

INTEGRAZIONI E APPROFONDIMENTI AL

CAPITOLO IV

COMPENSAZIONE DI BUSSOLA

Thor Heyerdahl, per sostenere la tesi che le antiche civiltà comunicavano fra loro attraverso gli oceani perché si svilupparono lungo la linea delle correnti e dei venti dominanti, nel 1947 con la zattera di balsa battezzata Kon Tiki partì da Callao (Perù) ed attraversò il grande oceano Pacifico per approdare dopo 101 giorni in Polinesia, atollo Raroia (Is. Marchesi). Secondo l'ardimentoso «vichingo» norvegese gli indios dell'antica civiltà preincaica sapevano navigare e popolarono le isole polinesiane.

Parte I Elementi di Magnetismo Navale (par. 1÷7)

1. INDUZIONE MAGNETICA, PERMEABILITÀ, ISTERESI.

Il campo magnetico terrestre (c.m.t.), le cui linee di forza tendono a orientare gli aghi della rosa dei venti verso il Nord magnetico (Nm), esercitano sui ferri della nave l'induzione magnetica: i ferri si magnetizzano e creano, a loro volta, campi magnetici che finiscono col disturbare l'orientamento degli aghi facendoli deviare dal Nord magnetico. In altre parole c. m. t. e campo dei ferri di bordo (dal c. m. t. generato) si compongono e fanno assumere all'ago della bussola l'orientamento della loro forza risultante che è, generalmente, fuori del piano del Nm.

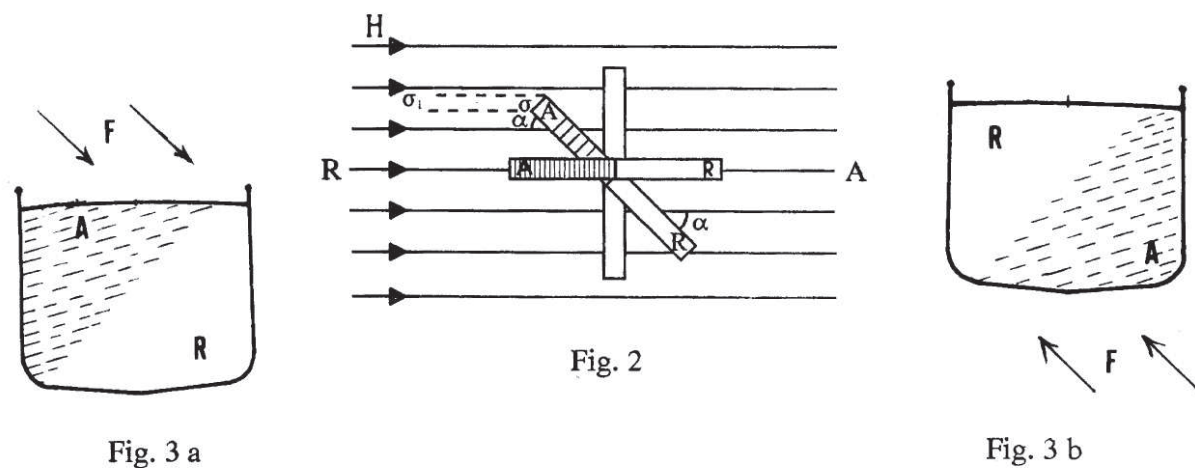
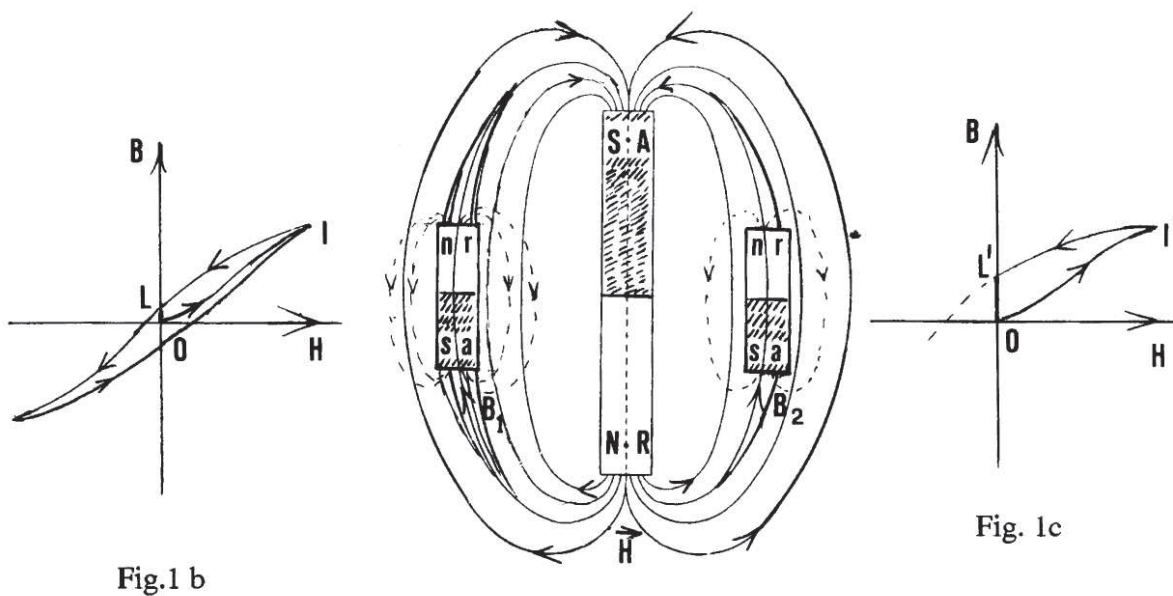
Sia H il vettore campo magnetico di un magnete (v. fig. 1a). Le sue linee di forza inducono magnetismo sia nel metallo "1., (alla sua sinistra) sia nel metallo "2., (alla sua destra). Nel primo caso il vettore induzione magnetica è: $B_1 = \mu_1 \cdot H$; nel secondo: $B_2 = \mu_2 \cdot H$, dove μ (cioè μ_1 e μ_2 , con $\mu_1 > \mu_2$) è la *permeabilità magnetica*, variabile a seconda del materiale. Con linguaggio poco rigoroso, ma efficace per aiutare l'intuizione e la memoria, diciamo che la permeabilità magnetica (relativa) μ misura la «facilità» con cui le linee di forza del vettore H attraversano un pezzo di materiale posto in tale campo: più alta è μ più numerose sono le linee di forza di B che mutano forma per passare nel materiale. Nei ferri "1., e "2., si formano due poli: sud o azzurro in ingresso, nord o rosso in uscita, delle linee di forza. Il metallo così magnetizzato crea a sua volta un suo campo magnetico le cui linee di forza, all'esterno, contrastano le linee di forza del magnete inducente.

Le sostanze possono essere divise in tre categorie, a seconda del valore della permeabilità relativa μ :

- sostanze diamagnetiche ($\mu < 1$, di pochissimo minore di 1);
- sostanze paramagnetiche ($\mu > 1$, di pochissimo maggiore di 1);
- sostanze ferromagnetiche ($\mu \gg 1$).

Nelle sostanze ferromagnetiche, di cui ci occuperemo, il rapporto B / H , valore di μ , non è costante al mutare di H . Per considerare gli effetti di induzione, con H inducente e variabile, possiamo pensare che il magnete inducente della figura 1a "lasci il posto", per così dire, ad un altro magnete più potente, avente un vettore campo magnetico H più elevato del precedente. Ricordiamo dalla Fisica cosa succede in un solenoide attraversato da corrente continua, solenoide avente nel suo interno una barretta metallica. Aumentando la corrente aumenta H , conseguentemente aumenta anche B seguendo la curva di prima magnetizzazione 0 - I nel metallo "1., del primo tipo (fig. 1b), di maggiore permeabilità magnetica μ_1 ; seguendo la curva di prima magnetizzazione 0-I'

TAVOLA 1. IV Magnetizzazione



Legenda. Fig.1a. Magnetizzazione per induzione di due metalli ferromagnetici di differente permeabilità magnetica μ .

Fig. 1b. Ciclo o curva d'isteresi di materiale ferromagnetico "dolce" o temporaneo (la sua area rappresenta l'energia che viene dissipata in calore nell'unità di volume del materiale).

Fig. 1c. Magnetizzazioni residue permanenti del materiale ferromagnetici "duro".

Fig. 2. Variabilità dell'induzione magnetica a seconda dell'angolo α tra le linee di forza inducenti e l'asse longitudinale del ferro (la sezione del ferro esposta varia con la legge: $\sigma_1 = \sigma \cdot \cos \alpha$).

Fig. 3a Fig.3b. Magnetizzazione di uno scafo in latitudine magnetica Nord e Sud.

nel metallo "2., del secondo tipo (fig. 1c), di minore permeabilità magnetica μ_2 .

Quando via via si riduce la corrente fino ad annullarla e portare H al valore nullo, o similmente quando si allontana lentamente la barretta dalla zona d'influenza del magnete fino ad una distanza tale da poter ritenere $H = 0$, anche il vettore B diminuisce gradualmente seguendo la curva $I - L$ del primo metallo, seguendo la curva $I' - L'$ del secondo metallo. È importante notare la magnetizzazione residua B ($0 - L$) che è piccolissima (v. fig. 1b) nel metallo cosiddetto "dolce,, è maggiore (v. fig. 1c) nel metallo cosiddetto "duro,, ($0 - L'$).

L'inversione di H e il ritorno al primitivo valore massimo comporta la variazione di B secondo la curva del diagramma, curva denominata *ciclo d'isteresi*.

La Fisica moderna ha dato una spiegazione convincente su questo comportamento delle sostanze ferromagnetiche immerse in questi campi: l'insieme di tutti gli elettroni che si muovono attorno ai nuclei degli atomi di queste sostanze è equivalente ad una piccolissima spira percorsa da corrente. Ci limitiamo a questo importante richiamo per dire, in merito, che le vecchie teorie del magnetismo sono completamente superate.

Un metallo che, per $H = 0$, conserva un magnetismo residuo piccolissimo o quasi nullo ($0 - L$) è un ferro puro - ferro dolce - avente pertanto un **magnetismo temporaneo**.

Un metallo, viceversa, che per $H=0$ conserva una magnetizzazione residua considerevole ($0 - L'$) è un acciaio - ferro duro - avente pertanto un **magnetismo** di tipo **permanente**.

Del ferro puro, ed in generale di ogni metallo avente caratteristiche di ferro dolce, nel significato magnetico sopra specificato, è importante ancora notare l'analogo fenomeno della variabilità dell'induzione al mutare della disposizione del ferro, precisamente del suo asse longitudinale, rispetto all'orientamento delle linee di forza del campo inducente H (v. fig. 2). Indichiamo con α l'angolo tra il vettore H e l'asse longitudinale del ferro, con σ la sezione della barra, coincidente con quella esposta ad H quando $\alpha = 0^\circ$; per ogni altro angolo α differente da zero la sezione esposta σ_1 è data da $\sigma \cdot \cos \alpha$. La magnetizzazione segue, con accettabile approssimazione, tale legge e diremo che il vettore induzione è dato da: $B_1 = \mu_1 \cdot H \cdot \cos \alpha$.

L'induzione principale, a bordo di ogni nave, è quella dei ferri duri, per la prevalenza degli acciai sui ferri puri; il c.m. permanente è maggiore del temporaneo.

Consideriamo, per ora, la nave come se fosse un'unica grossa trave dura costruita e allestita in latitudine magnetica nord (v. fig. 3a), o in latitudine magnetica sud (v. fig. 3b). La nave assume una polarità azzurra dalla parte d'ingresso delle linee di forza totale F del c. m. t. e una polarità rossa dall'altra parte.

Questo globale assetto magnetico della nave, la cui acquisizione ha avuto origine fin dalle prime fasi della sua costruzione, consolidandosi poi durante l'allestimento, permarrà durante l'esercizio della nave, pur con qualche mutamento; mutamento però non radicale.

Ci interessa ora formulare una conclusione di carattere generale che ha pochissime eccezioni: sotto la bussola - normale o di governo - di una nave costruita in $\ominus$ nord c'è "magnetismo azzurro" sotto la bussola della nave costruita in $\ominus$ sud c'è "magnetismo rosso".

Per la bussola situata in timoneria (vicino all'agghiaccio del timone) si presenta invece, più sovente, il caso di avere l'altra polarità sotto gli aghi della rosa: polarità rossa se la nave è stata costruita in $\ominus$ nord, polarità azzurra in $\ominus$ sud.

2. MAGNETISMO NAVALE: EQUAZIONI DI POISSON.

Elenchiamo i molteplici campi di bordo dopo aver ricordato il:

- campo magnetico terrestre, (c. m. t.), inducente magnetismo nei ferri duri, nei ferri dolci e nei ferri dalle caratteristiche intermedie:

campo magnetico permanente, (c. m. p.), dei ferri duri: acciaio con carbonio maggiore di 0,25% della quantità di ferro, acciai speciali (leghe al molibdeno, al tungsteno ecc.), acciaio temprato,

fucinato. I ferri duri si magnetizzano lentamente, ma una volta acquisito (per induzione) il magnetismo, lo conservano a lungo. Questo magnetismo varia molto poco nel tempo. Questi ferri hanno minore permeabilità magnetica rispetto ai ferri dolci, ma maggiore «forza coercitiva» nel trattenere il magnetismo residuo;

- **campo magnetico temporaneo**, o indotto (c. m. i.), dei ferri dolci: ferro puro, acciaio tenero (con carbonio < 0,25% di ferro), talune ghise ed il ferro ricotto. I ferri dolci si magnetizzano facilmente ma il loro magnetismo è variabile al mutare della prora e della latitudine magnetica. Questi ferri hanno, rispetto ai ferri duri, maggiore permeabilità magnetica, ma minore «forza coercitiva»; (la sigla c.m.i. è necessaria per distinguerla da c.m.t. che sta per campo m. terrestre).

- **campo magnetico sub-permanente**, dei ferri di qualità intermedia tra i duri e i dolci. Il suo maggiore effetto si manifesta in seguito ad un cambiamento di rotta, dopo che la nave aveva mantenuto per molte ore una stessa rotta: per un'ora o poco più permangono i poli (R, A, fig.4) della precedente induzione: del campo sub-permanente indotto dal c.m.t.; questi poli fanno ruotare l'ago di un piccolo angolo: in senso orario, come in figura, se la nave ha effettuato un'accostata a sinistra, in senso antiorario, dopo un'accostata a dritta;

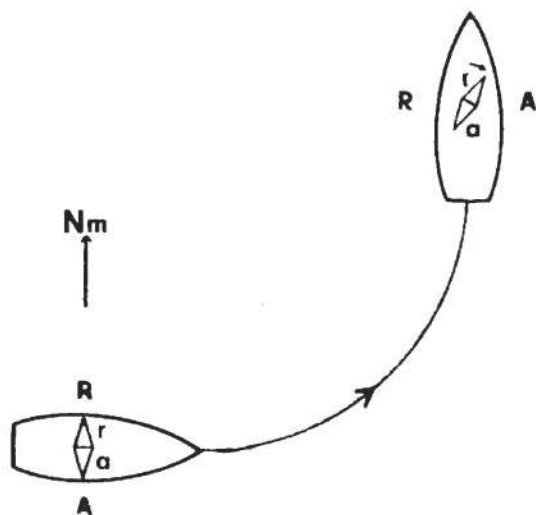


Fig.4

Effetto del c. m. sub-permanente dopo un'accostata: l'ago ruota in senso opposto all'accostata.

- campo magnetico «elettrico» generato dai conduttori di corrente continua non aventi, vicino, il filo di ritorno. Col secondo filo vicino i due campi si elidono;

- concorrono alla forza risultante del campo m. permanente tutti i magneti che si trovano nei macchinari e nelle apparecchiature elettriche;

- fanno ancora parte del c.m.p. tutti i campi magnetici dei ferri dolci vicini ai ferri duri ed ai magneti dai quali subiscono un'induzione costante, permanente, prevalente rispetto all'induzione variabile prodotta dal c.m. terrestre. Ci si riferisce anche all'induzione degli aghi della rosa, veri e propri magneti, sui ferri dolci di compensazione che si trovano vicini al mortaio.

COMPONENTI LUNGO I TRE ASSI. Il c.m.t. induce magnetismo nei ferri dolci verticali ed orizzontali. I primi sono indotti da Z, componente verticale di F (v. fig 9 Cap. II) i secondi da H, componente orizzontale di F. Poiché questi ultimi possono essere disposti longitudinalmente e trasversalmente, si fa notare, nelle figure 5a e 5b, la scomposizione di H nelle due componenti orizzontali effettivamente inducenti: X longitudinale, Y trasversale.

$$X = H \cdot \cos P_m \qquad Y = - H \cdot \sin P_m \qquad (1. IV)$$

Queste forze, inducenti nei ferri dolci longitudinali e trasversali, sono variabili (oltre che con la latitudine magnetica, per la variabilità di H) al mutare della prora magnetica P_m .

