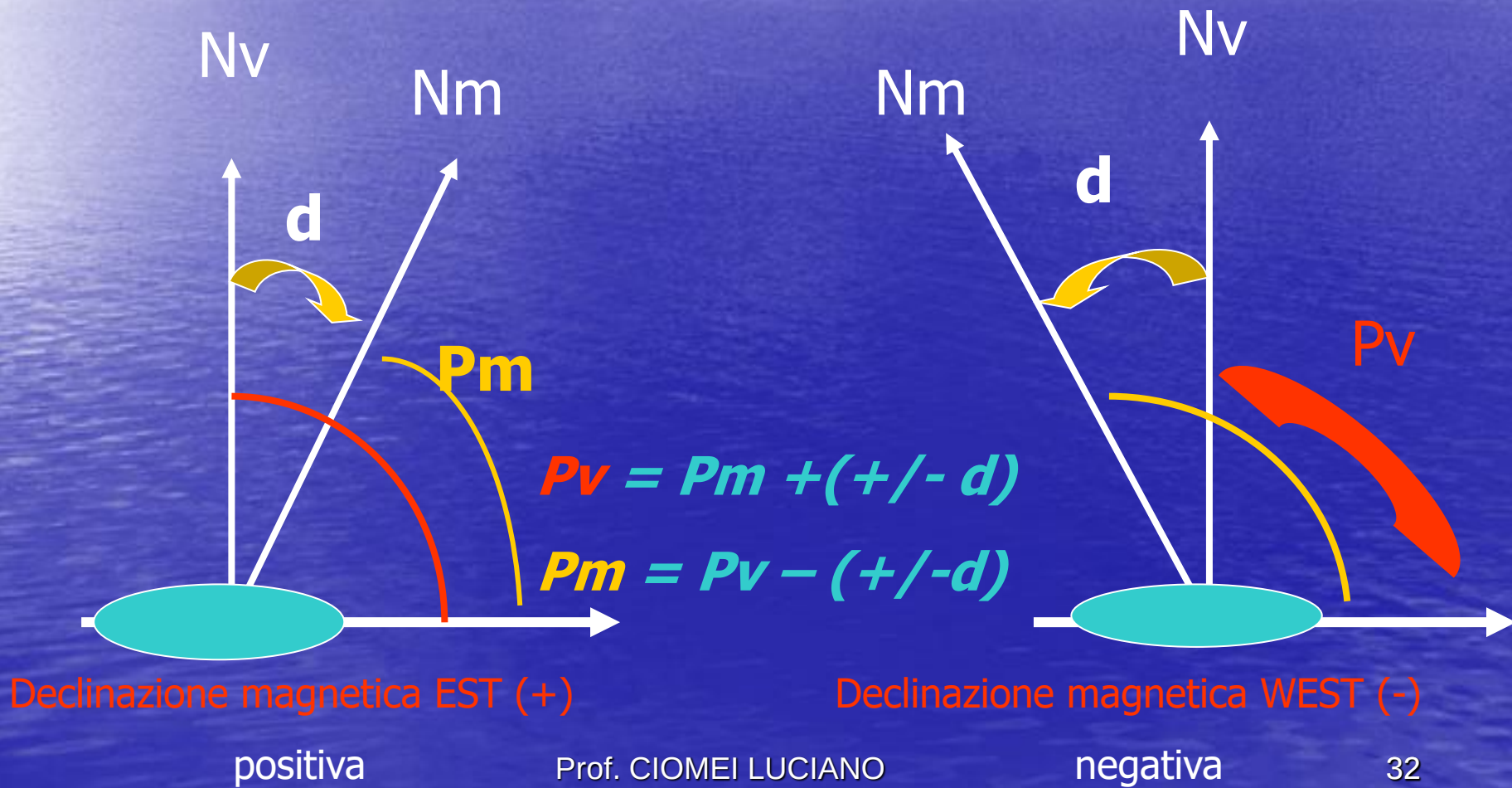
Il valore di d è compreso tra 0° a 180° verso Est o verso West.



Il valore di d varia nel tempo, a causa del continuo spostamento del NM.

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

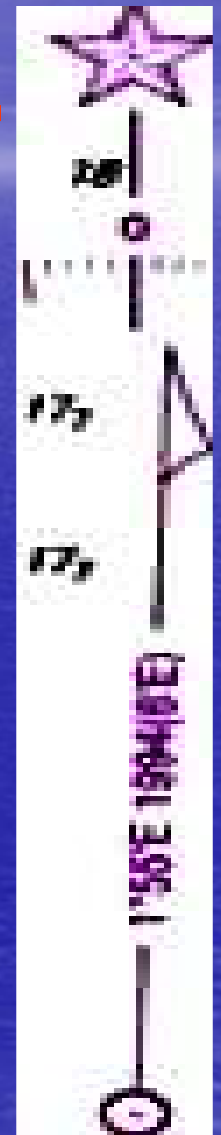
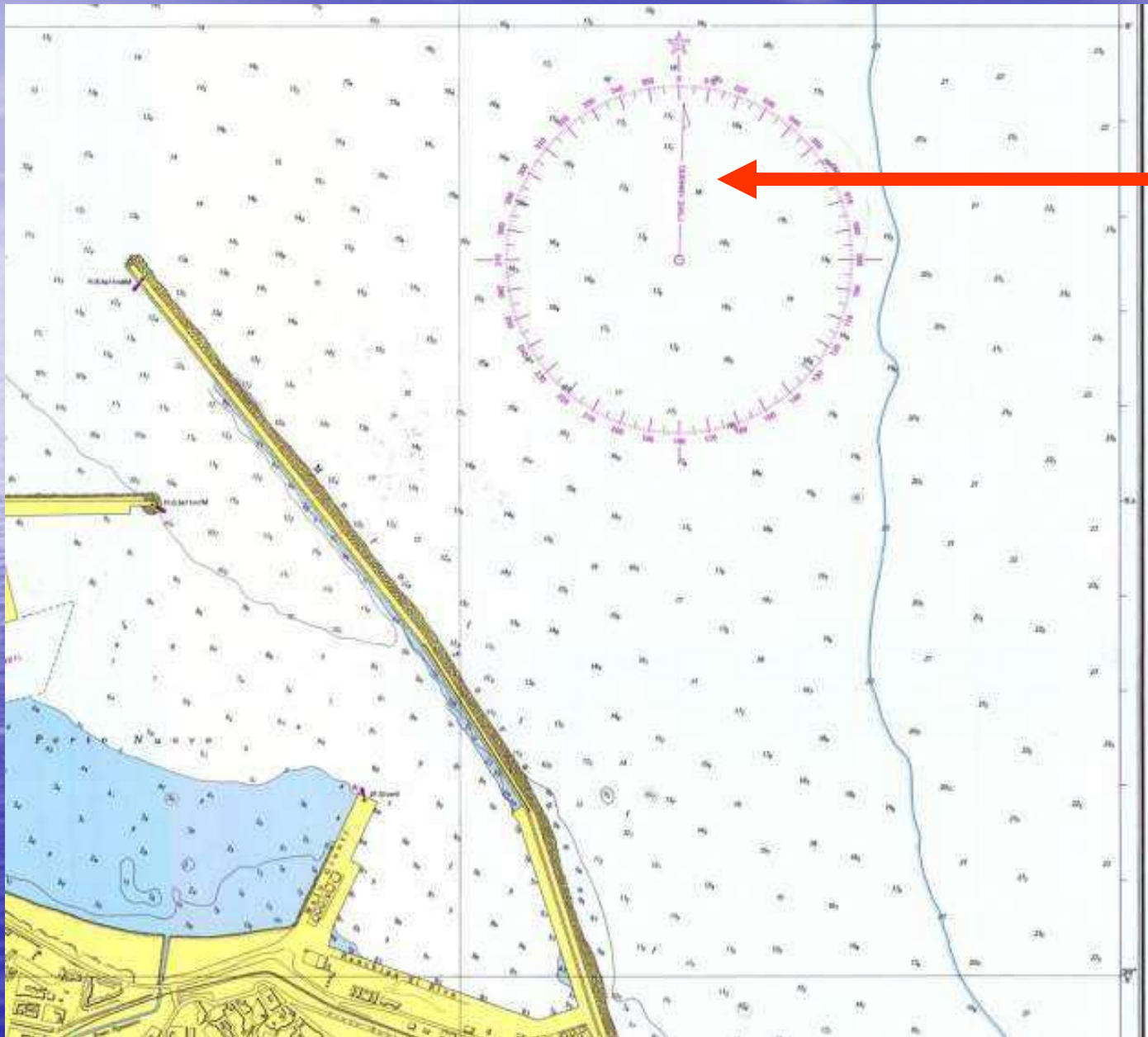
La bussola magnetica in assenza di campi perturbatori si allinea verso il Nord Magnetico.