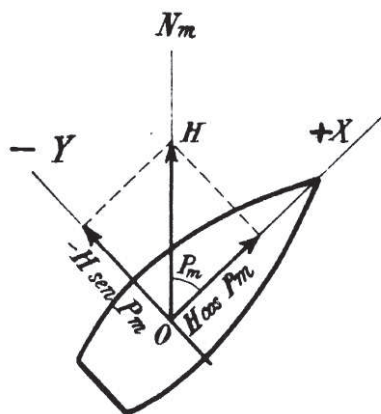


Fig. 5a

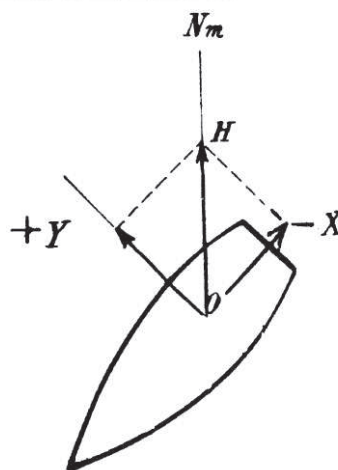


Fig. 5b

Componenti di H: longitudinale ($H \cos P_m$) e trasversale ($-H \sin P_m$).

Si attribuisce segno + ai versi di prua e di dritta, segno - ai versi di poppa e di sinistra (si attribuisce inoltre segno - alle forze dirette verso l'alto, segno + alle forze verso il basso). Pertanto X risulta positiva su Pm del I e IV quadrante; negativa nel II e III quadrante. Y risulta positiva sulle Pm del III e IV quadrante, negativa (verso sinistra) su Pm del I e II quadrante.

Ogni ferro obliquo, né longitudinale né trasversale, può essere immaginato «scomposto» in due ferri disposti lungo i due assi.

Un'ipotesi fondamentale nello studio del magnetismo navale è la seguente: **ogni campo magnetico, terrestre, permanente, temporaneo, ecc. è considerato uniforme nello spazio, ristretto, occupato dagli aghi della rosa.** Pertanto è sufficiente considerare le forze di attrazione o repulsione solamente su una polarità dell'ago della bussola: il polo rosso. Rimane inteso che l'effetto di queste forze è solamente rotatorio, cioè deviatorio, perché in un campo magnetico uniforme l'altra forza, sull'altro polo dell'ago, è uguale e contraria alla prima (v. fig. 10. Cap. II). Così operando si ricerca la posizione di equilibrio dell'ago non già dalla condizione di uguaglianza delle coppie, ma attraverso la risultante delle forze.

La forza risultante del campo magnetico permanente, generato dai ferri duri, agente sul polo rosso dell'ago O della bussola, è indicata con la lettera ϕ (v. fig. 6). Le sue componenti: P (longitudinale), Q (trasversale), R (verticale) sono individuabili proiettando prima la forza ϕ sul piano orizzontale della bussola, ottenendo così la proiezione «O»; si trovano poi le componenti P e Q di tale forza «O».

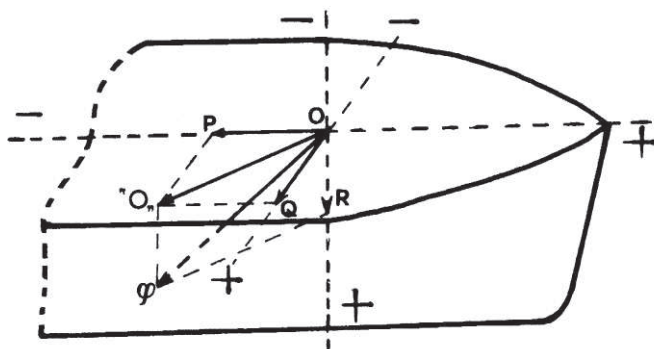
La forza risultante del campo magnetico temporaneo (generato dai ferri dolci), agente sul polo rosso dell'ago è indicata con Ψ . Le sue componenti lungo i tre assi sono: p q r.

Ma ciò che più interessa conoscere, in questo campo, sono tutte le possibili, fondamentali disposizioni dei ferri dolci rispetto all'ago della bussola. Il principale riferimento, al riguardo, è la tavola 2 IV. Ci sono ferri del tipo «a» che sono indotti dalla componente longitudinale X del c.m.t., quelli trasversali di tipo «b» che sono indotti dalla Y, e quelli verticali di tipo «c» indotti dalla componente Z del c.m.t.

Le forze longitudinali che i poli più vicini di questi ferri magnetizzati esercitano sull'ago della bussola sono indicate rispettivamente: aX , bY , cZ , la cui somma vettoriale dà luogo alla componente p. Vengono considerate praticamente nulle le forze prodotte dai poli lontani dei ferri; conseguenza di un'ipotetica uniformità, nell'intorno dell'ago, del c.m. del ferro.

Le forze trasversali esercitate sull'ago da un'altra terna di sbarrette dolci magnetizzate da X Y Z sono: dX , eY , fZ , la cui somma vettoriale è chiamata q.

Fig. 6



Infine le forze verticali, esercitate sull'ago, dai poli più vicini (poli attivi) della terna dei ferri dolci di tipo g , h , k (si fa sempre riferimento alla tavola 2. IV) sono: gX , hY , kZ che si compongono nella forza complessiva verticale r .

Giova ricordare che X , Y , Z sono le componenti longitudinale, trasversale, verticale di F , forza magnetica totale del campo magnetico terrestre.

Prendiamo in considerazione la prima forza: aX .

aX nasce dall'induzione di X su ferri di tipo "a,, idealmente continui (in questo caso, v. fig.7 Tav.3. IV) rispetto all'ago della bussola e correnti longitudinalmente. La polarità azzurra e la polarità rossa del ferro esercitano, sul polo rosso - r - dell'ago una forza rispettivamente di attrazione e di repulsione, di verso concorde (nella prima figura verso prua, perciò positiva, nel secondo caso verso poppa, perciò negativa) che complessivamente vengono indicate con aX , cioè una forza proporzionale, secondo il coefficiente a , alla forza inducente X .

Le figure successive mostrano le forze « eY » agenti sull'ago, per la presenza di ferri dolci continui ed interrotti di tipo e (in quest'ultimo caso, ferri interrotti, i poli attivi dei due ferri sono ancora e soltanto i due poli più vicini all'ago); infine la forza cZ per la presenza di ferro verticale, magnetizzato da Z , avente il polo attivo sull'asse longitudinale.

Il rapporto tra forza indotta e forza inducente (esempi: aX/X ; eY/Y ; cZ/Z ...) quantifica il valore di ogni coefficiente: a , b , c , d , e , f , g , h , k .

I loro valori dipendono da: *disposizione, grandezza, qualità magnetiche e distanza dei correlativi ferri dall'ago della rosa*. L'ordine di grandezza dei valori è 0,2 o 0,1 o meno.

Questi parametri o coefficienti di proporzionalità sono invariabili sia al mutare della prora magnetica sia al mutare della posizione geografica della nave; invariabilità intesa nel valore assoluto e nel segno, come si può dedurre dall'esame delle figure.

L'invariabilità dei coefficienti del ferro dolce ha una valenza teorica ed in gran parte pratica: l'«assetto» magnetico della nave, in realtà, è sempre un po' variabile nel tempo, specialmente nei primi mesi di vita o dopo prolungate soste: in disarmo, ai lavori o dopo trasformazioni.

I campi magnetici che d'ora in avanti verranno considerati sono solamente tre: terrestre (c.m.t.), permanente (c.m.p.), temporaneo («indotto» c.m.i.); ma nella prassi della compensazione ci si ricorderà, in modo opportuno, di quei campi magnetici elencati all'inizio di questo paragrafo e che non entrano in modo specifico nello studio teorico del magnetismo navale. Ci si ricorderà dell'esistenza del campo m. sub-permanente in un'altra occasione: dopo un'accostata nella condizione già descritta (v. fig. 4), l'ufficiale sa che non deve tralasciare ogni favorevole occasione per osservare e calcolare la deviazione δ . Riepiloghiamo le tre fondamentali ipotesi semplificative:

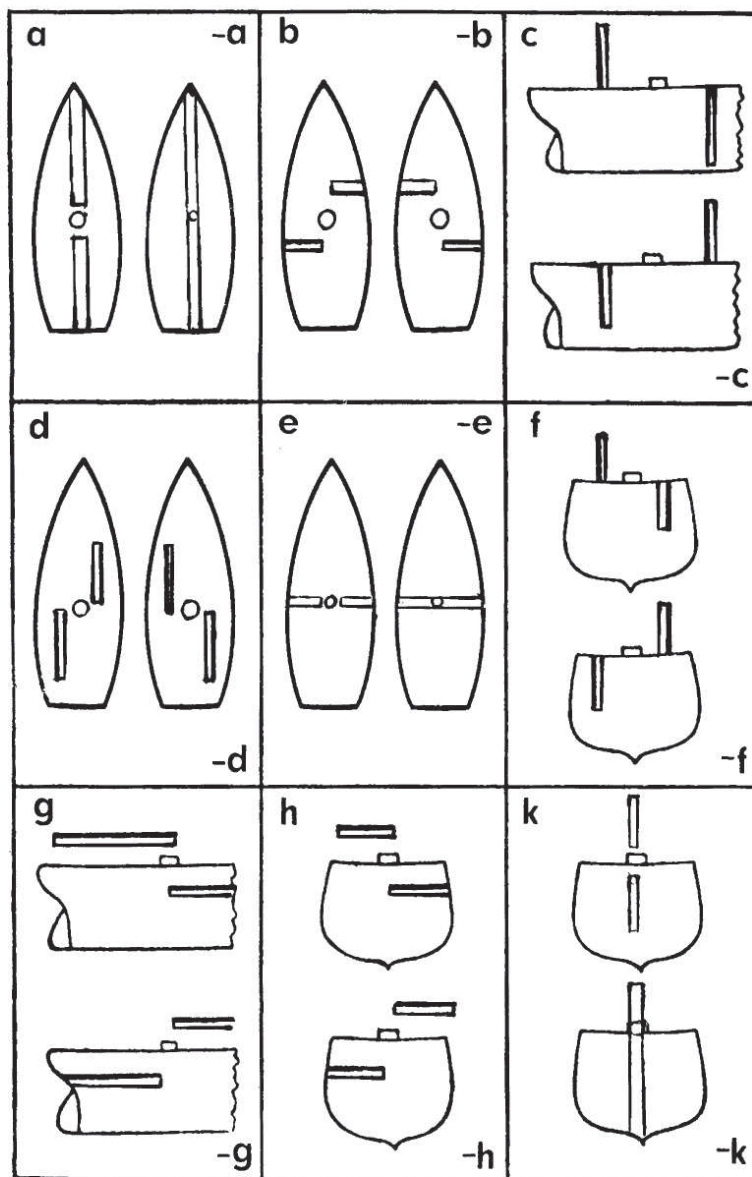
I) uniformità dei campi magnetici intorno all'ago;

II) ferri dolci indotti solamente dal c.m. terrestre;

III) sono campi magnetici deviatori: soltanto il permanente e il temporaneo.

Con queste premesse scriviamo le *equazioni delle forze di Poisson* (matematico francese del primo Ottocento) agenti sull'ago della bussola:

TAVOLA 2. IV Ferri dolci e parametri: "a" "b" "c" ... "k"



Nota: I ferri più influenti, sugli aghi delle bussole, sono "a" "c" "e". I meno influenti, perché simmetrici rispetto all'asse longitudinale, sono i ferri "b" "d" "f" "h" che compaiono, per la simmetria della nave rispetto all'asse diametrale, sia col segno + sia col segno - ; quindi i parametri risultano piccoli quando i ferri sono quasi uguali per lunghezza, disposizione, qualità magnetiche.

TAVOLA 3. IV Forze inducenti e forze indotte di alcuni ferri dolci.

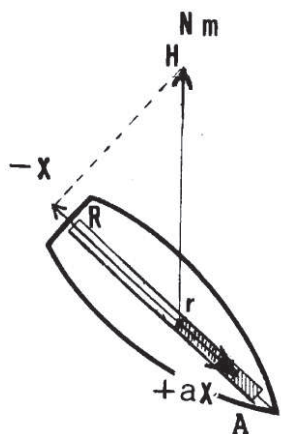


FIG. 7

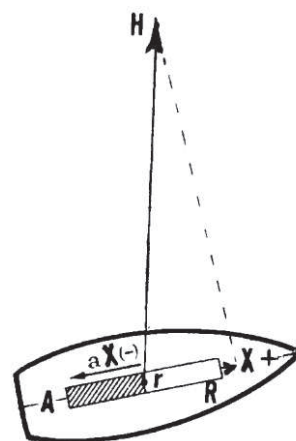


FIG. 8

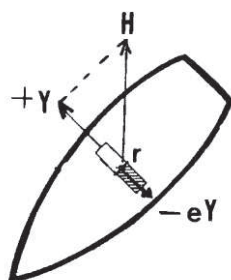


FIG. 9

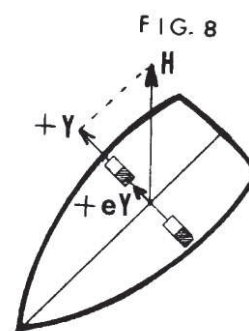


FIG. 10

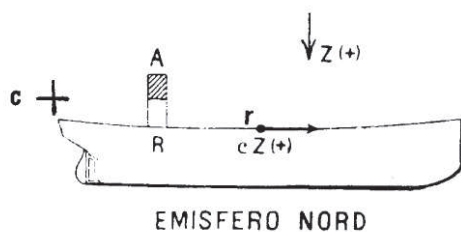


FIG. 11

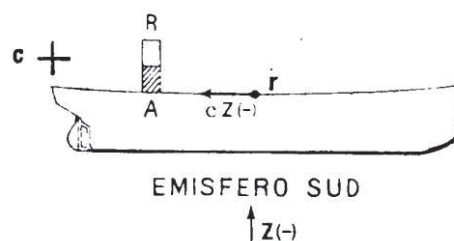


FIG. 12

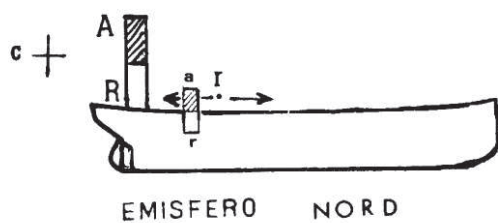


FIG. 13a

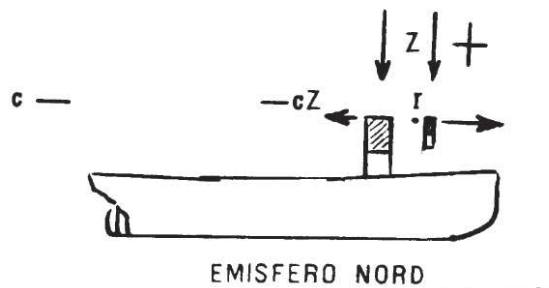


FIG. 13b

Nota: i ferri piccoli di fig. 13a e fig. 13b simboleggiano i correttori posti vicino alla bussola.

$$\begin{array}{lll}
 X' & = & X + P + aX + bY + cZ & \text{forze longitudinali} \\
 Y' & = & Y + Q + dX + eY + fZ & \text{forze trasversali} \\
 Z' & = & Z + R + gX + hY + kZ & \text{forze verticali}
 \end{array}
 \quad (2. IV)$$

Risultanti c.m.t. c.m.p. c.m. temporaneo ("indotto")

Concludiamo il paragrafo esprimendo globalmente, in termini classici, un concetto che fa da cornice alle argomentazioni addotte: l'insieme delle ipotesi semplificative potrebbe far pensare che lo studio s'incanali lungo vie lontane dalla realtà. Ogni teoria scientifica parte, di norma, da ipotesi la cui rispondenza dovrà poi essere confermata dal confronto fra i risultati teorici e quelli sperimentali; risultati che dovranno essere vicini. Eventuali notevoli differenze servono a correggere le ipotesi semplificative di partenza. È ciò che avviene anche nella teoria del magnetismo navale e nella pratica della compensazione.

3. FORZE E COEFFICIENTI DELL'«ADMIRALTY»

Rimandiamo l'esame della terza equazione di Poisson, che raccoglie nella risultante Z' tutte le forze verticali e perpendicolari al ponte e quindi ininfluenti a nave dritta, al paragrafo 7 allorché esamineremo lo sbandamento della nave. Per ora limitiamo l'attenzione alle prime due equazioni dove troviamo forze longitudinali nella prima equazione e forze trasversali nella seconda.

COMPOSIZIONE-SCOMPOSIZIONE. Nella prima equazione sono raggruppabili P e cZ , nella seconda Q ed fZ , tutte forze invariabili al variare della prora magnetica P_m . Ricordiamo la variabilità delle forze cZ ed fZ del c.m.i. per la variabilità di Z con la latitudine Θ , mentre P e Q sono invariabili.

Le forze longitudinali aX , bY e quelle trasversali dX , eY , del c.m.i. sono scomponibili. L'opportunità della scomposizione di ognuna di queste quattro forze è suggerita dalla variabilità del loro modulo al mutare della prora magnetica P_m ; ciò perché le forze inducenti X ed Y del c.m. terrestre sono variabili con P_m (v. formule I.IV).

Ognuna delle quattro forze aX , bY , dX , eY è scomponibile in due forze aventi modulo costante ($aH/2$, $bH/2$, $dH/2$, $eH/2$) di cui:

- una componente ha direzione fissa: N_m o S_m , E_m o W_m .
- l'altra componente ha direzione variabile: ruota di angoli doppi ($2.P_m$) al variare della prora P_m

La fig. 14 dimostra la scomposizione della forza aX in:

$aH/2$ diretta per $N_m(OC)$; $aH/2$ diretta secondo l'angolo $2P_m$ dal N_m (CA).

Dall'estremità A di aX si alza la normale fino ad incontrare in B il meridiano magnetico.

Il vettore OB è l'ipotenusa del triangolo OAB , rettangolo in A . OB vale aH perché:

$$OB = OA / \cos P_m ; OB = aX / \cos P_m ;$$

$$OB = aH \cdot \cos P_m / \cos P_m ; OB = aH.$$

C è il punto di mezzo del vettore aH (OB).

Pertanto la forza aX è la risultante dei due vettori componenti OC e CA che sono uguali perché raggi della stessa semicirconferenza; il modulo di essi è $aH/2$. Il vettore OC è orientato per N_m , mentre il vettore CA forma l'angolo $2P_m$ dal N_m . Che l'angolo esterno BCA sia $2P_m$ è dimostrato dal fatto che il triangolo OCA è isoscele e gli angoli in O e in A sono uguali a P_m : l'angolo esterno in C è la somma degli angoli interni non adiacenti.

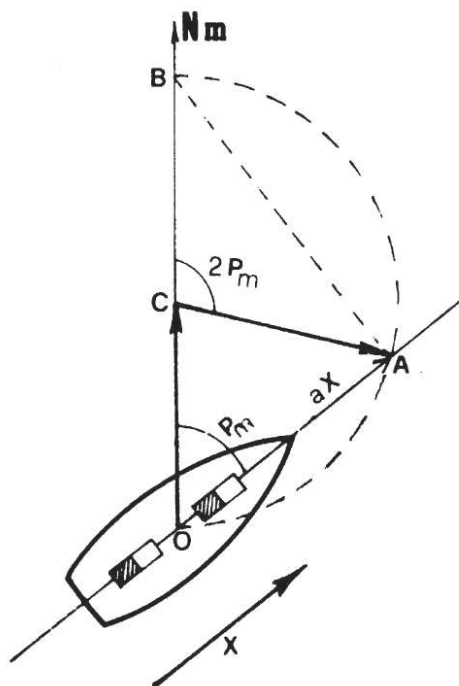


Fig. 14

Questo tipo di scomposizione, introducendo moduli costanti, agevola lo studio della deviazione a cui è soggetto l'ago della bussola. Tralasciando le analoghe dimostrazioni della scomposizione delle altre tre forze, riportiamo i risultati nel sottostante quadro riassuntivo dove sono stati considerati, per ognuno dei quattro parametri (a, b, d, e) il possibile segno positivo o negativo.

aH/2 per Nm		aH/2 per Sm	
a +	aX	a -	aX
aH/2 per 2Pm da Nm		aH/2 per 2Pm da Sm	
-----		-----	
eH/2 per Nm		eH/2 per Sm	
e +	eY	e -	eY
eH/2 per 2Pm da S m		eH/2 per 2Pm da Nm	
-----		-----	
bH/2 per Wm		bH/2 per Em	
b +	bY	b -	bY
bH/2 per 2Pm da Em		bH/2 per 2Pm da Wm	
-----		-----	
dH/2 per Em		dH/2 per Wm	
d +	dX	d -	dX
dH/2 per 2Pm da Em		dH/2 per 2Pm da Wm	
-----		-----	

Nello studio del magnetismo navale non è prevista la determinazione dei nove parametri a, b, ... k con misure di forza (ci riferiamo alle forze aX, bY ... kZ) perché le misure risulterebbero delicate, laboriose ed inevitabilmente approssimative.

RAGGRUPPAMENTO. Raccogliamo tutte le forze agenti nella stessa direzione: *direzione del meridiano magnetico*: $H + aH/2 + eH/2$ dove H ricomponi X e Y. La somma algebrica delle tre forze è indicata con:

$$\lambda H = H.[1 + (a+e)/2]$$

$$\text{avendo posto } \lambda = 1 + (a+e)/2$$

La forza direttrice λH dirige l'ago verso il nord magnetico.

I parametri «a» ed «e» sono piccoli, quasi sempre negativi per la prevalenza dei ferri dolci continui su quelli interrotti (v. tav.2 IV). Il valore di λ , nella media dei valori relativi a numerose navi, oscilla intorno a 0,85 per la bussola normale di controplancia, scende a valori più bassi, intorno a 0,7 per la bussola di rotta che è, rispetto alla normale, più “assediata” dai ferri di tipo «a» ed «e» continui (negativi).

Direzione longitudinale:

$$P + cZ$$

Direzione trasversale:

$$Q + fZ$$

Direzione Em - Wm:

$$dH/2 - bH/2$$

Direzione (lungo l'angolo) 2 Pm da Nm:

$$aH/2 - eH/2$$

Direzione (lungo l'angolo) 2 Pm da Em:

$$dH/2 + bH/2$$

Si arriva alla compilazione del quadro riepilogativo in cui compaiono, dopo la forza direttrice media λH diretta per Nm, le cinque forze deviatrici i cui moduli sono invariabili al mutare della prora magnetica Pm. Esse sono indicate, al primo membro, con i simboli classici introdotti da *Admiralty Manual for the deviations of the Compass*:

- 1) $\lambda H = H.[1+(a+e)/2]$ per Nm; è sempre positiva
 - 2) $\lambda H\mathfrak{A} = H.(d-b)/2$ per Em se è positiva; per Wm se è negativa
 - 3) $\lambda H\mathfrak{B} = P + cZ$ pruvavia se è positiva; poppavia se è negativa
 - 4) $\lambda H\mathfrak{C} = Q + fZ$ verso dritta se positiva; v. sinistra se negativa
 - 5) $\lambda H\mathfrak{D} = H.(a-e)/2$ per 2Pm: da Nm se positiva, (da Sm se negativa)
 - 6) $\lambda H\mathfrak{E} = H.(d+b)/2$ per 2Pm: da Em se positiva, da Wm se negativa
- $\lambda H\mathfrak{D}$ sarà riconosciuta sempre positiva. Sono ortogonali tra loro: 1) - 2); 3) - 4); 5) - 6)

4. POLIGONALE DELLE FORZE. DETERMINAZIONE DI λ .

L'ago della bussola, sottoposto contemporaneamente all'azione delle sei forze, si dirige nella direzione della forza risultante, forza orizzontale totale H_t' , deviata dal Nm di un angolo (angolo di deviazione totale δ) che è, prima della compensazione, rilevante, notevolmente variabile al variare della prora magnetica, come d'altra parte variabile è la forza totale H_t' (v. Tav. 4. IV).

I valori di λH e delle cinque forze deviatrici, di H_t' e di δ totali sono indipendenti, in virtù delle ipotesi semplificativi di Poisson, dalle qualità magnetiche della bussola. Tuttavia vedremo, nella prassi delle compensazioni, che si dovrà tenere conto del momento magnetico degli aghi.

Tutte le suddette forze hanno valori differenti per bussole collocate su punti diversi della nave.

In una compensazione accurata, nel gergo «compensazione completa», si ricorre alla determinazione sperimentale del coefficiente

$\lambda = 1 + (a+e)/2$ mediante la tecnica delle oscillazioni di un piccolo ago orizzontale della **bussoletta di oscillazione** (Tav 4. IV). La formula empirica di λ è:

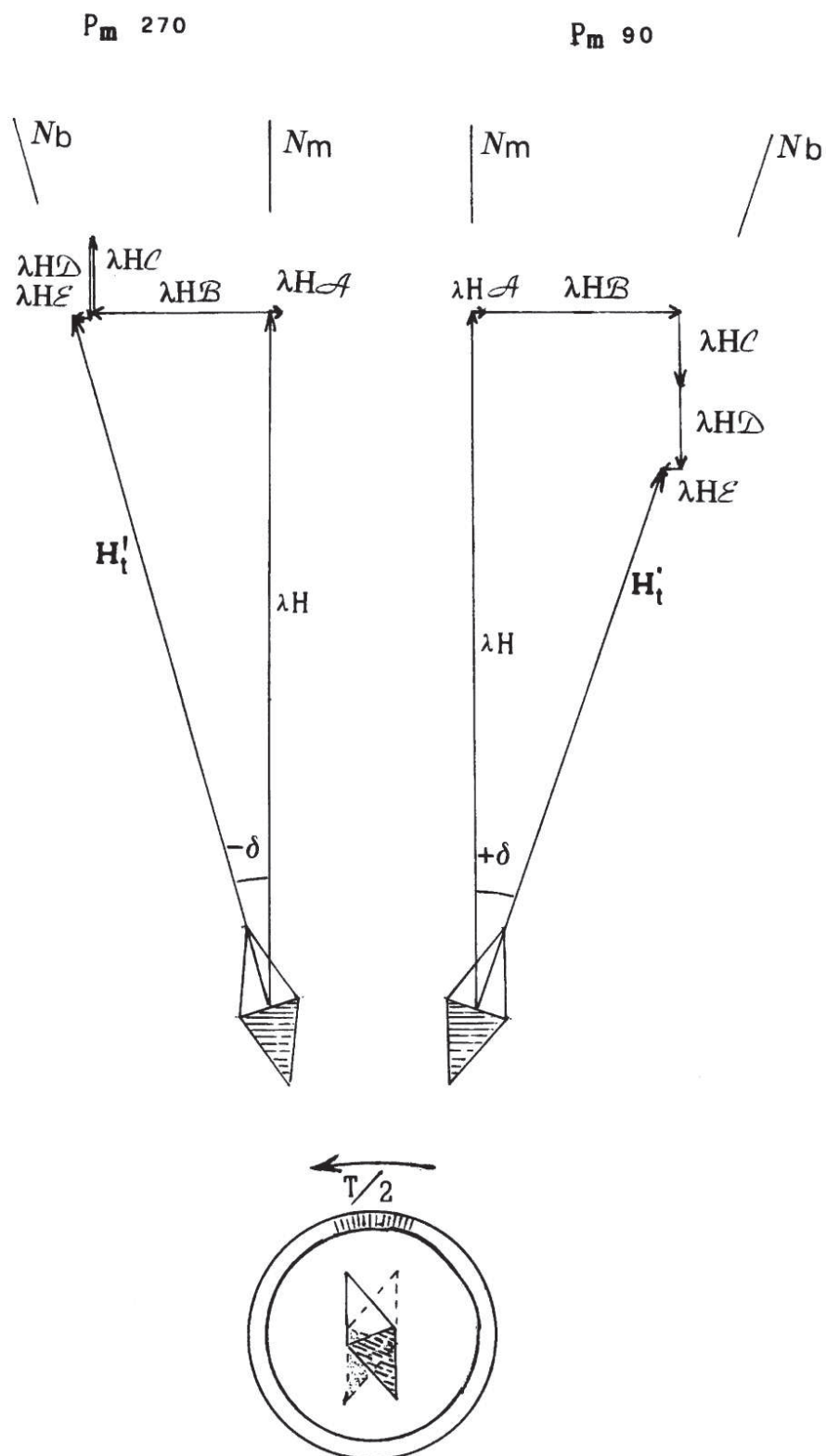
$$\lambda = \left\{ \frac{T^2}{T_o^2} \cos \delta_N + \frac{T^2}{T_{90}^2} \cos \delta_E + \frac{T^2}{T_{180}^2} \cos \delta_S + \frac{T^2}{T_{270}^2} \cos \delta_W \right\} : 4 \quad (2b IV)$$

T è la misura del periodo che si fa a terra, in zona esente da influenze magnetiche locali;

$\delta_N, \delta_E, \delta_S, \delta_W$ sono le deviazioni complessive (totali) trovate sulle prore magnetiche $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$. Su ognuna di queste prore, inoltre, si effettua la misura dei periodi T_i di oscillazione dell'ago della bussoletta (valori che si aggirano intorno a 2 secondi). La bussoletta di oscillazione viene piazzata al posto del mortaio, temporaneamente allontanato di almeno cinque metri dalla chiesuola. In pratica vengono cronometrati i secondi di tre periodi consecutivi, sia a terra che a bordo, per ridurre l'influenza di piccoli errori accidentali nelle misure; si tratta di oscillazioni dell'ago che partono da una elongazione (procurata da un magnete momentaneamente avvicinato) di 30° o poco meno, oscillazioni pertanto *isocrone*. Il rapporto prescinde dal numero dei periodi cronometrati. Se da queste misure sperimentali dovesse risultare, per la bussola di rotta, un valore minore di 0,7, dovrà essere ricercato, per il piazzamento della chiesuola, una ubicazione più idonea, dove risulti un coefficiente λ più alto. Si tenga presente che una forza λH modesta

TAVOLA 4 .IV Risultanti delle forze H'_t ; deviazione δ ; bussola di oscillazione.

Poligoni delle forze su P_m 90° e 270° con i seguenti valori delle forze:
 $\lambda H = 1$ (unità di misura) $\alpha = 0,02$ $\beta = 0,28$ $\gamma = 0,105$ $\delta = 0,12$ $\epsilon = 0,03$



comporta più ampie deviazioni δ che sarà più arduo compensare; inoltre una forza totale H_t' modesta rende la bussola pigra nell'orientazione (il periodo T si allunga):

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{K}{m \cdot H'}}$$

Giustificazione teorica del procedimento per la determinazione di λ .

Si proietta sul meridiano magnetico la risultante H_t' (v. Tav. 4) della poligonale della forza; si ottiene il vettore $H_t' \cdot \cos \delta$. Ricordiamo che: *la proiezione della risultante è uguale alla somma delle proiezioni delle componenti*. La prima componente è λH , già sul Nm; $\lambda H \mathfrak{A}$, essendo normale al meridiano magnetico, ha proiezione nulla; la seconda componente è $\lambda H \mathfrak{B} \cdot \cos P_m$ (P_m è l'angolo tra Nm e l'asse longitudinale), e così via per le altre forze. In definitiva si perviene alla seguente **formula della forza**:

$$H_t' \cdot \cos \delta = \lambda H + \lambda H \mathfrak{B} \cdot \cos P_m - \lambda H \mathfrak{C} \cdot \sin P_m + \lambda H \mathfrak{D} \cdot \cos 2P_m - \lambda H \mathfrak{E} \cdot \sin 2P_m \quad (3. IV)$$

Per le 4 P_m equidistanti (0° 90° 180° 270° oppure 45° 135° 225° 315° oppure per tutte ed otto) scrivendo "n" volte ($n = 4$, $n = 8$) la formula della forza, ed operando poi la somma Σ delle equazioni (3), si perviene, considerando che i termini con le funzioni trigonometriche assumono valori uguali ed opposti, a:

$$\Sigma H_t' \cdot \cos \delta = n \cdot \lambda H \quad \text{da cui:}$$

$$\lambda = \frac{1}{n} \Sigma \frac{H_t'}{H} \cos \delta \quad (4. IV)$$

Al posto del rapporto H_t'/H si sostituisce il quadrato del rapporto dei periodi $(T/T')^2$, come suggerisce la formula del periodo sopra riportata, e si perviene alla (2b). La determinazione di λ come media di "n" misure giustifica l'espressione di λH : *forza direttrice media verso il Nm*.

Esempio: la durata di 10 oscillazioni, a terra, è 17,0 secondi. A bordo, sulle P_m 0° 90° 180° 270° (ove sono state lette P_b : 354.5° 72° 184.1° 284°), i periodi di 10 oscillazioni sono risultati rispettivamente: 15,3s 20,7s 19,0s 18,7s. Calcolare le quattro δ e λ . *Risultati:* $+5.5^\circ$ $+18.0^\circ$ -4.1° -14.0° ; $\lambda = 0,87$.

5. DEVIAZIONI PARZIALI PRODOTTE DALLE CINQUE FORZE.

Viene ora svolto uno studio analitico sulla deviazione che ogni forza deviatrice genera quando viene composta, singolarmente, con la forza direttrice media λH diretta verso il Nm.

$\lambda H \mathfrak{A} = H \cdot (d - b)/2$ ha direzione fissa: per E_m se è + ; per W_m se è - . Dalla composizione di $\lambda H \mathfrak{A}$ con λH nasce la *deviazione costante* A° , invariabile al mutare sia della P_m sia della località magnetica. Difatti il rapporto tra $\lambda H \mathfrak{A}$, forza deviatrice, e λH , forza direttrice, è:

$$\mathfrak{A} = (d - b)/(2\lambda) \quad \text{dipendente soltanto dai parametri } (d, b, \lambda) \text{ dei ferri dolci (v. Tav. 5a).}$$

Questo rapporto è $\tan \delta$ che, per angoli molto piccoli, è $\cong \sin \delta$. Perciò può scriversi: $\mathfrak{A} = \sin A^\circ$.