Carta delle isogone



Indicazione della declinazione su carta nautica

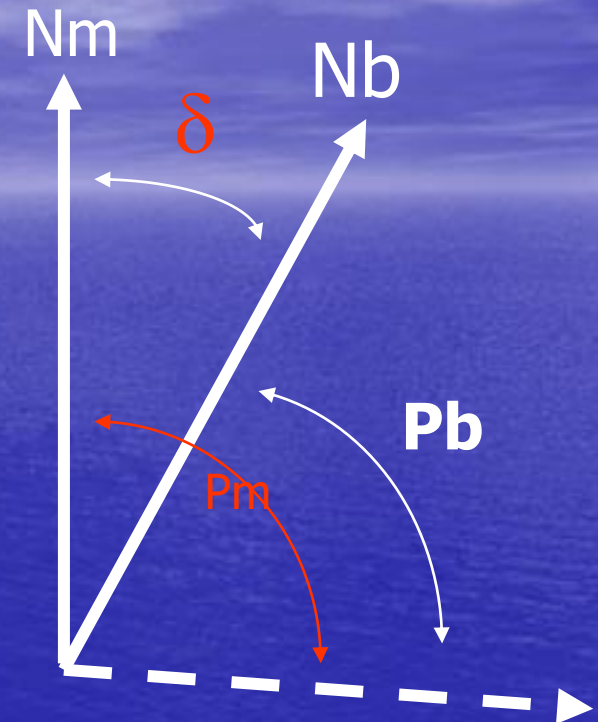


- L'invenzione della bussola si attribuisce ai cinesi . Essi scoprirono il campo magnetico terrestre. Pare che in origine utilizzassero tale scoperta come spettacolo d'attrazione: delle lancette magnetizzate venivano lanciate come si fa coi dadi e queste, per lo stupore degli spettatori presenti, finivano per indicare sempre il Nord. Passò molto tempo prima che questa "attrazione circense" fosse applicata alla navigazione. Fu introdotta in Europa nel XII secolo attraverso gli Arabi e gli amalfitani: il primo riferimento all'uso della bussola nella navigazione nell'Europa occidentale è il *De nominibus utensilium* di Alexander Neckam (1180-1187).
- La leggenda che vuole che la bussola sia stata inventata da Flavio Gioia di Amalfi nasce da un errore di interpretazione di un testo latino, che riferiva soltanto che l'invenzione della bussola era attribuita dallo storico Flavio Biondo agli Amalfitani: il filologo Giambattista Pio capì invece che la bussola fosse stata inventata dall'amalfitano Flavio Gioia. Nel testo in questione (*Amalphi in Campania veteri magnetis usus inventus a Flavio traditur*), tuttavia, *Flavio* non si riferisce all'inventore della bussola, ma a colui che ha riportato la notizia, Flavio Biondo.

Necessità della compensazione

A bordo di una nave in acciaio la bussola si allinea lungo la risultante dei campi magnetici presenti:

- il campo magnetico terrestre,
 - ed i campi propri della nave.
- tale direzione è il Nord bussola
C'è deviazione δ se le direzioni Nm e Nb non coincidono.



$$Pb = Pm - (+/- \delta)$$
$$Pm = Pb + (+/- \delta)$$



Necessità della compensazione

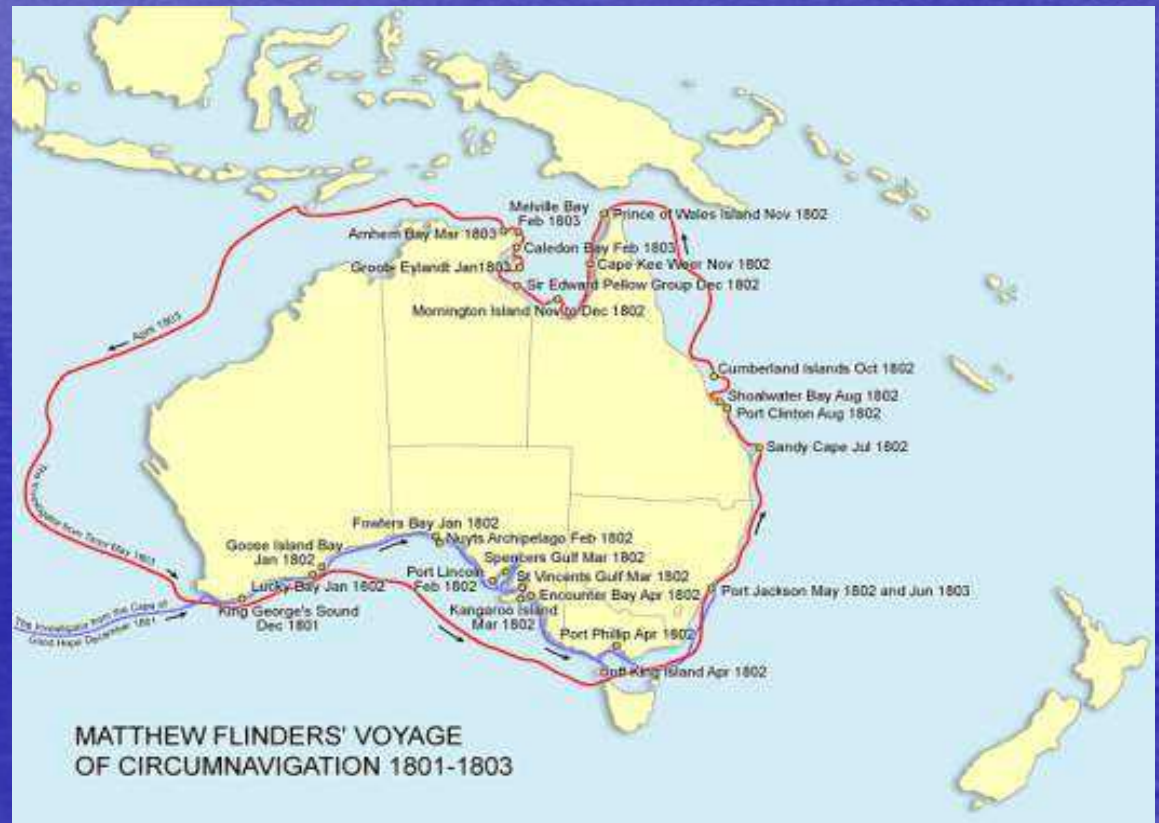
- 1666 - prima osservazione dell'esistenza della deviazione a Dieppe.
- 1768 – William Wales durante i viaggi con Cook osservò che la deviazione varia al cambiare della prora.
- 1790 – si notò che masse ferrose a bordo in diverse posizioni causavano deviazioni differenti.

Necessità della compensazione



1801 – 1805 Mathew Flinders osservò le differenze di deviazione al cambiare della latitudine e realizzò un correttore adeguato, la Sbarra di Flinders

1812 – si definì la posizione per la bussola normale



Necessità della compensazione



Nel 1838 – Simeon Poisson formulò la trattazione teorica del magnetismo navale e definì le formule che legano la deviazione alle forze dovute ai campi di bordo.

Nel 1840 – l'astronomo di corte Airy fornì il primo trattato di norme pratiche di compensazione da allora applicate sulle navi.