La forza longitudinale $\lambda H \mathfrak{B} = P + cZ$ è diretta verso prua se + , verso poppa se - .

Comprende la forza P del c.m.p. dei ferri duri, e la forza cZ del c.m.i. (temporaneo) dei ferri dolci. La sua deviazione (Tav. 5a. IV) è variabile con il cambiare della prora.

Il vettore generico MB ruota con la nave e si compone continuamente con λH .

La deviazione è di tipo sinusoidale con valori massimi su $P_b = 90^\circ$ e 270° , valori nulli su P_m (e P_b) 0° e 180° , cambia segno ogni 180° , da cui l'espressione di *deviazione sinusoidale semicircolare*.

Esaminiamo il triangolo OMB. L'angolo esterno in M è P_m , quello interno in O è δ ; pertanto l'angolo OBM è $(P_m - \delta)$, cioè P_b . Applicando il teorema dei seni: $\sin \delta / \lambda H \mathfrak{B} = \sin P_b / \lambda H$; $\sin \delta = \mathfrak{B} \cdot \sin P_b$; (per $\delta < 26^\circ$ è accettabile la scrittura $\sin \delta = \delta \cdot \sin 1^\circ$ in quanto che l'errore che s'introduce è $< 1^\circ$); $\delta^\circ \cdot \sin 1^\circ = \mathfrak{B} \cdot \sin P_b$; (ponendo $\mathfrak{B} / \sin 1^\circ = B^\circ$ e $\mathfrak{B} = B^\circ \cdot \sin 1^\circ = \sin B^\circ$) si ha in definitiva:

$$\delta = B^\circ \cdot \sin P_b$$

La massima deviazione $|B^\circ|$ prodotta da questa forza si ha su $Pb = 90^\circ$ e 270° .

La deviazione prodotta da $\lambda H\mathfrak{B}$ cambia quando il mutare della posizione geografica della nave comporta variazione degli elementi (H, Z, Θ) del c.m.t. Per quanto scritto sopra ($\mathfrak{B} = \sin B^\circ = B^\circ \cdot \sin 1^\circ$) ed in considerazione del rapporto tra forza deviante $\lambda H\mathfrak{B}$ e forza direttrice λH [tale rapporto è: $\mathfrak{B} = P/(\lambda H) + cZ/(\lambda H)$] si perviene a B° , δ massima prodotta da questa forza su $Pb = 90^\circ$ e 270° .

$$B^\circ = P/(\lambda H \cdot \sin 1^\circ) + c \cdot \tan \Theta / (\lambda \cdot \sin 1^\circ) \quad B^\circ \text{ è dato dalla somma di } B_1^\circ \text{ e di } B_2^\circ$$

$$B_1^\circ = P/(\lambda H \cdot \sin 1^\circ) \quad (5. \text{ IV})$$

$$B_2^\circ = c \cdot \tan \Theta / (\lambda \cdot \sin 1^\circ) \quad (6. \text{ IV})$$

$B_1^\circ = P / (\lambda H \cdot \sin 1^\circ)$ esprime la deviazione massima prodotta dai ferri duri longitudinali di tipo P del c.m.p. B_1° aumenta al diminuire di H e, viceversa, diminuisce all'aumentare di H. Tra B_1° ed H c'è, dunque, una **proporzionalità inversa**.

$B_2^\circ = c \cdot \tan \Theta / (\lambda \cdot \sin 1^\circ)$ esprime la deviazione massima prodotta dai ferri dolci verticali di tipo «c» indotti dalla componente verticale Z del c.m.t. Anche B_2° cambia con il mutare della posizione geografica: B_2° aumenta quando aumenta Θ (e con Θ aumenta anche $\tan \Theta$; diminuisce al diminuire di Θ), si annulla all'equatore magnetico ($\Theta = 0^\circ$) e cambia segno nel passaggio di emisfero magnetico. Tra B_2° e $\tan \Theta$ c'è pertanto una **proporzionalità diretta**.

La complessità della deviazione B° si manifesterà, come vedremo, durante la compensazione.

$\lambda HC = Q + fZ$ è una forza trasversale, agente sulla dritta se positiva, sulla sinistra se negativa.

La deviazione è variabile con la prora della nave. Essendo la forza ortogonale alla longitudinale $\lambda H\mathfrak{B}$, la curva è del tipo cosinusoidale semicircolare, con cambio di segno ogni semicerchio su $Pm = Pb = 90^\circ$ e 270° . L'espressione di δ si trova in modo analogo a come operato con $\lambda H\mathfrak{B}$. Essa è:

$$\delta = C^\circ \cdot \cos Pb$$

La deviazione è massima $|C^\circ|$ su $Pb = 0^\circ$ e 180° . Si fa notare che il ferro dolce di tipo «f» ha sempre il simmetrico, per la simmetria della nave rispetto al piano diametrale. Ad un parametro f si contrappone un parametro - f - in generale uguale ed opposto; in breve: f o è nullo o è comunque trascurabile; pertanto $\lambda HC = Q$; da cui $C^\circ = Q/(\lambda H)$. La deviazione C° prodotta dai ferri duri trasversali cambia al mutare della posizione geografica; $C^\circ = Q/(\lambda H \cdot \sin 1^\circ)$ diminuisce se aumenta H, aumenta se H diminuisce, analogamente a B_1° . La *deviazione cosinusoidale semicircolare* generata da questa forza sarà compensata soltanto da magneti trasversali.

$\lambda H\mathfrak{D} = H \cdot (a - e)/2$. La forza ruota di angoli doppi dell'angolo di rotazione della nave (v. Tav. 5b IV). Pertanto la deviazione ha carattere quadrante cardinale, cambiando segno quando la nave transita ai cardini $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$. Applicando il teorema dei seni si perviene all'espressione $\delta = D^\circ \sin (2Pb + \delta)$, equazione implicita con δ al 1° ed al 2° membro. Per renderla esplicita si trascura δ nel secondo membro commettendo un'approssimazione di calcolo accettabile (per $D^\circ < 15^\circ$ l'errore in δ è minore di 2°). In realtà le deviazioni non sono proprio massime (D° e $-D^\circ$) sulle Pb intercardinali, ma un po' prima ed un po' dopo; difatti $\delta = D^\circ$ quando $2Pb + \delta = 90^\circ$ ($\sin 90^\circ = 1$, valore massimo); ciò avviene su $Pb = 45^\circ - \delta_{\max}/2$ oppure su $Pb = 135^\circ - \delta_{\max}/2$ (con δ negativa in questo secondo caso).

La deviazione **quadrante** prodotta da $\lambda H\mathfrak{D}$ è:

$$\delta^\circ = D^\circ \cdot \sin 2Pb$$

Il rapporto tra forza deviatrice $\lambda H\mathfrak{D}$ e forza direttrice λH è $\mathfrak{D} = (a - e)/(2\lambda)$, invariabile col cambiamento della località magnetica. Così dicasi della deviazione prodotta da $\lambda H\mathfrak{D}$. $\lambda H\mathfrak{D}$ verrà compensata con sfere cave di ferro dolce, del Thomson, o con cilindri di ferro dolce, del Modena.

$\lambda H\epsilon = H.(d + b)/2$ Valgono considerazioni analoghe a quelle svolte sulla precedente deviazione quadrante. Anche questa curva delle deviazioni, come la precedente, si avvicina al tipo sinusoidale. La deviazione cambia segno quando la nave transita per le Pb intercardinali. Questa deviazione *quadrante intercardinale* è invariabile al mutare della posizione geografica:

$$\delta = E^\circ \cdot \cos 2Pb$$

Nello studio delle deviazioni parziali sono state introdotte delle approssimazioni, non rilevanti e quindi accettabili; inoltre sono state fatte delle posizioni:

$$\text{sen} \delta = \delta^\circ \cdot \text{sen} 1^\circ ; B/\text{sen} 1^\circ = B^\circ, \text{ da cui } B = \text{sen} B^\circ ; \dots C = \text{sen} C^\circ \text{ etc.}$$

l'aver reso esplicite equazioni che, effettivamente, sono implicite in δ ; pervenendo in definitiva a

$$A = \text{sen} A^\circ ; B = \text{sen} B^\circ ; C = \text{sen} C^\circ ; D = \text{sen} D^\circ ; E = \text{sen} E^\circ \quad (7. IV)$$

Dopo aver determinato il coefficiente λ e quindi la forza direttrice media λH , sono determinabili anche le forze deviatrici $\lambda H A$, $\lambda H B$... una volta individuati gli angoli $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$ in virtù delle espressioni (9. IV) che esamineremo nel prossimo paragrafo.

Ricordiamo che A , B , C , D , E sono le forze deviatrici espresse in unità λH ($\lambda H = 1$) mentre $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$ sono le **deviazioni massime** prodotte dalle 5 forze deviatrici su determinate prore.

6. COEFFICIENTI $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$. SERIE DI FOURIER

L'ago, soggetto simultaneamente all'azione delle sei forze, si orienta nella direzione della forza risultante H_t' accusando, per una data prora bussola Pb, una deviazione totale δ che è la somma algebrica delle singole deviazioni studiate:

$$\delta = A^\circ + B^\circ \cdot \text{sen} Pb + C^\circ \cdot \cos Pb + D^\circ \cdot \text{sen} 2Pb + E^\circ \cdot \cos 2Pb \quad (8. IV)$$

formula approssimata della deviazione, per le ipotesi ed approssimazioni di calcolo introdotte.

Confrontiamo la (8. IV) con l'espressione analitica dello sviluppo in serie di Fourier (matematico francese 1768 – 1830):

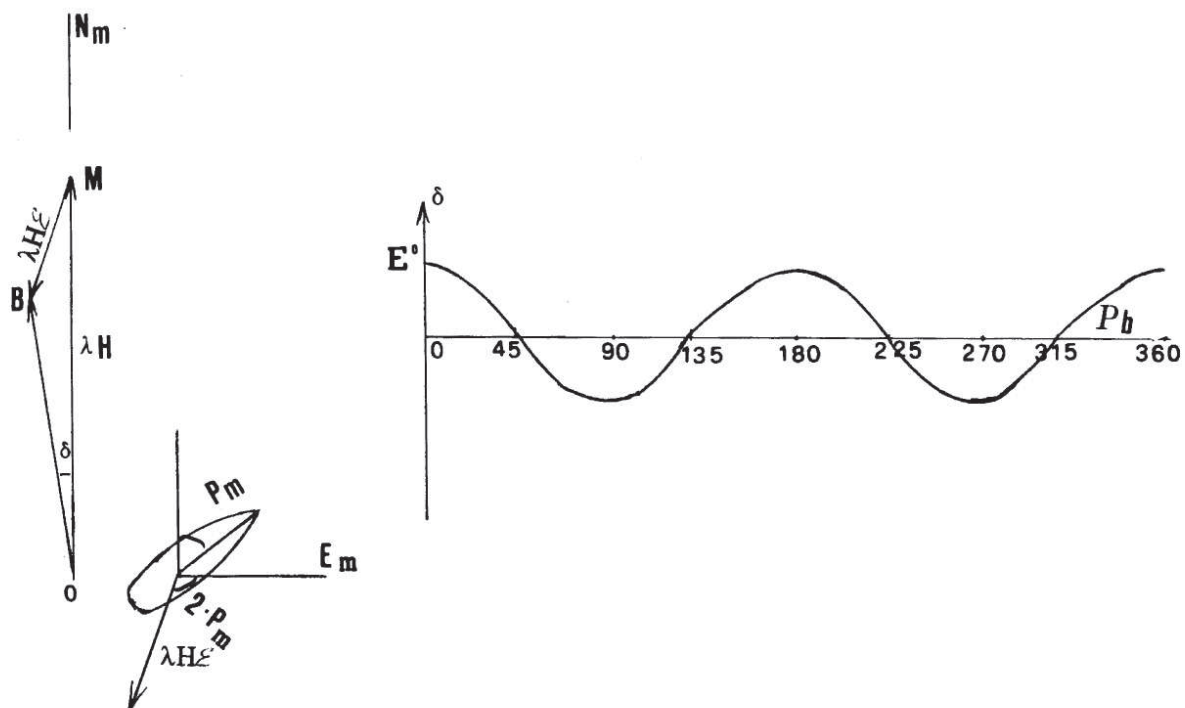
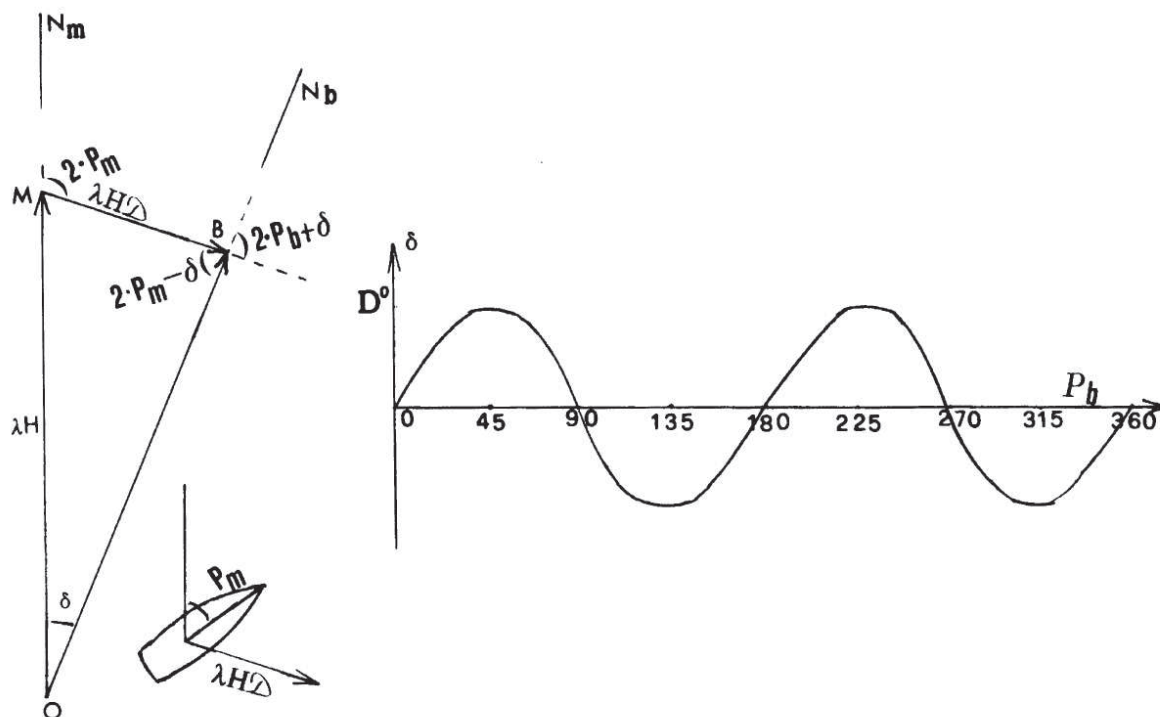
$$\delta = f(Pb) = \alpha_0 + \sum [\alpha_n \text{sen}(nPb) + \beta_n \cos(nPb)]$$

con cui si rappresentano tutte le funzioni di carattere periodico. Dando a n i valori 1, 2, 3, ... e chiamando α_1 e β_1 con B e C , chiamando α_2 e β_2 con D ed E , etc... si riconosce che anche la formula approssimata della deviazione (8. IV) contiene i primi cinque termini di uno sviluppo in serie. Altri successivi termini, con i coefficienti via via sempre più piccoli, entrerebbero se si togliessero le ipotesi semplificative di Poisson e si considerassero anche gli altri campi magnetici di cui è stato fatto cenno nel par.2. Una formula classica del magnetismo navale è quella di Smith:

$$\text{sen} \delta = A \cdot \cos \delta + B \text{sen} Pb + C \cdot \cos Pb + D \cdot \text{sen}(2Pb + \delta) + E \cdot \cos(2Pb + \delta) + F \cdot \text{sen}(3Pb + \delta) \dots$$

Ad essa si perviene proiettando le forze nella direzione $E_b - W_b$ ove la proiezione della risultante H_t' è nulla. La formula dà δ in modo implicito perché compare in tutti i termini. Però, attraverso trasformazioni matematiche, dalla formula di Smith si arriva alla formula della δ (8. IV). Riconosciuto lo "spessore matematico" di questa trattazione, vediamo ora come vengono ricercati i valori dei coefficienti $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$. Si esegue a bordo il primo giro di bussola fermando la nave sulle otto prore bussole cardinali ed intercardinali (limitiamo l'esame soltanto alle otto deviazioni, come avviene di fatto). Su queste prore sono state trovate, empiricamente (v. Cap. III), le otto deviazioni: δ_N , δ_{NE} , δ_E , δ_{SE} , δ_S , δ_{SW} , δ_W , δ_{NW} ; possiamo scrivere otto volte la formula approssimata ricordando che $\text{sen} 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0,7$.

TAVOLA 5b IV Forze deviatrici λH_D λH_E e diagramma delle loro deviazioni.



$$\begin{array}{ll}
\delta_N = A^\circ + \quad + C^\circ + E^\circ & \delta_S = A^\circ - C^\circ + E^\circ \\
\delta_{NE} = A^\circ + 0,7B^\circ + 0,7C^\circ + D^\circ & \delta_{SW} = A^\circ - 0,7B^\circ - 0,7C^\circ + D^\circ \\
\delta_E = A^\circ + B^\circ - E^\circ & \delta_W = A^\circ - B^\circ - E^\circ \\
\delta_{SE} = A^\circ + 0,7B^\circ - 0,7C^\circ - D^\circ & \delta_{NW} = A^\circ - 0,7B^\circ + 0,7C^\circ - D^\circ
\end{array}$$

Dando uno sguardo ai termini incolonnati notiamo che tutti i termini, ad eccezione del primo, hanno l'opposto; nella sommatoria, di conseguenza, scompaiono: $\Sigma\delta=8.A^\circ$. Combinando differenze e somme di due o quattro equazioni si ricavano le seguenti espressioni dei coefficienti

$$A^\circ = \Sigma\delta/8 \qquad B^\circ = (\delta_E - \delta_W)/2 \qquad C^\circ = (\delta_N - \delta_S)/2 \qquad (9.IV)$$

$$D^\circ = [(\delta_{NE} + \delta_{SW}) - (\delta_{SE} + \delta_{NW})] : 4 \qquad E^\circ = [(\delta_N + \delta_S) - (\delta_E + \delta_W)] : 4$$

Determinati questi coefficienti approssimati (massime deviazioni prodotte dalle cinque forze deviatrici), è possibile calcolare, con le formule (7. IV), $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$. Pertanto è possibile risalire, dall'esame della curva irregolare ma periodica della deviazione totale – periodo 360° – alle curve regolari delle deviazioni parziali (v. Tavola 6) prodotte dalla forze $\lambda H_A, \lambda H_B, \dots$ quando queste si compongono, simultaneamente, con la forza λH . La costruzione di ogni curva, *onda armonica* di tipo sinusoidale (semicircolare, quadrantale, sestantale [per gli altri termini dello sviluppo in serie oltre il quinto]...), è possibile quando si perviene alla conoscenza, come nel nostro caso, del coefficiente ($A^\circ, B^\circ \dots$), massima δ prodotta dalla corrispondente forza.

Con questi concetti si ricavano, da una curva irregolare periodica, le onde componenti armoniche in quei processi matematici noti col nome di *analisi armonica*. Le curve di *marea*, dell' "*equazione del tempo ε* ", rientrano in questo tipo di studi.

Esempio numerico: da un giro di bussola effettuato prima della compensazione emergono le seguenti deviazioni determinate in funzione della prora bussola:

$$\begin{array}{l}
N: -6.5^\circ \quad N-NE: +1.6^\circ \quad NE: +8.3^\circ \quad E-NE: +11.7^\circ \quad E: +11.5^\circ \quad E-SE: +9.2^\circ \quad SE: +6.8^\circ \quad S-SE: +5.6^\circ \\
S: +5.5^\circ \quad S-SW: +5.0^\circ \quad SW: +2.7^\circ \quad W-SW: -2.2^\circ \quad W: -8.5^\circ \quad W-NW: -13.9^\circ \quad NW: -15.8^\circ \quad N-NW: -13.1^\circ
\end{array}$$

Diagrammare la curva risultante. Calcolare i coefficienti $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$ (è stato ipotizzato nullo ogni altro successivo termine della serie). Confrontare i risultati ottenuti con quelli della tavola 6. IV. Risultati: $A^\circ = +0.5^\circ \quad B^\circ = +10^\circ \quad C^\circ = -6^\circ \quad D^\circ = +5^\circ \quad E^\circ = -1^\circ$. Nella Tavola 10. IV è illustrata la relativa compensazione di questa bussola.

7. DEVIATIONE DI SBANDAMENTO

La 3ª equazione di Poisson (2.IV), a nave dritta: $Z' = Z + R + gX + hY + kZ$ raggruppa le forze verticali. Quando la nave sbanda, nel rollio, soltanto la componente verticale Z del c.m.t. conserva la verticalità. Le altre, R del c.m.p. e le ultime tre, del c.m.i., sono dirette per puntale e perdono la verticalità. L'ago della rosa, la quale a nave sbandata mantiene l'orizzontalità, è ora soggetto a nuove forze che ne alterano la condizione di equilibrio lungo la risultante forza totale H_t' . L'ago, già deviato di δ dal Nm, si allontana dal nord bussola ricercando una nuova posizione di equilibrio lungo un'altra direzione nord bussola, deviata ora dal Nm dell'angolo δ_i (deviazione a nave inclinata). La rotazione della rosa, da una parte e dall'altra durante il rollio, mette in difficoltà il timoniere nel suo compito di mantenere la linea di fede sui gradi della prora bussola (Pb) da seguire. Si dimostra che la variazione $(\delta_i - \delta)^\circ$ è funzione di Pb, è proporzionale, secondo un coefficiente di proporzionalità J , all'angolo d'inclinazione i° :

$$(\delta_i - \delta)^\circ = J.i^\circ \cos Pb \qquad (10. IV)$$

La prima figura della Tavola 7.IV fa vedere la forza risultante R , che è verticale finché la nave è dritta; non c'è componente sul piano orizzontale passante per il polo rosso r dell'ago che, perciò non è

TAVOLA 6. IV Dalla curva irregolare periodica alle componenti armoniche.

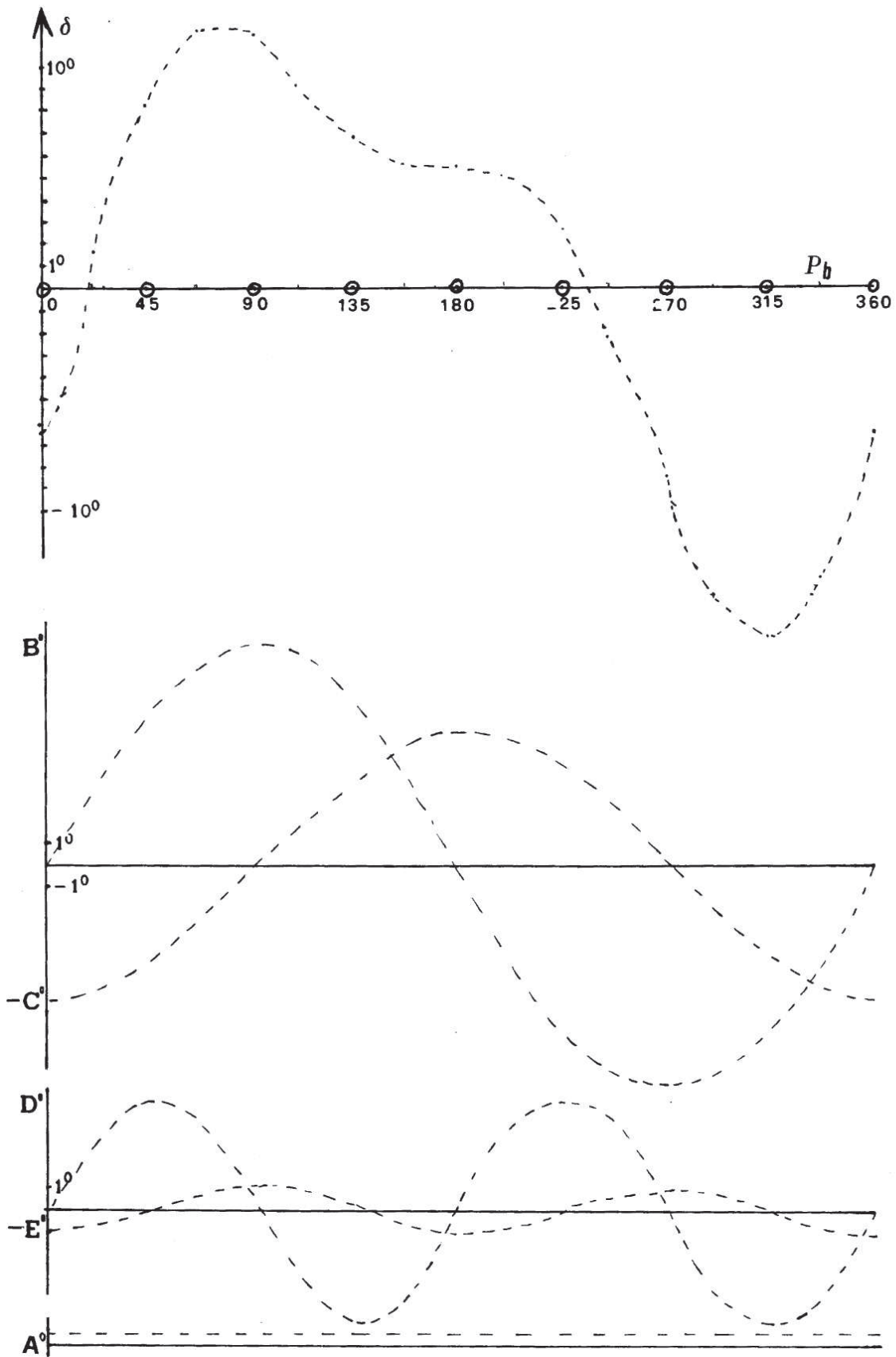
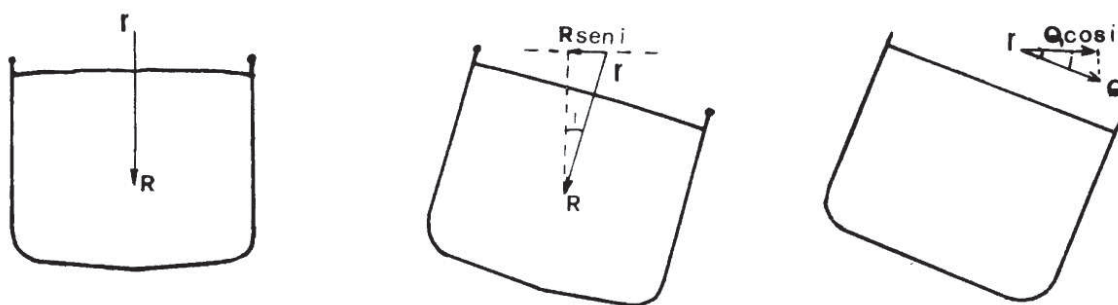
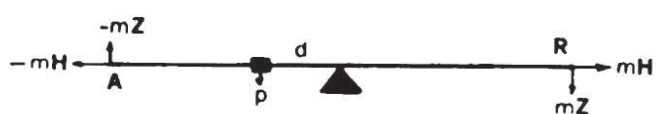
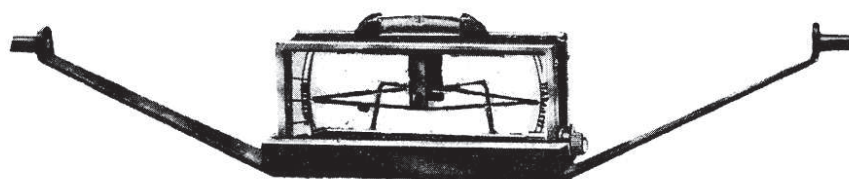
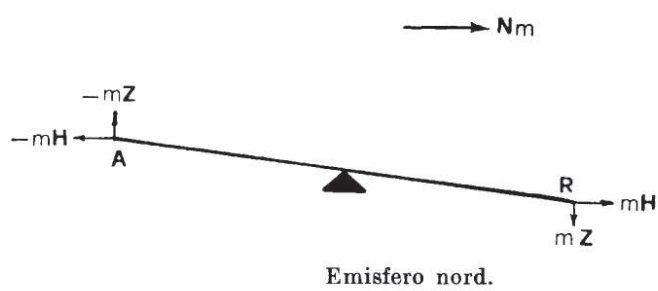


TAVOLA 7. IV Deviazione di sbandamento e misura di "d" con la bilancetta.



vista di poppa



influenzato da Z' nella ricerca del Nb. Le figure successive mettono in evidenza la componente orizzontale di R , $R \cdot \sin i^\circ$, quando la nave sbanda dell'angolo i° . Inoltre la forza $Q \cdot \cos i^\circ$ è la componente orizzontale della forza trasversale Q . Si verificano variazioni di forze anche in quelle del c.m.i. Nel c.m.i. lo studio diventa più complesso poiché, con il rollio, tutti i ferri, esclusi quelli di tipo "a", s'inclinano; essi cambiano posizione rispetto all'ago e danno luogo a forze di attrazione o di repulsione d'intensità differenti da quelle a nave dritta. Inoltre i ferri dolci indotti dalle componenti Y e Z a nave dritta, sono indotti, a nave sbandata, contemporaneamente da entrambe le componenti sub-orizzontale e sub-verticale di Y e di Z (per uno studio dettagliato sulle variazioni delle otto forze del c.m.i. rimandiamo alla bibliografia: trattati di magnetismo navale). Il risultato è che, delle 5 forze deviatrici, l'unica che varia sensibilmente è λHC . Si dimostra che il coefficiente J ha l'espressione:

$$J = \frac{1}{\lambda} \cdot (e - k - \frac{R}{Z}) \cdot \tan \Theta \quad (11.IV)$$

Il cambiamento di deviazione dato dalla (10) dipende dai parametri "a", "e", "k" dei ferri dolci (ricordiamo che $\lambda = 1 + [a+e]:2$) ed in misura maggiore dalla componente verticale R del c.m.p. Inoltre il coefficiente di sbandamento J cambia con la posizione geografica: J aumenta con l'aumentare di Θ .

Vediamo come si semplifica la 3ª equazione di Poisson quando la nave è su prora magnetica 90° o 270°

$$Z'_{90} = Z + R + kZ$$

Ciò perché la forza gX , uguale a $gH \cdot \cos P_m$, si annulla ($\cos 90^\circ = 0$); il parametro "h" appartenente al tipo di ferro simmetrico è piccolo, trascurabile. Dividendo 1° e 2° membro dell'ultima equazione per Z :

$$Z'_{90}/Z = 1 + k + R/Z$$

Si dimostra:

$$J = \{1 - \mathfrak{D} - Z'_{90}/(Z \cdot \lambda)\} \tan \Theta \quad (12. IV)$$

Il rapporto Z'_{90}/Z , su $P_m 90^\circ$ o 270° , viene determinato empiricamente con la bilancetta d'inclinazione (v. Tavola 7). La bilancetta è, in sostanza, un ago magnetico libero di oscillare intorno ad un asse orizzontale. A terra, dopo aver orientato l'ago nel piano della forza totale F del c.m.t. (piano del meridiano magnetico), esso tende ad inclinarsi dell'angolo Θ rispetto al piano orizzontale. Si mette un pesetto p dalla parte sollevata dell'ago, parte "azzurra", e per tentativi viene ricercata quella posizione del pesetto, a distanza "d" dall'asse di rotazione, capace di rendere orizzontale l'ago. La distanza "d" è misurata sulla graduazione millimetrica incisa sull'ago. Il momento raddrizzante $p \cdot d$ uguaglia la coppia $m \cdot Z$ (m momento magnetico):

$$p \cdot d = m \cdot Z \quad (13. IV)$$

A bordo si orienta la nave su $P_m 90^\circ$ (o 270°); si segna sulla chiesuola (con un gessetto) la direzione del Nm (lontana δ dallo zero, 0° , della rosa), si toglie la bussola, allontanandola di qualche metro, per mettervi la bilancetta con l'ago orientato verso il Nm. La forza verticale presente a bordo è Z' . Cambia di conseguenza la condizione di equilibrio: l'ago non è più orizzontale; si muove il pesetto che viene messo alla distanza d' . Raggiunta l'orizzontalità dell'ago, la nuova condizione di equilibrio è:

$$p \cdot d' = m \cdot Z'$$

Eseguendo il rapporto delle due uguaglianze si ottiene:

$$d'/d = Z'_{90}/Z$$

Si sostituisce il primo membro nella (12. IV) e si ottiene l'ultima espressione di J , utile per capire la tecnica di compensazione:

$$J = \left\{ 1 - \mathfrak{D} - \frac{d'}{d \cdot \lambda} \right\} \tan \Theta \quad (14.IV)$$

Parte II Compensazione (par. 8÷13)

8. GENERALITÀ SULLE COMPENSAZIONI

La compensazione della bussola magnetica è operazione complessa, di elevato impegno professionale, a cui si perviene con successo se l'operatore ha un buon bagaglio di conoscenze teoriche e pratiche. Talune compensazioni si presentano relativamente facili, altre problematiche.