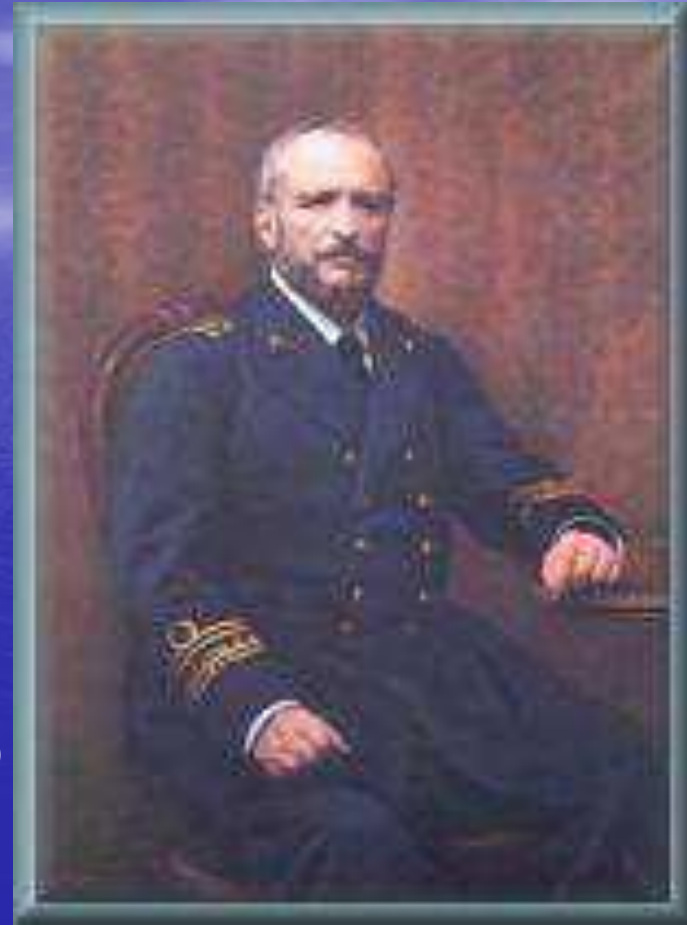
Nel 1875 – Archibald Smith pubblicò le formule per dedurre il valore delle forze perturbatrici dall'ampiezza delle deviazioni.

Necessità della compensazione

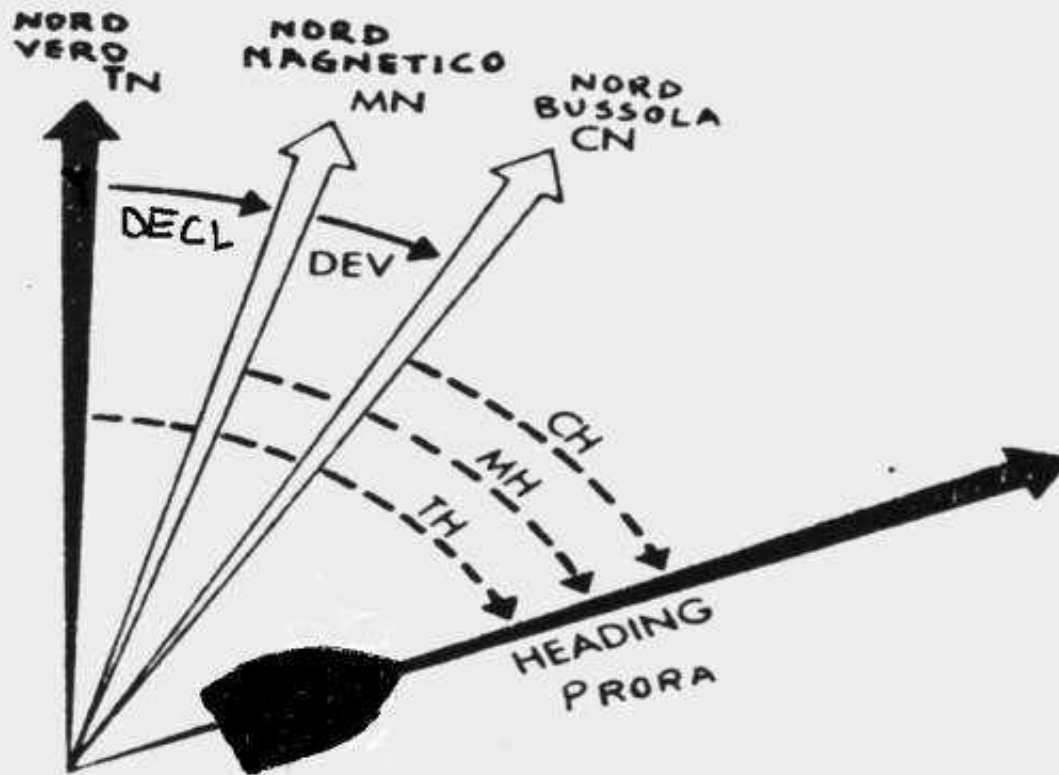
Nel 1875 l'Ammiraglio Magnaghi iniziò gli studi sul magnetismo navale che portarono alla realizzazione della bussola a liquido ed alla realizzazione di correttori quali i "cilindri del Modena"



Bussola a liquido Magnaghi
Peso equipaggio magnetico
in aria circa 260 g
Peso sul perno in acqua
circa 10 g



La deviazione varia al variare dell'angolo di prora



Formule di
correzione

$$P_v = (P_b + \delta + d)$$

$$R_{ilv} = (R_{lb} + \delta + d)$$

Formule di
conversione

$$(P_v - d - \delta) = P_b$$

$$(R_{ilv} - d - \delta) = R_{lb}$$

Necessità della compensazione

Compensare la bussola vuol dire disporre nelle immediate vicinanze dello strumento elementi ferromagnetici capaci di creare campi opposti rispetto a quelli propri della nave.



La compensazione

Per compensare la presenza dei campi perturbatori occorre misurare la deviazione, conoscere con precisione l'orientamento della nave e calcolare la deviazione

$$\delta^{\circ} = P_m - P_b$$

e ridurla al minimo
disponendo gli appropriati correttori.

La compensazione

A bordo di una nave sono presenti:

ferri duri e ferri dolci

che determinano rispettivamente

campi permanenti e campi temporanei o indotti

e si compensano rispettivamente con

magneti e correttori di ferro dolce

di ciascun tipo di campo perturbatore si analizza l'effetto di deviazione e lo si compensa uno alla volta.

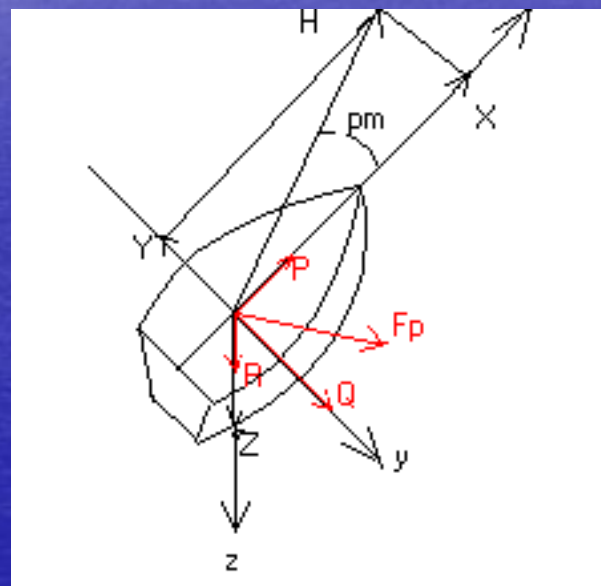
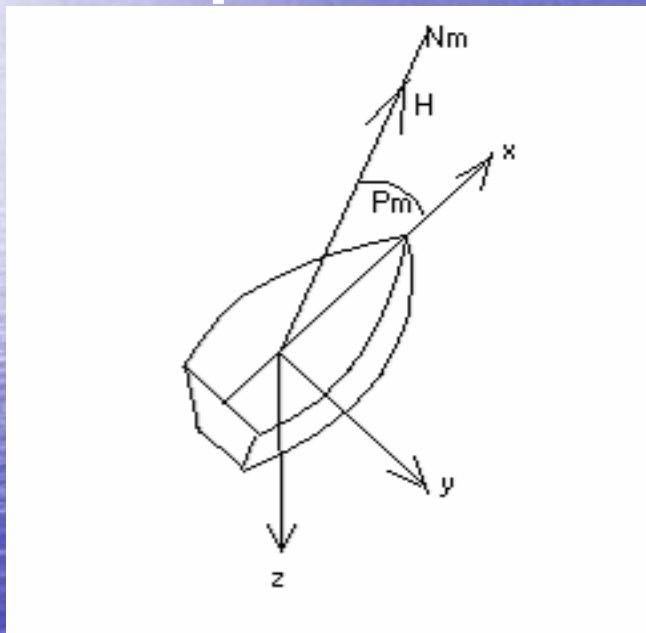
PRINCIPIO DELLA COMPENSAZIONE.