In questa sede non è possibile esaminare ogni caso. Emergeranno le linee fondamentali di questo lavoro, ma è bene precisare subito che non tutte le compensazioni sono inquadrabili entro schemi. Si segnala l'importanza di seguire gli esercizi, per un migliore approccio a questo studio non facile.

Cominciamo con l'elencazione degli argomenti del discorso, partendo dai preliminari:

1) necessità della compensazione; 2) principio; 3) ordine e priorità; 4) criterio; 5) tipo di compensazione; 6) compensazione da completare su nave di lungo corso; 7) stabilità della compensazione e raccomandazioni pratiche.

Necessità: occorre compensare una bussola non tanto per l'esistenza di deviazioni rilevanti, ma principalmente per i seguenti due motivi: a) la forza risultante H_t' , molto variabile da prora a prora, su alcune prore può assumere valori talmente piccoli da rendere la rosa pigra; b) il secondo motivo è l'estrema variabilità della deviazione per prore anche vicine. Ci spieghiamo con un esempio: su $P_b=315^\circ$ δ sia -15.8° ; su $P_b = 45^\circ$ δ sia $+8.3^\circ$; le P_m corrispondenti sono: 299.2° e 53.3° . Ad un'apparente accostata di 90° (da 315° a 45° , alla bussola) corrisponde una reale accostata di 114.1° (da $P_m = 299.2^\circ$ a $P_m = 53.3^\circ$). Pertanto il timoniere, in determinate circostanze, senza riferimenti di terra davanti a sé, può essere tratto in inganno.

Principio: compensare una bussola significa contrastare i campi magnetici dei ferri di bordo nell'intorno degli aghi con campi magnetici di segno opposto per tentare di annullare le maggiori forze deviatrici. All'uopo si collocano, **nella chiesuola, magneti; intorno alla chiesuola ferri**. I magneti correttori per compensare il campo magnetico permanente (c.m.p.) dei ferri duri; i ferri dolci correttori per compensare il campo magnetico temporaneo o indotto (c.m.i.) dei ferri dolci della nave. È il caso, ad es., della quadrantale ($\lambda H\mathfrak{D}$) compensata dalle sfere cave di ferro dolce.

La forza $\lambda H\mathfrak{D} = H.(a - e)/2$ ha, su tutte le navi, segno + perché i coefficienti (a , e) hanno entrambi segno - (a , e , sono ferri continui), e poiché $|e| > |a|$, la differenza algebrica ($a - e$) risulta positiva. $\lambda H\mathfrak{D}$ crea deviazione positiva su P_m del I° e III° quadrante, δ negativa su P_m del II° e IV° quadrante. Le sfere del Thomson (v.Tav.8 IV) magnetizzate dalla componente orizzontale H del c.m.t. generano una deviazione di segno opposto alla deviazione prodotta dalla $\lambda H\mathfrak{D}$ (v.fig.a); creano cioè δ negativa nel I° e III° quadrante, δ positiva nel II° e IV° quadrante. La figura relativa al correttore trasversale evidenzia ancora meglio il principio della compensazione (v.fig. b di destra). Figure analoghe potrebbero essere disegnate per le forze longitudinali e trasversali.

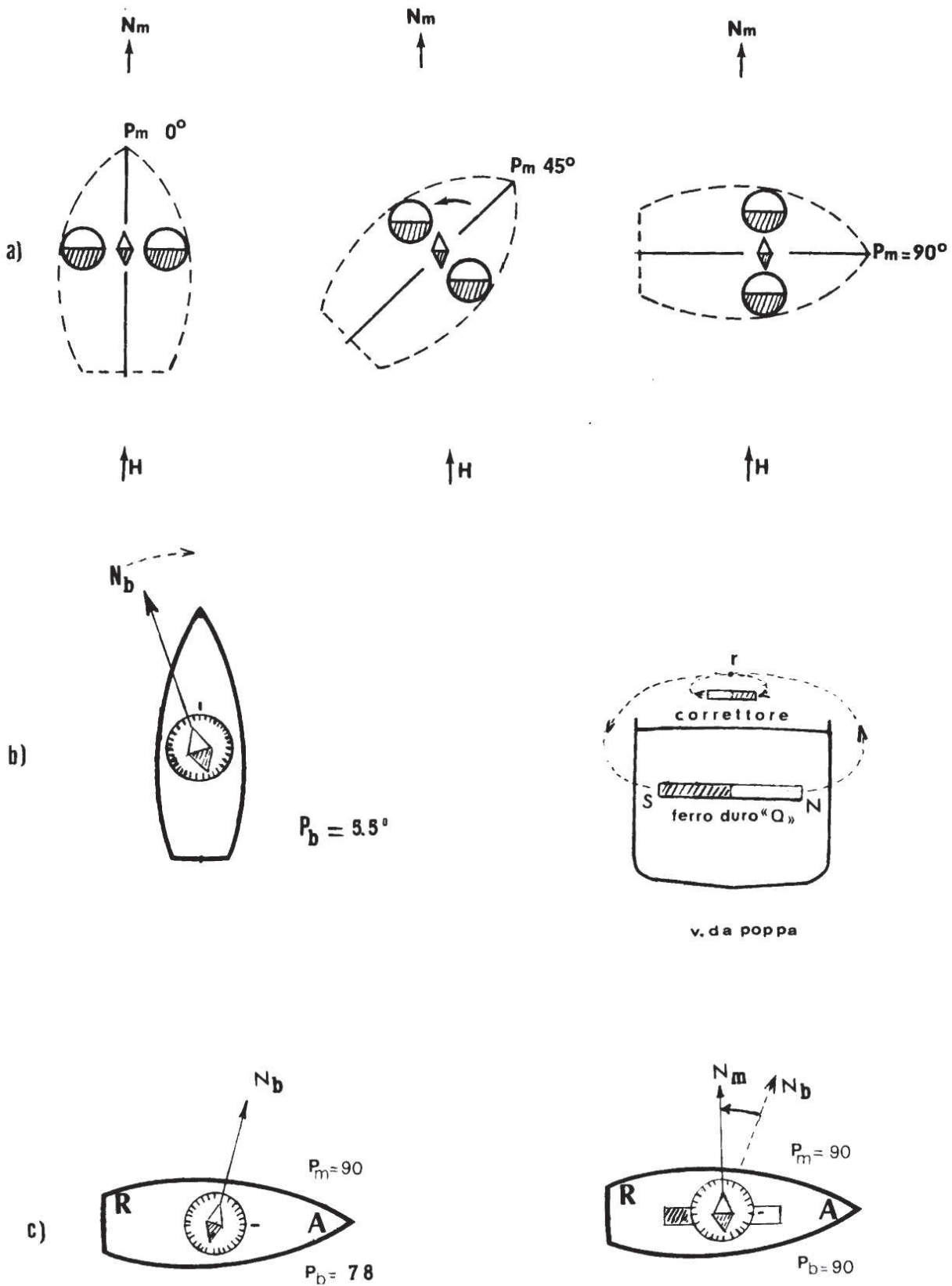
Ordine o priorità. Riconosceremo la necessità di compensare prima le forze del c.m.i. mettendo i ferri dolci correttori (sfere Thomson e, se possibile, sbarra di Flinders), poi i magneti correttori delle forze verticali, longitudinali, trasversali del c.m.p.

Le forze $\lambda H\mathfrak{A}$, $\lambda H\mathfrak{E}$ sono molto piccole perché i parametri " d " e " b ", che compaiono in queste forze, sono quasi nulli, generalmente; ciò per la simmetria dei ferri della nave rispetto all'asse longitudinale (v. Tav. 2). Queste forze, salvo casi eccezionali (di cui si darà un cenno), non verranno compensate. Le loro deviazioni confluiscono nelle deviazioni residue della tabella.

Da quanto esposto le compensazioni avranno il seguente ordine: $\lambda H\mathfrak{D}$ cZ J P Q

Tale ordine si giustifica così: la forza $\lambda H\mathfrak{D}$ dà una deviazione quadrantale; cZ P Q danno deviazioni semicircolari. Si collocano prima i correttori della quadrantale (ed eventualmente anche la "*Flinders*"), perché questi ferri dolci, indotti anche dal c.m.p. dei ferri duri di bordo

TAVOLA 8. IV Principi e criteri di compensazione.



(e poi dai vicini magneti correttori) acquistano polarità fisse producenti deviazioni semicircolari. Questi effetti secondari, non rilevanti ma nemmeno trascurabili, sono eliminati dagli stessi magneti correttori di P Q R e dal loro ritocco di posizione, prima del termine della compensazione. Questa considerazione ne suggerisce un'altra: meglio mettere più magneti correttori lontani dal mortaio (e quindi dai ferri correttori), nei fori più bassi della chiesuola, che mettere meno magneti ma vicini; sempre al fine di attenuare la loro induzione magnetica sui ferri.

Criterio. Ogni forza viene compensata, in linea di massima, dopo aver orientato la nave su quella prora ove si rileva la massima deviazione, o quasi, prodotta dalla forza e dove le altre forze risultano orientate per meridiano magnetico e non producenti, pertanto, deviazione alcuna. Per esempio la $\lambda H B$ si compensa non su prora bussola 90° o 270° , dove peraltro massima è la sua δ , bensì su Pm 90° o 270° su cui comunque la deviazione è già elevata (ma non massima). Dove però le altre forze ($\lambda H D$ e Q), orientate per Nm – Sm, non concorrono alla deviazione (anche se non sono del tutto ininfluenti).

Nella compensazione “completa” i valori dei coefficienti $B^\circ \dots C^\circ \dots D^\circ \dots$ suggeriscono l'entità dell'effetto compensatore, cioè i gradi di cui la rosa deve ruotare come conseguenza della sistemazione dei correttori.

Nella compensazione “speditiva”, non avendo i valori dei coefficienti, il criterio è un po' differente: sulla Pm di compensazione si elimina completamente la deviazione: a questa operazione seguirà, su un'altra prora, un ritocco di compensazione, agendo sui correttori. Più avanti saremo più precisi, e giustificheremo il procedimento.

Tipo di compensazione. Quando la nave esce dalla fase di allestimento e va alle prove in mare, il comandante dell'allestimento “affida” la nave al perito compensatore per l'effettuazione della **prima compensazione**: il compensatore è pronto: se gli sarà concesso ampio margine di tempo, opererà la *compensazione completa*; se il tempo a disposizione è limitato, opererà la **compensazione speditiva**.

Arriva una nave nuova che ha appena concluso il suo primo viaggio. Nel lontano porto di partenza è stata effettuata la prima compensazione; il comandante della nave chiede al compensatore di operare il **completamento della compensazione**.

Arriva una nave in rada; il certificato della tabella e dei diagrammi delle deviazioni residue è scaduto (risale ad oltre 4 anni fa). Il compensatore controllerà l'efficienza della bussola, il momento magnetico degli aghi (v. par. 6 Cap. II). Poi farà fare alla nave uno o più giri di bussola durante i quali procederà eventualmente al ritocco della posizione dei ferri e dei magneti compensatori. Il giro di bussola finale fornirà le deviazioni residue della nuova tabella. In definitiva il perito ha eseguito il *controllo di bussola ed il ritocco della compensazione*.

Questi diversi tipi d'intervento non hanno confini tra loro; le procedure di un tipo entrano o si scambiano con quelle degli altri tipi. Soltanto in questa sede, per razionalità di trattazione, viene mantenuta questa distinzione. Si presenta infine l'occasione di compensare la bussola di un panfilo. Daremo qualche informazione anche sulla *compensazione per naviglio*.

9 COMPENSAZIONE COMPLETA.

Il compensatore, qualche giorno prima della compensazione, si reca in sopralluogo per raccogliere tutte le informazioni sulla bussola, momento magnetico degli aghi (riportato sul certificato di bussola), tabelle di compensazione, se ci sono; il compensatore misura i diametri delle sfere *Thomson* e degli spezzoni di ferro cavo che potrebbero comporre la *Flinders*; valuta quella che sarà la probabile idonea sistemazione della sbarra, a pruavia o a poppavia della chiesuola (v. figg. 13a, 13b tav.3.IV); annota l'orientamento della nave rispetto al Nm nella lunga fase di allestimento; verifica che la bussola non sia attorniata da strumenti ed apparecchiature

troppo vicine; verifica che sia piazzata nel piano diametrale o, se ne fosse spostata, controlla che il centro della rosa e la linea di fede siano su un piano parallelo al piano diametrale.

A terra, in zona sgombra da capannoni, gru e qualsiasi altra costruzione, *misura il periodo T di oscillazioni* isocrone minori di 30° (v. Tav. 4. IV); ripete due o tre volte questa misura spostandosi una decina di metri per accertarsi, con l'uguaglianza dei valori di T , che non vi siano campi magnetici estranei al c. m. t. Infine il compensatore *determina, sempre a terra, la distanza -d- del pesetto* dal centro della bilancetta d'inclinazione per portare l'ago all'orizzontalità. Dal Portolano trae informazioni sui punti notevoli di costa idonei alla rilevazione.

Uscita la nave dal porto, quando in aperta rada cominciano i lavori di compensazione, il compensatore consiglia il comandante di far alzare a riva il segnale a due lettere con le bandierine O-Q del codice internazionale dei segnali.

Il compensatore si avvale delle prestazioni della girobussola già orientata per far navigare la nave su date P_m ($P_g = P_m + d - C_g$; v. par. 4 Cap. III); controlla, con osservazioni azimutali, la presenza di eventuale correzione giro - C_g - di cui dovrà tenere conto.

Si fa il primo giro di bussola facendo navigare la nave per qualche minuto sulle P_m cardinali e intercardinali, soltanto se c'è tempo su un numero di prore equidistanti più numerose. Su ogni prora P_m si legge la P_b e si calcola la deviazione: $\delta = P_m - P_b$. Sulle P_m cardinali (o/e intercardinali) si effettuano *le misure dei periodi T* secondo la tecnica spiegata (v. par. 4. IV).

Calcola infine: λ , λ_H , A° , B° , C° , D° , E° .

Compensazione della quadrantale $\lambda_H D$.

Si orienta la nave su una prora magnetica intercardinale. Si entra nella tabella **intestata al momento magnetico degli aghi e al valore del diametro delle sfere** e si trae, in funzione di λ_H e D° , la distanza a cui devono essere poste le sfere (sulle mensole trasversali) dal centro della rosa (v. tav. 9. IV); si dovrà notare, nel giro di pochi minuti, la rotazione della rosa di un angolo uguale, o quasi uguale, a $-D^\circ$. *Esempio:* con sfere di mm 216 e con $\lambda_H = 0,20$, per compensare $D^\circ = +7^\circ$, le sfere vanno poste alla distanza di ~ 34 cm.

In mancanza di tabella si appoggiano le sfere a mezza corsa delle mensole e poi, per tentativi, sono avvicinate o allontanate dal mortaio per conseguire l'obiettivo di far ruotare la rosa di $(-D^\circ)$. *Esempio:* $D^\circ +7^\circ$; $P_m 45^\circ$; $P_b 39^\circ$; la corretta posizione delle sfere deve condurre a $P_b 46^\circ$: la rosa deve ruotare di $(-D^\circ)$, cioè di -7° (senso antiorario).

Al posto delle sfere talvolta si sistemano, per compensare $\lambda_H D$, i cilindri di Modena (v. Tavv. 9-10 IV).

Compensazione di cZ .

Per compensare nel migliore dei modi la forza longitudinale cZ il compensatore sa che deve, necessariamente, avvalersi della collaborazione del Comando di bordo.

È stato detto (v. par. 5 IV) che la determinazione di B° non dà elementi d'individuazione delle due parti (B_1° e B_2°) o di una delle due forze (P e cZ), eterogenee tra loro, che generano B° . Ciò perché entrambe le forze, orientate longitudinalmente, producono una deviazione semicircolare sinusoidale. Le due deviazioni (B_1° , B_2°) però, mutando in modo differente al cambiare della latitudine magnetica Θ della nave, sono individuabili dopo i giri di bussola effettuati in due località di differente Θ .

La compensazione di queste deviazioni deve essere fatta con la nave orientata su $P_m 90^\circ/270^\circ$.

Esaminiamo, di questo problema, quattro casi:

*la nave non ha notevoli spostamenti in latitudine m. Θ , ad esempio la nave non esce dal Mediterraneo. La forza cZ cambia poco. **Tutta la forza $\lambda_H B$ viene ritenuta costante, al variare di Θ , e viene compensata soltanto con magneti longitudinali** (v. Tav. 8 e Tav. 10).

Tavola 9. IV Compensazione di $\lambda H D$ con sfere o con cilindri. Ritocco sfere.Tabelle di compensazione della quadrantele con sfere. Bussola: "m" ~ 3300 C.G.S. (0,33 Amp·m²).Tabelle per la compensazione della quadrantele mediante sfere
bussola : « m » ~ 3300 C. G. S. (0,33 Amp·m²)

Sfere da 152 mm.