Compensare una bussola significa contrastare i campi magnetici dovuti ai ferri di bordo nell'intorno della bussola, con campi magnetici di segno opposto, con la finalità di contrastare le maggiori forze deviatrici. A tale scopo, si collocano nella chiesuola i magneti per compensare il c.m.p. dovuto ai ferri duri, intorno alla chiesuola si sistemano i ferri dolci per compensare il campo magnetico temporaneo o indotto, causato dai ferri dolci della nave.

La compensazione

I campi permanenti sono fissi sulla nave comunque essa sia orientata.

Si compensano con magneti.



Si considera il campo permanente costituito da 3 componenti e si compensa ciascuna componente quando la nave è nella posizione in cui tale componente dà la massima deviazione.

La compensazione

Per calibrare l'inserimento dei magneti di compensazione verticali è necessario utilizzare la:
Bilancetta di inclinazione



La compensazione



Cerchio in marmo con ago per determinare l'inclinazione magnetica
"Museo GALILEO di FIRENZE"

Prof. CIOMEI LUCIANO

Bussola di inclinazione

FUNZIONAMENTO

Sospendiamo un ago nel suo centro di gravità in modo che esso possa ruotare liberamente in tutte le direzioni sia orizzontali che verticali. Si può osservare che, normalmente, esso è inclinato rispetto al piano orizzontale.

L'angolo formato dall'ago magnetico col piano orizzontale si chiama inclinazione magnetica del punto di osservazione.

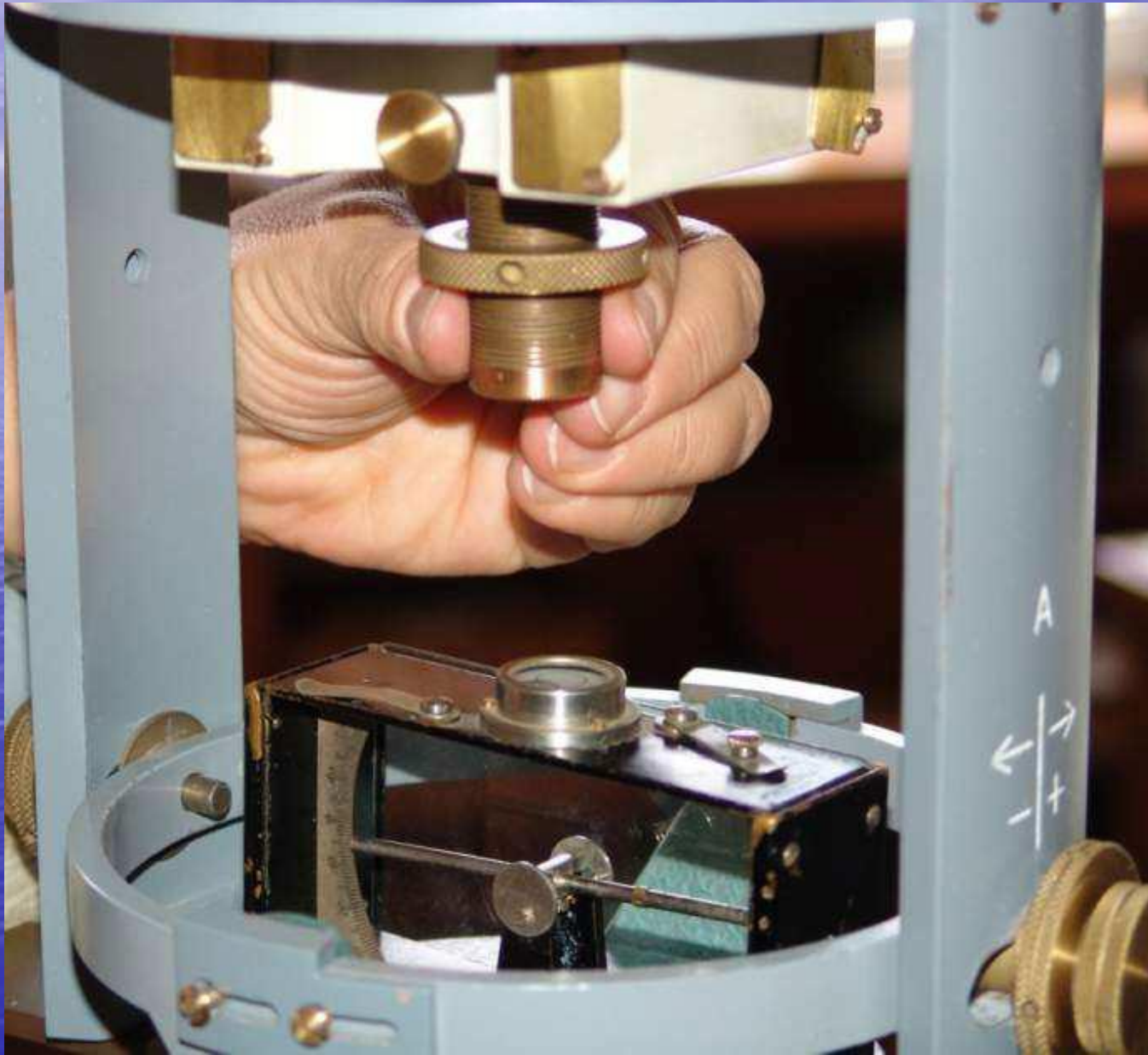
Essa è positiva quando il polo nord è in basso e negativa nel caso contrario.

Riportando e unendo su una carta geografica tutti i punti che hanno uguale inclinazione magnetica otteniamo delle linee che sono dette isocline.

Una isoclina particolarmente importante è quella che ha inclinazione zero, essa costituisce l'equatore magnetico.

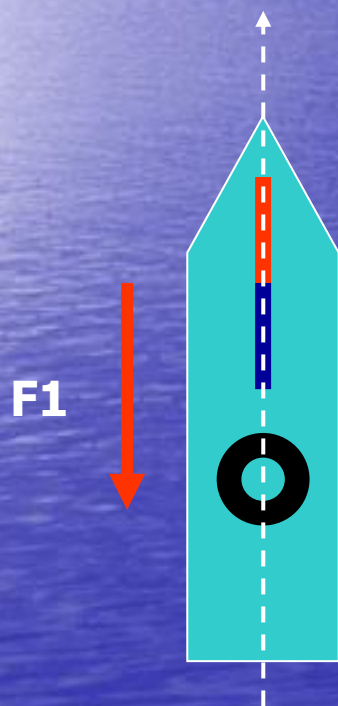
In uno stesso punto l'inclinazione magnetica è soggetta a una lenta variazione secolare oltre che a una variazione diurna e a fluttuazioni irregolari causate dalle tempeste magnetiche (tempesta solare)

La compensazione



La compensazione

Le componenti orizzontali del campo permanente
causano deviazione massima:
con prora per E o W per la componente longitudinale