λH	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
d	D° da compensare									
36	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6
35	2,2	2,2	2,3	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	3,0
34	2,4	2,5	2,7	2,7	3,0	3,0	3,2	3,3	3,4	3,5
33	2,7	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,8	4,0	4,2	4,3
32	3,1	3,2	3,3	3,7	4,0	4,2	4,1	4,6	4,8	5,0
31	3,4	3,6	3,8	4,2	4,8	5,0	5,2	5,4	5,7	6,0
30	3,7	3,9	4,2	4,7	5,3	5,5	5,8	6,0	6,3	6,7
29	4,2	4,4	4,8	5,3	6,3	6,5	6,8	7,2	7,5	8,0
28	5,2	5,5	6,0	6,5	7,8	8,2	8,5	8,9	9,4	10,0
27	6,1	6,4	7,0	7,8	9,3	9,7	10,2	10,7	11,3	12,1
26	7,2	7,7	8,4	9,6	11,2	11,7	12,4	13,0	13,8	14,7

Sfere da 216 mm.

λH	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10
d	D° da compensare									
39	3,6	3,7	3,9	4,1	4,1	4,5	4,6	4,8	5,0	5,3
38	4,2	4,3	4,4	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3	5,5	5,7
37	4,7	4,8	5,0	5,2	5,0	5,6	5,7	5,9	6,2	6,4
36	5,2	5,3	5,5	5,6	6,0	6,2	6,4	6,5	6,6	6,8
35	5,7	5,8	5,9	6,0	6,3	6,6	6,8	7,0	7,2	7,3
34	6,4	6,6	6,8	7,2	7,7	8,0	8,2	8,4	8,7	9,1
33	7,4	7,7	7,9	8,2	9,0	9,3	9,5	9,7	10,2	10,6
32	8,2	8,6	9,2	9,7	10,5	11,0	11,4	11,7	12,2	12,7
31	9,3	9,7	10,3	10,9	12,2	12,7	13,3	13,7	14,4	15,1
30	10,7	11,4	12,3	13,1	14,9	15,5	16,0	16,6	17,4	18,4
29	12,2	12,7	13,7	15,1	17,2	18,0	18,7	19,6		

Tabella per la compensazione stabile della quadrantele con cilindri di ferro al silicio

D° da com- pensare	Distanza fra centro cilindro e centro rosa in cm.			
	Dimensioni cilindro in mm.			
	390 × 90	300 × 70	230 × 55	160 × 40
2°	—	—	—	22,0
2,5	—	—	23,5	20,0
3	—	—	22,3	18,5
3,5	—	—	21,2	17,5
4	—	28,0	20,4	16,0
4,5	—	26,5	19,6	15,5
5	—	25,5	—	—
6	—	23,8	—	—
6,5	—	23,0	—	—
7	28,2	22,4	—	—
7,5	27,6	21,8	—	—
8	27,0	21,2	—	—
8,5	26,4	20,6	—	—
9	25,7	20,1	—	—
9,5	25,1	19,7	—	—
10	24,6	19,3	—	—

r
i
t
o
c
c
o

Avvicinare al

 $\delta + su \begin{cases} P_m = 45^\circ \\ P_m = 225^\circ \end{cases}$ $\delta - su \begin{cases} P_m = 135^\circ \\ P_m = 315^\circ \end{cases}$ mortaio
le sfere
se risulta:

Allontanare dal

 $\delta + su \begin{cases} P_m = 135^\circ \\ P_m = 315^\circ \end{cases}$ $\delta - su \begin{cases} P_m = 45^\circ \\ P_m = 225^\circ \end{cases}$ S
f
e
r
e

****Stima di cZ.** La sbarra di Flinders (v. figg. 11, 12, 13, Tav.3 e Tav.10) è il ferro dolce correttore della forza cZ. La Flinders viene collocata a pruvavia della chiesuola delle bussole situate su plance vicine alla prora; è collocata a poppavia della chiesuola nelle plance vicine alla poppa (in genere petroliere). Poiché su una generica nave l'influenza del c.m.i. sugli aghi della bussola è minore rispetto a quella del c.m.p., alcuni compensatori annullano, con la Flinders, 1/3 circa del valore assoluto di B°; l'altra parte (2/3), viene annullata dai magneti longitudinali.

Il compensatore opera nel modo descritto quando è sicuro: per esperienza di compensazioni eseguite su navi dello stesso tipo i cui risultati si sono dimostrati validi nel tempo.

*****nave di "lungo corso":**

si compensano tutte le forze, ma non si mette la sbarra di Flinders; si compensa B° soltanto con i magneti longitudinali (v. Tav.8 e Tav.10). Dopo il giro di bussola finale si compila la *tabella provvisoria delle deviazioni residue*, si calcolano i coefficienti residui: A°, B°.... Consegnata la tabella, il compensatore dà raccomandazione al 1° Ufficiale di osservare le deviazioni su Pb 90° e su Pb 270° in zona (di note ϕ λ) molto lontana, in latitudine magnetica, rispetto a quella del giro di bussola, in modo da avere δ_E' , δ_W' : non saranno, generalmente, deviazioni piccole.

Il perito ricorda al 1° Ufficiale che, allontanandosi la nave notevolmente in latitudine, la tabella provvisoria delle δ non è più valida. L'Ufficiale di guardia avrà cura di sfruttare ogni favorevole occasione per operare il controllo di deviazione.

Al ritorno della nave il compensatore calcola B°' ($B^{\circ'} = [\delta_E' - \delta_W'] / 2$).

Con B°' (e con le formule riportate al termine del paragrafo) calcola B₂°, B₁° e "c". Il segno di "c" (v. tabella seguente e figg. 13) individua la disposizione (pruavia o poppavia) della sbarra.

Con il valore di B₂° il compensatore è in grado di sistemare la Flinders: orienta la nave su Pm 90°; deve realizzare una lunghezza di sbarra tale da dare alla rosa una rotazione pari a $-B_2^\circ$ nel verso orario se $(-B_2^\circ)$ è positivo; nel verso antiorario se $(-B_2^\circ)$ è negativo. La linea di fede, dopo la collocazione della sbarra, non segnerà Pb 90°. Compare una deviazione (gran parte è B₁°) che è da attribuire al c.m.p. di bordo e/o alla inadeguata sistemazione dei magneti longitudinali fatta tempo addietro, nel primo giro di bussola; occorre dunque ritoccare i magneti; se ne riparerà tra poco.

Se il compensatore possiede la tabella di correzione di cZ, purché correlata al diametro dei cilindri di ferro in suo possesso, può realizzare la lunghezza di sbarra dopo aver calcolato "c" (v. oltre). Questo metodo risulta, nei fatti, meno preciso del metodo di $(-B_2^\circ)$.

Varianti a questo metodo, sempre per navi di lungo corso, sono prospettate negli esercizi di compensazione di bussola del Cap. XV "Esercitazioni di Nautica".

Tabella di correzione di cZ con la sbarra di Flinders (diametro cm 7,6); $c = cZ / Z$

Valore di c	Lunghezza Flinders cm	Valore di c	Lunghezza Flinders cm	
0,01	17	0,09	41	Nota:
0,02	21	0,10	44	
0,03	23	0,11	47	
0,04	27	0,12	50	c + sbarra a poppavia della chiesuola
0,05	31	0,13	52	c - sbarra a pruvavia della chiesuola
0,06	34	0,14	56	
0,07	36	0,15	59	distanza centro sbarra - centro rosa: cm 39
0,08	39	0,16	62	

$c = \lambda \cdot (H\mathbf{B} - H'\mathbf{B}') / (Z - Z')$ ottenuta, per sottrazione, di $\lambda H\mathbf{B} = P + cZ$ scritta due volte per due località magnetiche.

****La nave attraversa l'equatore magnetico ($\Theta = 0^\circ$, tratta dalla carta magnetica). Se il compensatore ha dato chiare istruzioni all'ufficiale che lo ha coadiuvato durante la prima compensazione (senza la sistemazione della sbarra di Flinders) questa compensazione può essere completata dall'ufficiale (secondo criteri di lavoro più vicini alla compensazione speditiva che non alla completa). Ricordiamo che all'equatore magnetico $Z = 0^\circ$ e cZ si annulla.

In $\Theta = 0^\circ$ l'ufficiale orienta la nave su Pm 90° o 270° e legge la Pb; se la Pb differisce da Pm (come molto probabilmente si verificherà) apre gli sportellini della chiesuola e muove due magneti longitudinali, uno di dritta ed uno di sinistra (se fosse necessario quattro o più magneti) avvicinandoli o allontanandoli dal mortaio (secondo le istruzioni, comunque secondo lo schema riportato oltre) fino a vedere la linea di fede portarsi su 90° o 270° . Timone alla banda per orientare la nave su Pm opposta ($270^\circ/90^\circ$); notare la deviazione ($\delta = Pm - Pb$) e ritoccare la precedente compensazione fino a vedere dimezzata la δ . Esempio: su Pm 270° si legge, sulla linea di fede, $Pb = 272^\circ$; dopo il ritocco di posizione della coppia di magneti longitudinali dovrà leggersi $Pb = 271^\circ$ (nel par. 10 c'è la giustificazione di tale procedura). Quando la nave si sarà allontanata notevolmente dall'equatore magnetico, l'ufficiale riorienta la nave su Pm 90° (o 270°) e mette la sbarra di Flinders, lunga tanto (per tentativi) da vedere annullata la δ . Sulla Pm opposta dimezzerà la deviazione dimensionando la Flinders (nell'astuccio s'infilano prima i tacchi di legno, poi i cilindri cavi di ferro dolce; la sbarra deve raggiungere l'altezza degli aghi, v. Tavola 10). Al lettore attento non sarà sfuggito il senso di queste operazioni: in $\Theta = 0^\circ$ rimane attiva solamente la forza P che viene annullata con i soli magneti correttori. In $\Theta \neq 0^\circ$ ricompare cZ , unica forza agente e che viene compensata dai ferri dolci della sbarra.

Compensazione della forza P.

Dopo aver compensato cZ , sulla stessa prora (Pm 90° o 270°) si compensano, nell'ordine, il coefficiente J e poi la forza P. Ciò per il motivo già indicato nelle priorità della compensazione. Rimandiamo però la trattazione sulla compensazione di J per la sola opportunità didattica che ci suggerisce di completare il discorso sulla compensazione della forza $\lambda H\mathbf{B} = P + cZ$.

Disposta la nave su Pm 90° (o 270°), si legge Pb in corrispondenza della linea di fede. Si introducono nei fori longitudinali del telaio (interno alla chiesuola), una o due o più coppie di magneti (di $\varnothing$ variabile, ma uguale per ogni coppia), a dritta ed a sinistra, a partire dal basso, fino a vedere la rosa ruotare dell'angolo ($-B_1^\circ$). La forza P è compensata dalla $-P$ (v. fig. 15).

$B_1^\circ +$	Polarità rosse	$B_1^\circ -$
	<i>a</i>	
$\delta +$ su Pm 90°	<i>pruavia</i>	<i>poppavia</i> $\delta -$ su Pm 90°
$\delta -$ su Pm 270°		$\delta +$ su Pm 270°

Se B_1° è positivo (come è stato supposto nelle ultime figure della Tav. 8 IV) l'introduzione di magneti col polo rosso a proravia genererà un angolo correttivo uguale ma negativo ($-B_1^\circ$) che conferirà alla rosa una rotazione antioraria su Pm 90° , oraria su Pm 270° . Tutto il contrario se dovrà essere compensato un B_1° negativo, come mostra la tabellina soprastante.

Compensazione della forza Q.

La compensazione di Q è analoga a quella della forza P. Si orienta la nave su Pm 0° (o 180°) e si legge Pb in corrispondenza della linea di fede. Si introduce uno o due o più magneti nei fori trasversali della chiesuola, a partire dal basso: fino a dare alla rosa la rotazione ($-C^\circ$). Il verso di rotazione è orario su Pm 180° con C° positivo che richiede il polo rosso dei magneti a dritta; il verso è antiorario su Pm $360^\circ(0^\circ)$. Tutto il contrario con il coefficiente C° negativo (come è stato supposto nelle figure intermedie della Tav. 8 IV).

C° +	Polarità rosse	C° -
	<i>a</i>	
$\delta + \text{ su Pm } 0^\circ$	<i>dritta</i>	<i>sinistra</i> $\delta - \text{ su Pm } 0^\circ$
$\delta - \text{ su Pm } 180^\circ$		$\delta + \text{ su Pm } 180^\circ$

Compensazione del coefficiente J.

È stato già detto che la forza R del c.m.p. è nettamente prevalente su quelle del c.m.i. Pertanto J si compensa con magneti correttori di R trascurando i ferri del tipo k.

In una bussola di controplancia di una nave costruita nell'emisfero magnetico nord è stato riconosciuto (v. figg. 3 Tav.1 IV) che l'ago della rosa avverte sotto di sé l'influenza del polo azzurro del c.m.p. perché più vicino: occorrerà pertanto mettere, verso il fondo della chiesuola, qualche magnete (in genere 3 o 5 già predisposti in un canestrello) con il rosso in alto (in una nave costruita in $\ominus$ sud il polo rosso va in basso). La corretta distanza dei magneti dagli aghi della rosa è ricercata per tentativi dal compensatore, ispirandosi alla teoria di J, che riassumiamo brevemente. Ricordiamo che in questa compensazione la nave è orientata su Pm 90° o 270° .

Il compensatore ha già determinato a terra la distanza "d" del pesetto della bilancetta; ha già calcolato λ . La formula (14.IV) suggerisce che $J = 0$ quando si annulla il valore della parentesi. Essendo già stata compensata la forza $\lambda H \mathfrak{D}$ (pertanto $\mathfrak{D} = 0$) la condizione zero di J è:

$$J = 1 - \frac{d'}{\lambda \cdot d} = 0 \quad \text{cioè} \quad d' = \lambda \cdot d$$

Allora, dopo aver tolto la bussola, come detto al par.7 IV, si posiziona il pesetto alla distanza $d' = \lambda \cdot d$ (nell'esempio numerico: $\lambda = 0,87$; $d = \text{mm } 29$; $d' = \text{mm } 25,2$). L'ago non sarà orizzontale fino a quando R non sarà compensata: s'infilza il canestrello contenente i magneti nel vano centrale, verticale, della chiesuola e si cercherà, per tentativi, quella posizione dei magneti che farà assumere all'ago l'orizzontalità. Si fissa la catenella del canestrello alla parete interna della chiesuola (v.Tav.10.IV). La compensazione, valida in una zona geografica, non è perfettamente stabile in punti lontani di latitudine m. $\ominus$, avendo trascurato il parametro k.

Conclusione delle operazioni di compensazione completa.

Ultimata la compensazione di tutte le forze ($\lambda H \mathfrak{D}$ $\lambda H \mathfrak{B}$ $\lambda H \mathfrak{C}$ e di quelle verticali "J") il compensatore fa fare alla nave uno o due giri di bussola finali (uno in senso orario e l'altro in senso antiorario) che gli consentiranno di individuare le piccole *deviazioni residue*, non eliminabili dalla compensazione poiché, si fa notare, non sono compensate, generalmente, le piccole forze $\lambda H \mathfrak{A}$ e $\lambda H \mathfrak{E}$. Le deviazioni residue saranno diagrammate e tabellate (v.par. 12 e seguenti). Il calcolo dei coefficienti residui A° B° C° D° E° conclude il lavoro; valori $\leq 2^\circ$ confermano la validità della compensazione.

Stabilità e instabilità delle compensazioni.