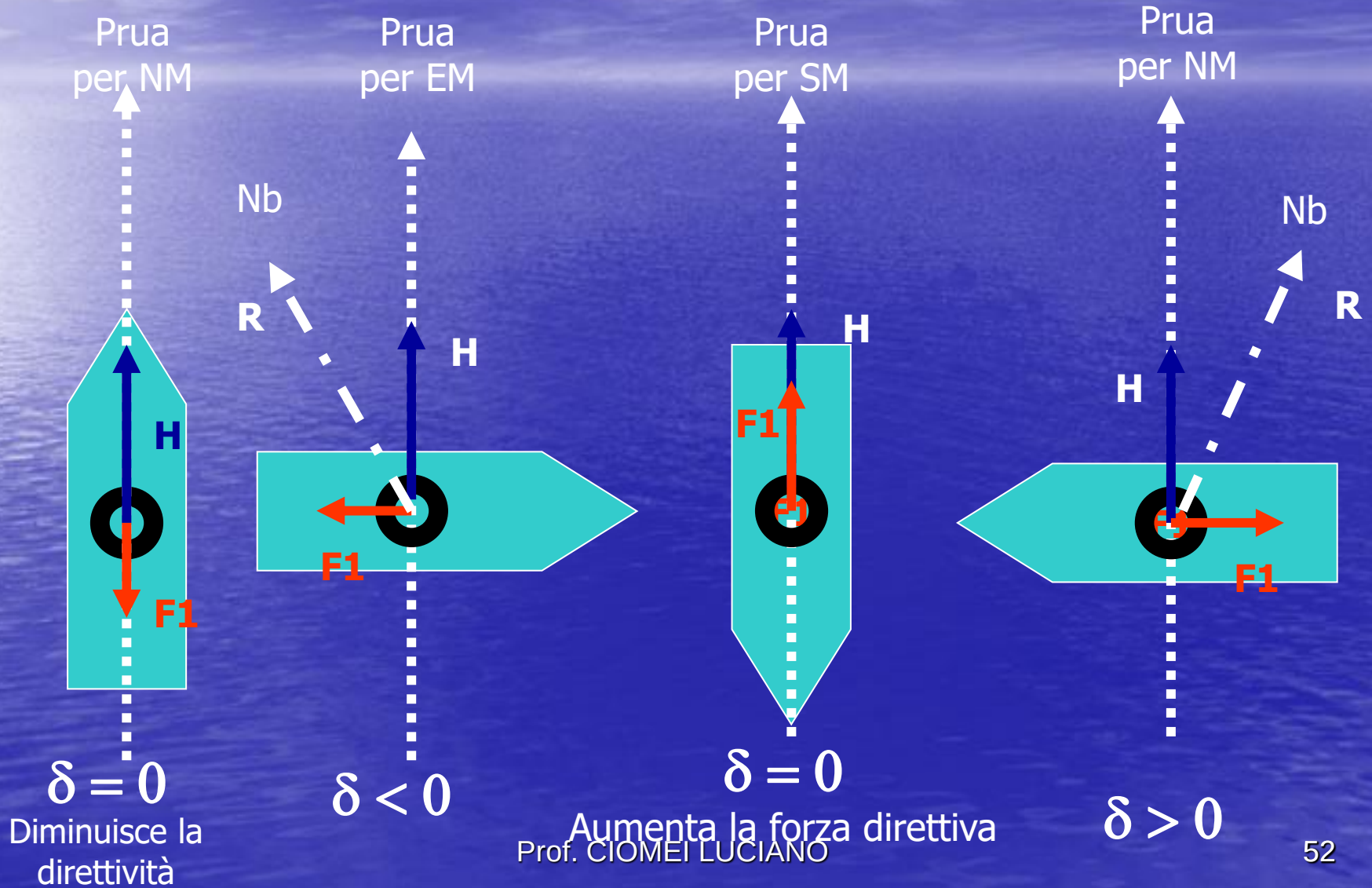
H = componente orizzontale CMT.

**F_1 = componente longitudinale del
CMP con polarità N verso prora.**

○ = posizione della bussola

R = forza direttiva risultante

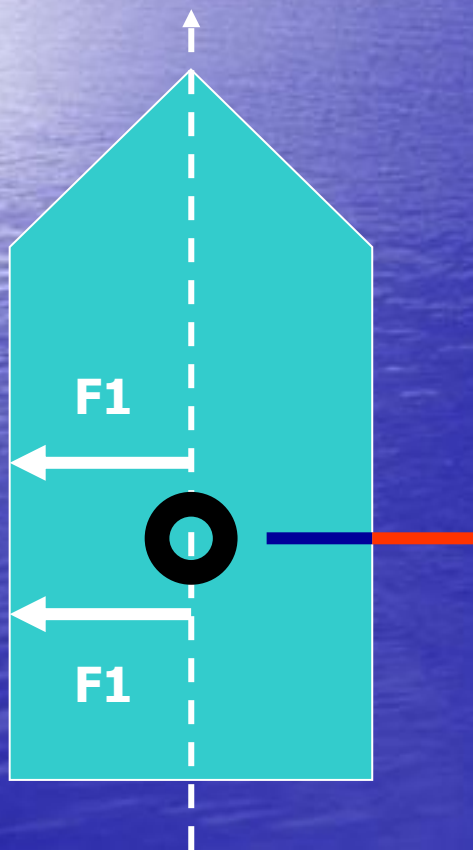
La compensazione



La compensazione

Le componenti orizzontali del campo permanente causano deviazione massima:

Con prora per N o S per la componente trasversale.

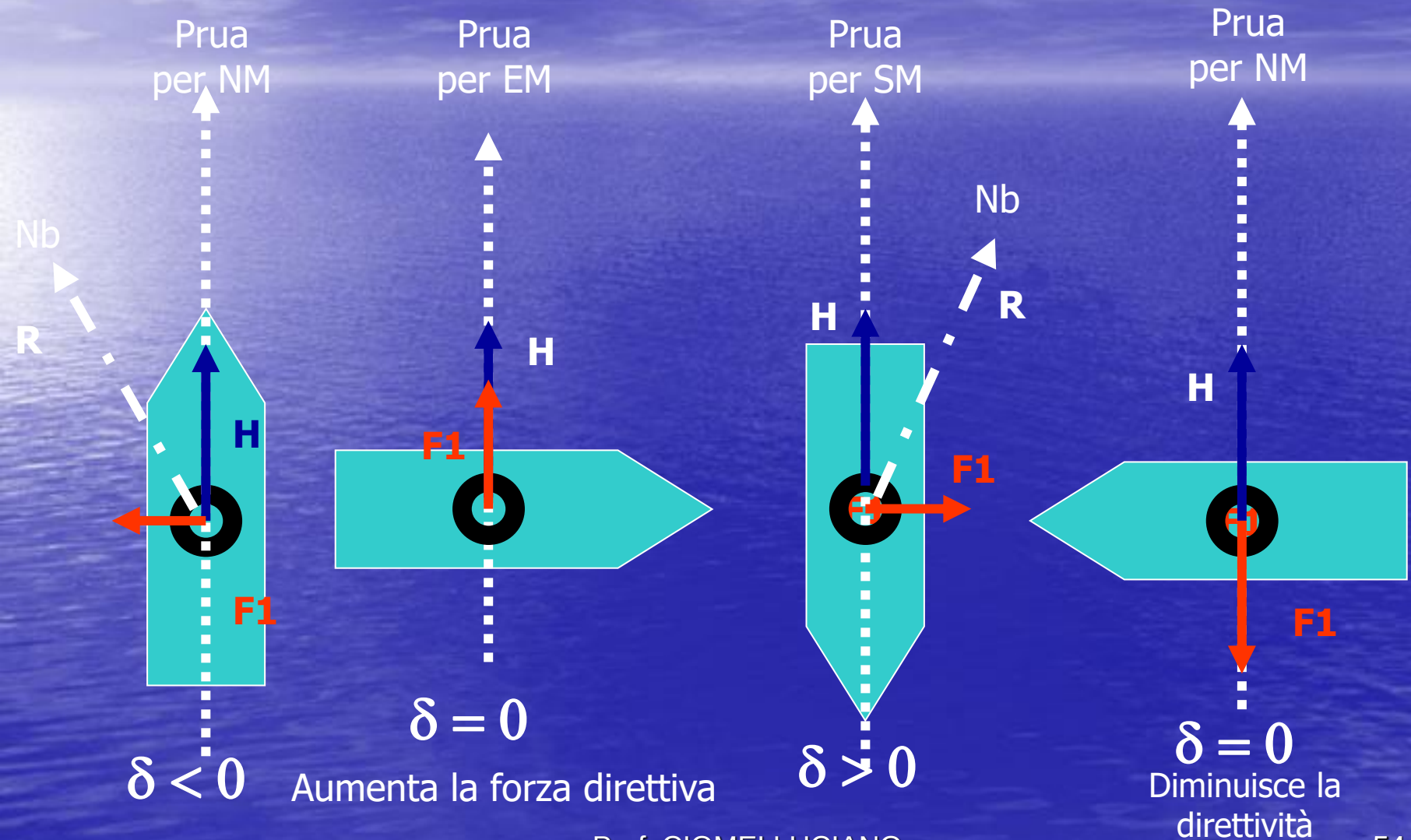


H = componente orizzontale CMT.
 F_1 = componente trasversale del CMP
con polarità N verso dritta.

⊙ = posizione della bussola

R = forza direttiva risultante

La compensazione



La compensazione

Dispositivo porta magneti in chiesuola per bussola



Necessità della compensazione

Anche sugli aerei si fa la compensazione della bussola magnetica prima di ogni volo.

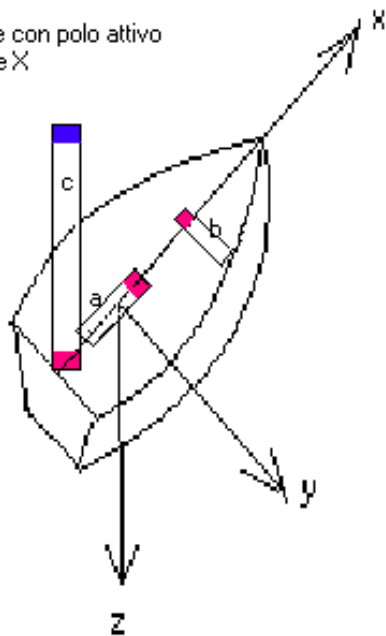
La bussola usata sui veivoli è detta giromagnetica, costituita da un elemento magnetico sensibile il più lontano possibile dalle eventuali cause di disturbo (per esempio nelle estremità alari o nella deriva), utilizzando un giroscopio per fornire un riferimento direzionale fisso e sistemando nel posto di pilotaggio un'apparecchiatura ripetitrice.



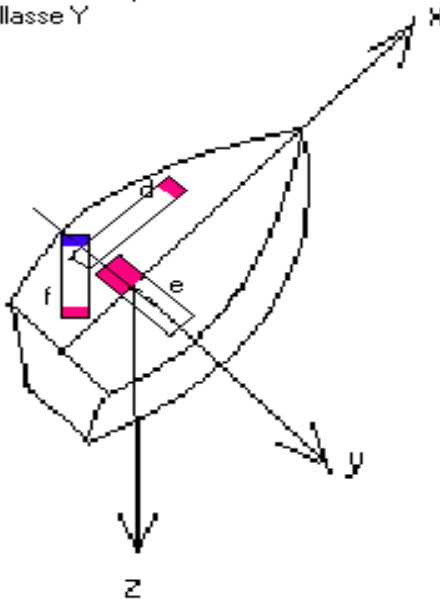
COMPENSAZIONE

I campi causati dalla presenza di ferri dolci cambiano intensità e polarizzazione in funzione dell'orientamento della nave rispetto al Campo magnetico terrestre. Si compensano inserendo opportune strutture di ferro dolce a distanza appropriata, per bilanciarne gli effetti

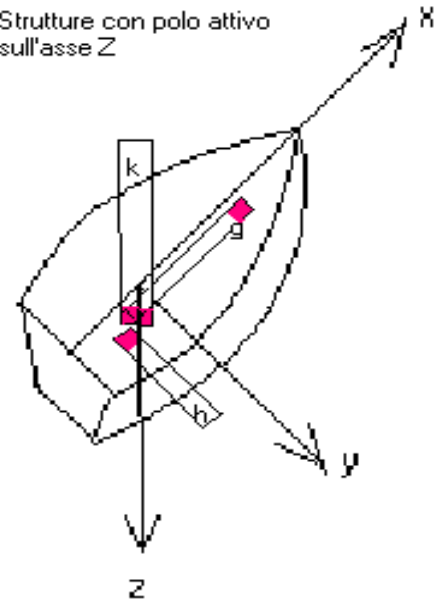
strutture con polo attivo
sull'asse X



Strutture con polo attivo
sull'asse Y



Strutture con polo attivo
sull'asse Z



Chiesuola completa di compensatori di ferro dolce



Sfere di
Thomson

La compensazione

Completata la compensazione è necessario misurare ad intervalli regolari di angolo di prora la

“deviazione residua”

e compilare la relativa

“tabella delle deviazioni residue”

per poter conoscere il vero orientamento della nave dalla lettura della bussola

Formule di correzione

$$P_v = (P_b + dev + d)$$

$$R_{lv} = (R_{lb} + dev + d)$$

Formule di conversione

$$(P_v - d - dev) = P_b$$

$$(R_{lv} - d - dev) = R_{lb}$$

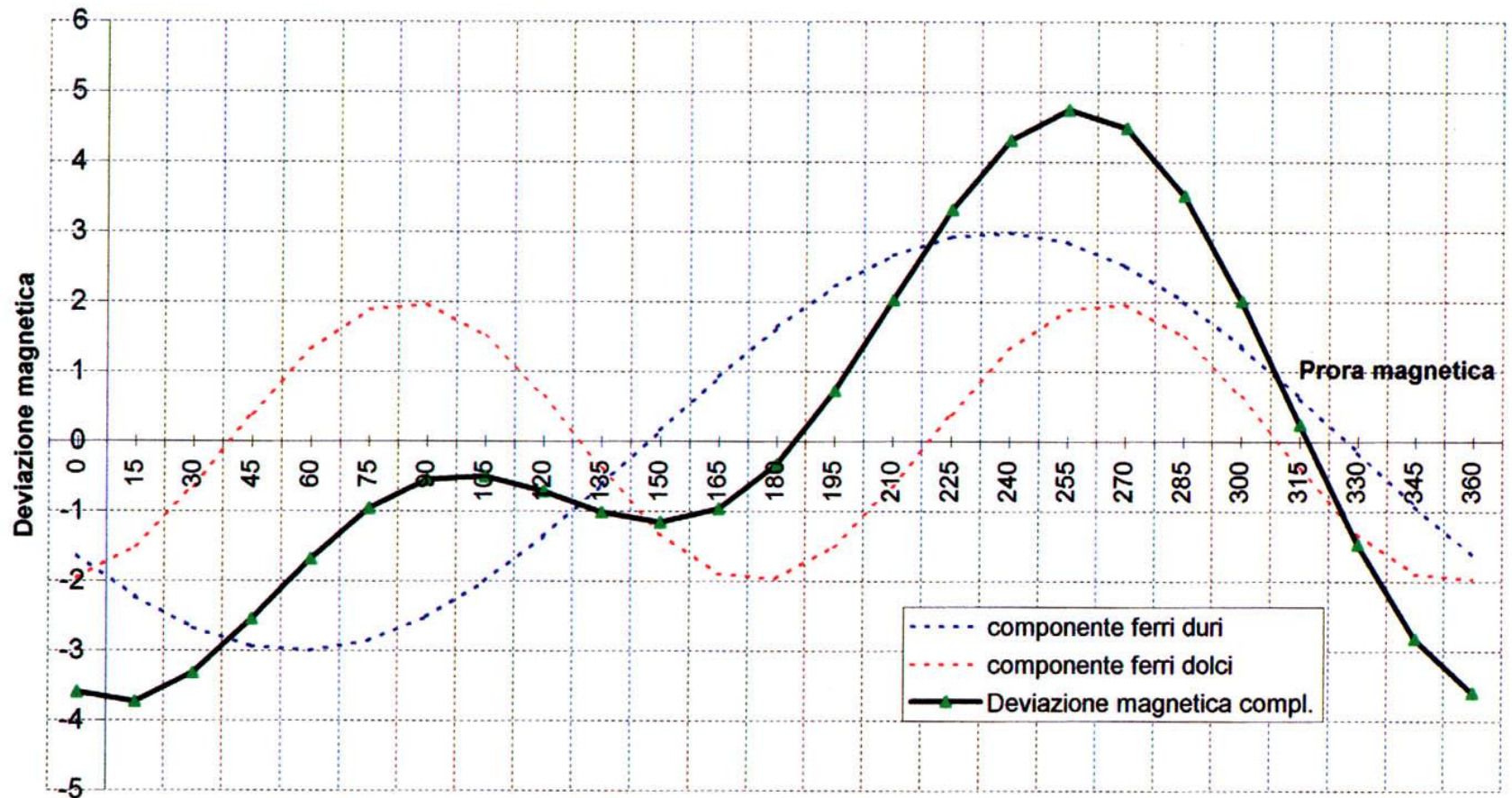
La compensazione

- I valori della deviazione di ogni bussola, così ricavati, potranno essere riportati su un grafico con le ascisse intitolate alla Prora bussola e i valori delle deviazioni in ordinate.
- La curva risultante sarà una curva sinusoidale complessa (per effetto delle differenti influenze dei *ferri duri* e dei *ferri dolci*).
- Nel disegnarla, raccordando i vari punti relativi alle deviazioni rilevate sulle varie prore, ci potremo rendere conto se qualche misura è stata errata.

La compensazione

- Nella figura successiva, a titolo esemplificativo, è stata disegnata (in nero) una curva delle deviazioni di una specifica bussola, evidenziando come essa sia il risultato della somma delle deviazioni provocate rispettivamente dai magneti permanenti di bordo (*ferri duri*) - curva tratteggiata blu, e dai magneti temporanei (*ferri dolci*) – curva tratteggiata in rosso.

Curva di deviazione magnetica



Appare evidente, nel caso particolare in esame, come soprattutto nell'arco di prore compreso tra 210° e 300° e tra 345° e 030° le due componenti vadano a sommarsi provocando deviazioni della bussola per niente trascurabili e se ne dovrà tenere conto con opportune correzioni.

La bussola magnetica è uno strumento antico e semplicissimo, ancora prezioso se strumenti più moderni e precisi smettono di funzionare.

unica accortezza ... deve essere ben compensata perché indichi correttamente il Nord magnetico.

Vige l'obbligo di controllare le bussole di bordo ogni qualvolta sia possibile e comunque non meno di 2 volte al giorno.

visto che il suo “motore”
– il campo magnetico terrestre –
non va in avaria e non può esser spento accidentalmente,
l’augurio è di

non perdere la bussola



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

È uno strumento molto preciso ma estremamente complesso, necessita di alimentazione elettrica continua e a causa del costo è impiegato solo a bordo delle unità di una certa importanza. La particolarità della girobussola è che, per indicare un NORD Bussola, non sfrutta il campo magnetico terrestre .

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

La girobussola determina la direzione del Nord sfruttando quattro leggi fisiche: l'inerzia giroscopica e la precessione giroscopica, proprie dei girostati; e due proprie della sfera terrestre: la rotazione intorno al proprio asse e la forza di gravità.

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

Il giroscopio in se stesso non è idoneo ad indicare la direzione del nord in quanto mantiene fisso l'orientamento dell'asse rispetto ad un punto fisso nello spazio, quale può essere considerata una stella, quindi un osservatore fermo vedrebbe l'asse del giroscopio muoversi secondo il moto apparente di una qualsiasi stella che sorge ad Est e tramonta ad Ovest.

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

Per ovviare a questo moto apparente è necessario applicare al girostato una forza che costringa il suo asse a compiere un moto angolare (precedere) di un angolo pari ed opposto al movimento apparente degli astri, dovuto alla rotazione terrestre.

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

La forza impiegata per ottenere questa precessione è quella di gravità, che viene fatta agire sul girostato per mezzo di un peso posto all'interno di una sfera solidale con l'asse del girostato.

L'unica direzione di orientamento dell'asse del girostato per la quale la forza di gravità non crea un'azione di disturbo è quella Nord-Sud.

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

In realtà nelle moderne girobussole non esiste alcun peso vero e proprio che agisca sul girostato; l'effetto di precessione è generato da circuiti elettronici che agiscono sugli assi della sospensione cardanica per ottenere lo stesso effetto; inoltre il girostato non è collegato meccanicamente alla struttura cardanica, anche il rotore è messo in rotazione senza impiegare collegamenti meccanici; tutti questi accorgimenti sono indispensabili per minimizzare gli effetti dell'attrito che influiscono sulle prestazioni del girostato.

LA BUSSOLA GIROSCOPICA

I pregi della girobussola, oltre alla precisione, sono quelli di indicare un Nord **quasi** vero e non quello *magnetico*.

Il dato rappresentato può essere compensato automaticamente, annullando di fatto la deviazione, non risente della declinazione magnetica, ma anch'essa è soggetta ad una deviazione che cresce con la latitudine, ed è funzione della rotta e della velocità.

CORREZIONE DELLA PRORA GIRO

$$\begin{array}{ll}
 P_{gb} = & P_v = \\
 +\delta_{gb} = (+/-) & -\delta_{gb} = (+/-) \\
 \bullet P_v = & P_{gb} =
 \end{array}$$

δ_{gb} Ricavata dalla tavola n. 11 delle Tavole Nautiche, in funzione della latitudine, della rotta e della velocità.
(deviazione della giro)

Oppure determinata con la formula: $\text{tg } \delta = -V \cos P_v / (900' \cos \varphi + V \sin P_v)$,

Il segno $-$ della formula è giustificato dalla convenzione di attribuire il segno negativo alla deviazione W.

Una formula semplificata, di maggior uso è : $\text{tg } \delta = V \cos P_v / 900' \cos \varphi$

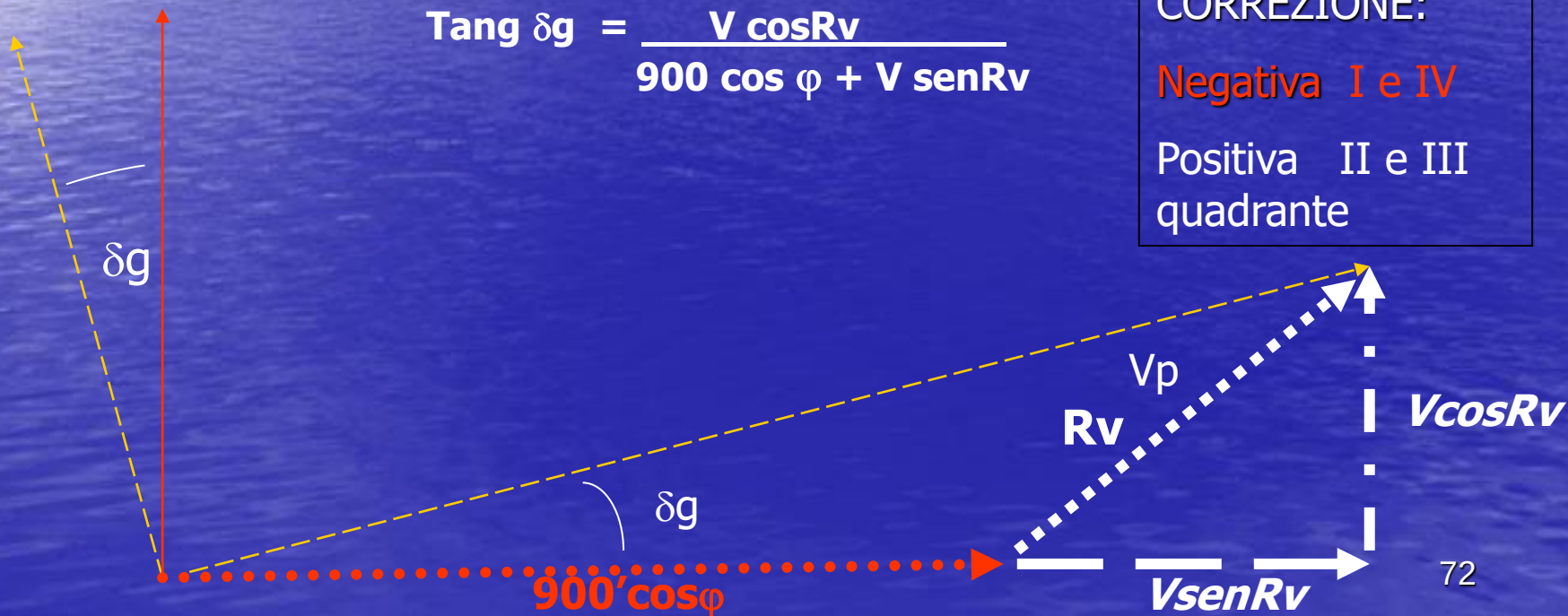
Nord giro Nord vero

$$\text{Tang } \delta g = \frac{V \cos R_v}{900 \cos \varphi + V \sin R_v}$$

CORREZIONE:

Negativa I e IV

Positiva II e III
quadrante



Principi generali del girostato

- La velocità angolare di un corpo in rotazione intorno al proprio asse, viene rappresentata da un vettore (freccia, con direzione, senso e lunghezza) avente come direzione quella dell'asse di rotazione, come senso, quello che un osservatore posto sulla cuspide della freccia, vedrebbe girare il rotore in senso orario e come velocità, in una scala prestabilita, la lunghezza del vettore.
- Se ci riferiamo alla terra, che gira intorno al proprio asse (N-S), da W verso E, possiamo visualizzare il vettore, applicato in un qualsiasi punto dell'asse di rotazione, con la freccia rivolta a Sud.
- In un qualsiasi punto della terra (P) tale vettore può essere scomposto in 2 vettori, uno ρ_1 (ω_1) verso la verticale del punto, ed uno ρ_2 (ω_2) nel senso del meridiano verso sud.
- ρ_1 è il massimo ai poli e nullo all'Equatore. ρ_2 è nullo ai Poli e massimo all'Equatore (è da quest'ultimo che la girobussola trae la sua direzionalità).

Un girostato può avere 1, 2, 3 gradi di libertà:

- Un grado di libertà se l'asse è libero di ruotare solo intorno al suo asse.
- Due gradi di libertà se l'asse di rotazione del rotore può a sua volta orientarsi in qualsiasi direzione, vincolata al piano orizzontale. (asse del rotore che gira su una forcella, libera di girare sul proprio asse verticale).
- Tre gradi di libertà, se a sua volta, il rotore, (in sospensione cardanica) è libero di orientarsi in qualsiasi direzione. (anche in componente verticale). Per maggior chiarezza un giroscopio con 3 gradi di libertà, se orientato verso una stella, l'asse di rotazione del rotore, indicherà sempre la stella. La Terra può identificarsi in un giroscopio a 3 gradi di libertà.

- Un girostato è formato da un rotore che gira intorno al proprio asse (es. una trottola) e che tende a mantenere invariata la direzione del proprio asse.
- Se ad un girostato a 3 gradi di libertà viene applicata una coppia perturbatrice, il vettore del moto rotatorio del rotore, tende a coincidere con il vettore che rappresenta la rotazione della coppia perturbatrice (principio del parallelismo delle rotazioni)
- Un giroscopio a due gradi di libertà può essere vincolato al piano orizzontale ed a quello verticale . Se è vincolato al piano orizzontale, l'asse del giroscopio, dopo una serie di oscillazioni smorzate (4-6 ore) si orienta per la direzione N-S. Se è vincolato al piano verticale, l'asse del giroscopio, andrà ad indicare il centro della terra, evidenziando un angolo uguale alla latitudine.

In pratica anziché utilizzare un giroscopio vincolato al piano orizzontale, possibile a terra ma problematico in mare, a causa dei movimenti di rollio/beccheggio della nave, si è ricorso al giroscopio sospeso cioè al giroscopio zavorrato o antizavorrato.

- Nella prima girobussola ideata dal Focault, venne vincolato l'asse del rotore al piano orizzontale in modo tale che il girostato veniva costretto ad una precessione forzata sul piano verticale, dalla coppia creata dalla rotazione dell'orizzonte intorno alla traccia N-S. praticamente, la coppia dovuta alla rotazione terrestre causa una coppia perturbatrice sull'asse del rotore del girostato e fa sì che l'asse del girostato si ponga in maniera parallela all'asse della rotazione apparente dell'orizzonte, e cioè nella direzione Nord-Sud.

- Per vincolare il girostato al piano orizzontale si ricorre a rendere il girostato zavorrato ed antizavorrato. Se ad un girostato a tre gradi di libertà si applica una zavorra (peso) nella parte inferiore dello stesso si ha un girostato zavorrato; se si applica nella parte superiore si ha un girostato antizavorrato. Nel primo caso l'equilibrio è stabile e nel secondo instabile. Con rotore in movimento l'unica differenza fra zavorrato o antizavorrato è che l'asse di rotazione si dispone nella direzione N-S anziché nella direzione S-N.

In una girobussola, dal momento della sua messa in moto, al momento del suo definitivo orientamento, passano alcune ore, e tale tempo è influenzato dalla posizione originaria dell'angolazione dell'asse del rotore rispetto al meridiano locale.

- Più tale angolazione è maggiore tanto più tempo occorre alla normale stabilizzazione.

- Lo smorzamento può essere effettuato sia agendo sul piano verticale che su quello orizzontale.
- La durata di tale smorzamento dipende dal periodo d'oscillazione.
- Il fattore di smorzamento è circa $2/3$ e la sua figura è un'ellisse.

Le deviazioni delle girobussole di bordo sono:

- Deviazione di smorzamento per lo più eliminabile in modo automatico.
- ***Deviazioni Dinamiche***, dovute al moto, velocità e rotta della nave (orientamento per meridiano fittizio)
- ***Deviazioni Balistiche***, deviazioni temporanee dovute a cambiamenti di velocità e direzione della nave.
- (Deviazioni per rollio e beccheggio (deviazioni quadrantali))
- Deviazioni di trascinamento per vibrazioni della nave o velocità variabile del rotore.

- La deviazione di smorzamento (interessa la Sperry e varia con la latitudine, nulla all'Equatore ed infinita al Polo) è eliminata automaticamente staccando la zavorra dall'elemento sensibile e attaccandola invece al cerchio fantasma facendo sì che l'elemento sensibile abbia un angolo con il cerchio fantasma uguale e contrario alla deviazione.
- Il moto nave, con due componenti della velocità e direzione, dà origine a tale tipo di deviazione. È massima per prore N e S e nulla per prore E-W ed aumenta al crescere della latitudine e V_p .
- È negativa per prore del 1° e 4° quadrante e positiva per prore del 2° e 3° quadrante. Tale deviazione fa orientare la direzione della girobussola per un meridiano fittizio il cui angolo si ricava dalle tavole nautiche.
- In alcune girobussole tale deviazione è corretta automaticamente agendo su due viti cursorie, introducendo i valori di latitudine e di velocità.

- Le variazioni di velocità e di prora, creano una deviazione detta balistica, il cui angolo differisce dal meridiano fittizio creato dalla velocità e prora della nave. Possono raggiungere valori di 2 gradi e la deviazione scompare dopo un periodo tra 85 e 105 minuti.
- La deviazione causata dal beccheggio e rollio è nulla quando tali movimenti avvengono per prore cardinali (N-E-S-W). Raggiungono i valori più alti per prore intercardinali. Tutte le case costruttrici hanno eliminato tali deviazioni con accorgimenti costruttivi.
- Tali deviazioni da trascinamento sono in genere trascurabili e sulle bussole moderne nulle.
- Normalmente il grado di precisione di una girobussola è meno di 1° . Particolari condizioni di variazioni di velocità, forte rollio e beccheggio, forti vibrazioni, in special modo per piccole imbarcazioni possono far variare temporaneamente il grado di precisione.

● Sono asservite alla girobussola:

- **Ripetitrice**: (max. errore un sesto di grado) situate sulle alette, controplancia, stazione di governo poppiera.
- **Auto Pilota** (gyro-pilot) che permette il governo della nave molto accurato (elimina le distrazioni del timoniere). Ottimi gli ultimi tipi auto adattivi.
- **Registratore di rotta** (course recorder) che registra la prora della nave regolato sull'ora TMG, è utile sia per un saltuario controllo del governo sia per eventuali constatazioni a seguito di incidenti navali a dimostrare l'errore o la validità delle manovre effettuate.