Quando una forza deviatrice è perfettamente compensata (v. fig.15), il cambiamento della posizione geografica (comportante il mutamento di H , Z e quindi di λH) è ininfluenza: una volta annullata, con la compensazione, la deviazione δ prodotta dalla forza, la δ' non può comparire, quale che sia la latitudine magnetica della nave. La compensazione di $\lambda H \mathfrak{B}$, se è stata fatta bene nelle sue componenti (P e cZ), è praticamente stabile. Così come la compensazione di $\lambda H \mathfrak{B} = P + cZ$ esige lo spostamento, in $\ominus$, della nave per scoprire e separare le due forze "eterogenee" P e cZ e le deviazioni da esse prodotte, per ragioni analoghe la compensazione perfetta del coefficiente di sbandamento J esigerebbe la separazione e la scoperta delle forze del c.m.i. e del c.m.p. per procedere alla compensazione con ferri dolci e magneti. La compensazione nella prassi si fa solamente con i magneti; ci limitiamo a dire che saranno necessari ritocchi durante gli spostamenti in latitudine. Col polo rosso in alto, quando la nave va verso sud, occorrerà di solito allontanare i magneti dal mortaio (v. tabella seguente):

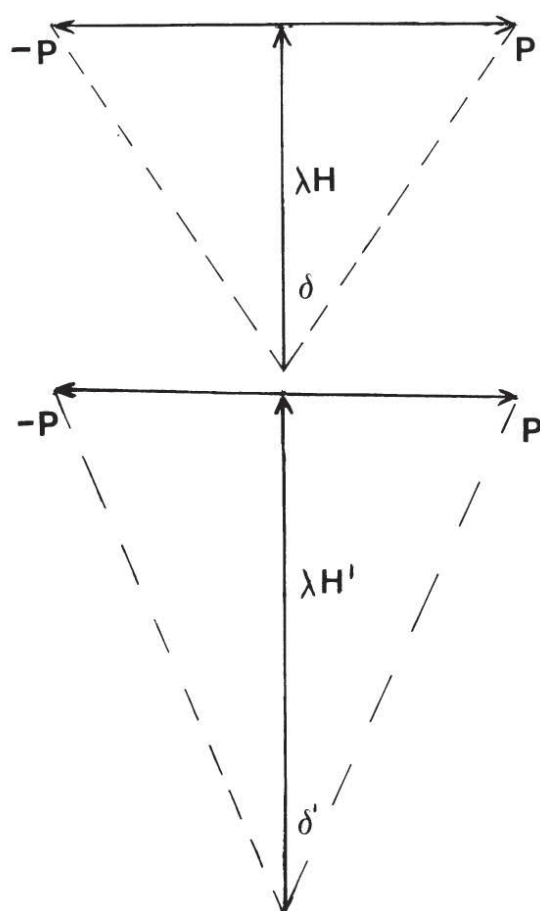
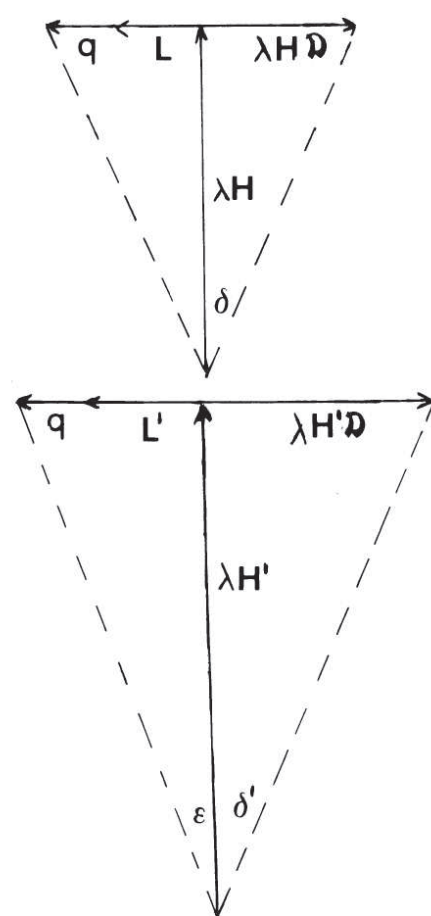


Fig. 15 Stabilità della compensazione di P.

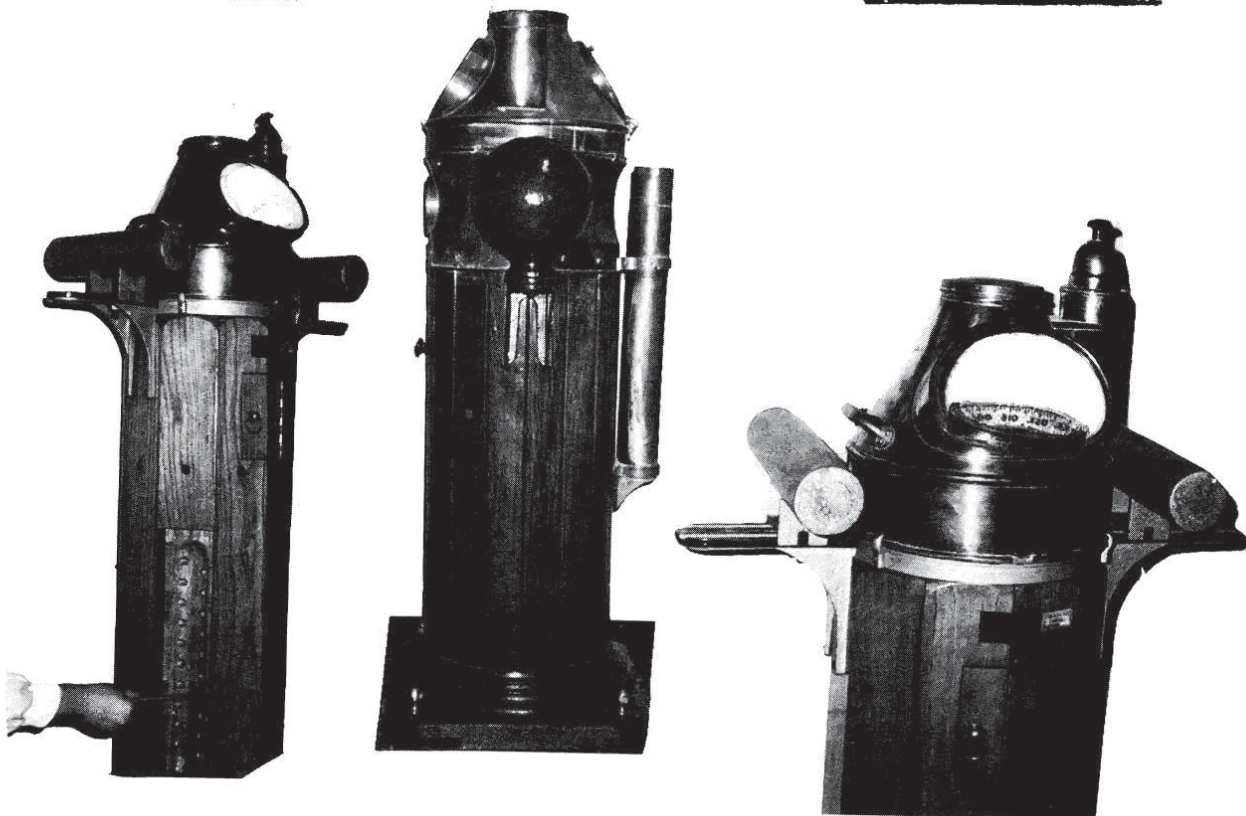
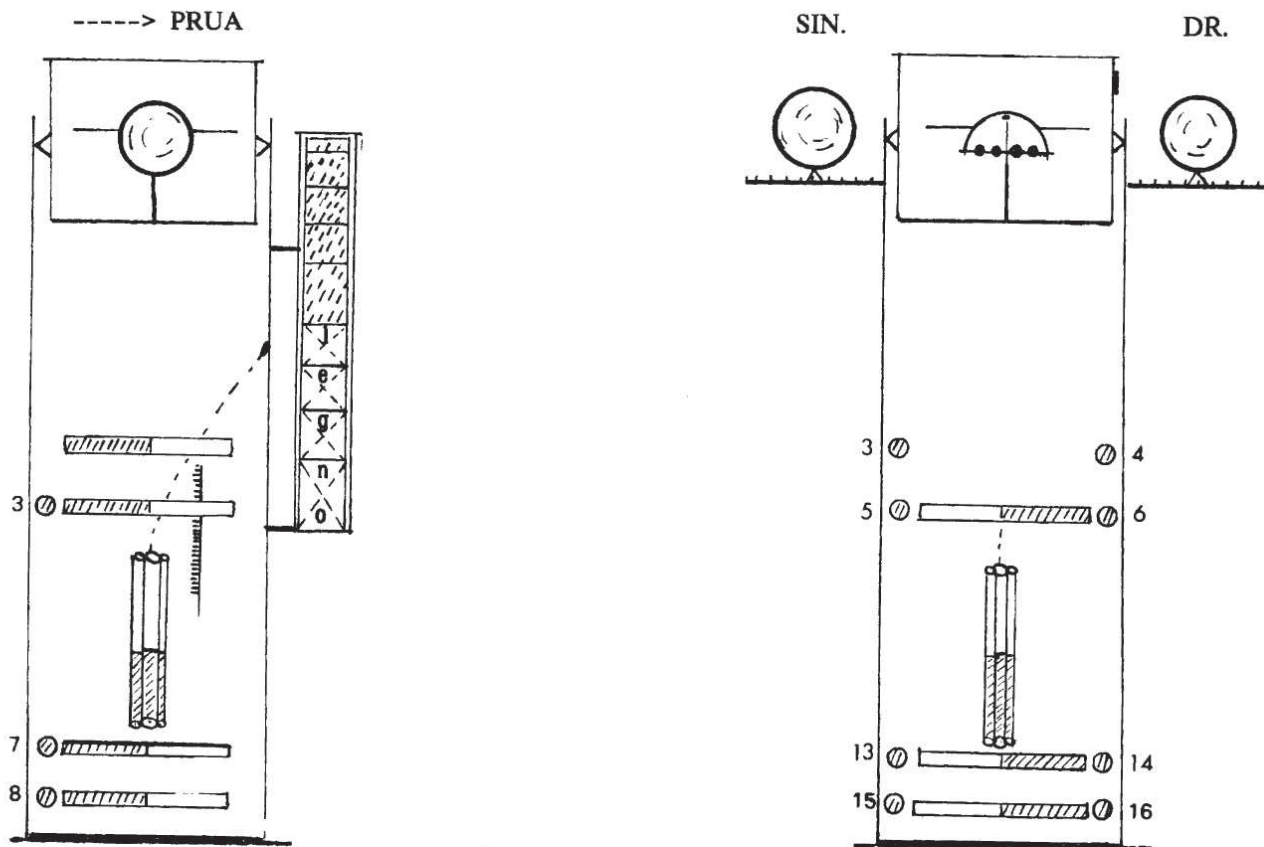
Fig. 15b Instabilità della compensazione di $\lambda H \Delta$ al mutare della località magnetica.Tabella dei correttori verticali R: **ritocco**

	<i>Sbandata a sinistra</i>	<i>Sbandata a destra</i>	
<u>Se la rosa ruota su</u>	Pb 360°, diminuendo Pb	Pb = 0°, aumentando Pb	occorre avvicinare al mortaio i magneti verticali
“	Pb 180°, aumentando Pb	Pb 180°, diminuendo Pb	
	***	***	
<u>Se la rosa ruota su</u>	Pb = 0°, aumentando Pb	Pb 360°, diminuendo Pb	occorre allontanare dal mortaio i magneti verticali
“	Pb 180°, diminuendo Pb	Pb 180°, aumentando Pb	

La compensazione di λHC è sufficientemente stabile; però, avendo trascurato la piccola forza fZ , su quelle navi, poche in verità, dove il parametro “f” ha un valore non trascurabile per qualche asimmetria di costruzione, la compensazione ha bisogno di qualche ritocco dei magneti “- Q” in occasione di notevoli spostamenti in latitudine.

La compensazione della forza quadrantale $\lambda H \Delta = H.(a - e)/2$ è stabile solamente nelle bussole aventi aghi con piccolo momento magnetico. Dal libro “Bussole” di E.C. Modena (R. Accademia Navale 1942) traiamo: “le sfere, indotte solo dal c.m.t. danno una compensazione stabile per qualsiasi latitudine; infatti al variare della forza H varia proporzionalmente ad essa la $\lambda H \Delta$, e con effetto contrastante varia,

TAVOLA 10. IV Compensazione: sfere (o cilindri, in basso), Flinders e magneti longitudinali trasversali e verticali.



ancora proporzionalmente, il potere compensatore delle sfere agenti per la sola influenza di H. Non così avviene se la bussola ha una rosa con aghi di forte momento magnetico: in tal caso gli aghi danno sulle sfere una induzione che è sempre la stessa comunque si sposti la nave sul globo. Ne conseguirà che la compensazione eseguita per una località non sarà più esatta per un'altra località di H diversa... si dimostra che l'induzione produce anch'essa una forza quadrantale negativa, aumentando il potere compensatore delle sfere stesse... Per bussole a forte momento magnetico occorre costruire specifiche tabelle che abbiano, oltre al momento magnetico, anche altri argomenti: λH e D° (v. Tav. 9 IV)... È possibile compensare stabilmente anche la quadrantale... Ho trovato (è sempre il Modena che parla), sperimentando compensatori cilindrici al silicio, che questi sono stabili compensatori della quadrantale, annullandosi in essi, per le loro caratteristiche dimensionali, l'induzione degli aghi... Essi furono sperimentati sulla "Città di Milano" nella campagna alle Svalbard e dettero buoni risultati".

Ritornando alle sfere: quando la nave si allontana dalla zona di compensazione non si verifica più l'equilibrio tra $\lambda H\Theta$ e la forza compensativa delle sfere (v. Fig. 15b) in quanto che quest'ultima forza è composta dalla forza compensativa "L" (che nasce per induzione su di esse di H del c.m.t.) e della componente costante "q" dovuta all'induzione degli aghi. Se la nave va in zona dove H aumenta, la componente "q", diminuendo relativamente alla forza compensativa "L" ed a $\lambda H\Theta$, creerà squilibrio: formazione di δ positiva nel I° e III° quadrante, negativa nel II° e IV° quadrante. Viceversa quando H diminuisce: la forza costante "q" aumenta relativamente alle altre due e darà luogo a δ negativa nel I° e III° quadrante, a δ positiva nel II° e IV°.

Concludendo: i cilindri possono sostituire le sfere quando $D^\circ < 10^\circ$. I cilindri trovano larga applicazione sulle unità della Marina Militare (v. Tav. 10 IV).

Facendo un confronto tra sfere del Thomson e cilindri del Modena può dirsi:

- le sfere fanno aumentare il parametro "a" e diminuire il parametro "e";
- i cilindri disposti longitudinalmente fanno aumentare "a";
- i cilindri disposti trasversalmente, alla "tedesca", fanno diminuire "e" (il parametro "e" della nave è negativo perché dovuto a madieri continui; positivo è invece il parametro "e" dei cilindri trasversali, perché ferri interrotti).

La determinazione di B_1° , B_2° , "c"

Ricordiamo che B_1° e B_2° sono le massime deviazioni prodotte rispettivamente dalle forze P e cZ nella località di compensazione. La loro determinazione è possibile dopo che sia stato individuato B° , massima deviazione prodotta da (P+cZ) in un'altra località magnetica.

Nel par. 5 IV è stato riconosciuto che B_1° è inversamente proporzionale ad H, mentre B_2° è direttamente proporzionale a $\tan\Theta$. Pertanto può scriversi:

$$\frac{B_1^{\circ'}}{B_1^\circ} = \frac{H}{H'} \quad ; \quad \frac{B_2^{\circ'}}{B_2^\circ} = \frac{\tan\Theta'}{\tan\Theta} \quad \text{dacui:} \quad B_1^{\circ'} = B_1^\circ \frac{H}{H'} \quad ; \quad B_2^{\circ'} = B_2^\circ \frac{\tan\Theta'}{\tan\Theta} \quad (15.IV)$$

H, Θ , H', Θ' sono gli elementi del c.m.t. che si ricavano dalle curve isodinamiche delle carte magnetiche. L'ufficiale, in virtù delle sue osservazioni azimutali nella 2ª località magnetica, individua δ_E' , δ_W' permettendo al compensatore di determinare $B^{\circ'} = (\delta_E' - \delta_W') : 2$

S'impone il sistema:

$B^\circ = B_1^\circ + B_2^\circ$ nella prima (e provvisoria) località di compensazione,

$B^{\circ'} = B_1^{\circ'} + B_2^{\circ'}$ nella seconda località magnetica, località di osservazione di δ_E' , δ_W' .

Dopo le sostituzioni, nella 2ª equazione, di (15), si ha un sistema di due equazioni in due incognite (B_1° , B_2°); si ottiene:

$$B_2^\circ = \frac{B^\circ \frac{H}{H'} - B^{\circ'}}{\frac{H}{H'} - \frac{\tan\Theta'}{\tan\Theta}} \quad ; \quad B_1^\circ = B^\circ - B_2^\circ \quad (16.IV)$$

che, nell'ordine, suggeriscono il completamento della compensazione.

Vedremo, esaminando gli esercizi di compensazione (v. Cap. XV), che le espressioni di $B_1^{\circ'}$ e $B_2^{\circ'}$ date dalle (15.IV) saranno operative dopo aver calcolato B_2° e B_1° con le (16.IV).

10. COMPENSAZIONE SPEDITIVA

Una compensazione senza il preliminare giro di bussola per il calcolo dei coefficienti $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$ prende il nome di **compensazione speditiva**. Il coefficiente λ viene stimato 0,85 per la bussola normale; 0,7 per quella di rotta. L'ordine delle operazioni è:

- I) a terra si determina la distanza d del pesetto della bilancetta;
- II) a bordo si orienta la nave su una Pm intercardinale; si legge la Pb; si mettono le sfere sulle mensole a distanza dal mortaio tale da vedere annullata δ (cioè: $Pb = Pm$);
- III) si orienta la nave su Pm 90° o 270° . Se ci sono le dovute conoscenze (B_2° oppure «c») si mette la Flinders.
- IV. Sulla stessa Pm (90° o 270°) si annulla il coefficiente J;
- V) si mettono i magneti longitudinali correttori della forza P fino ad annullare la deviazione (dovrà leggersi: Pb 90° o 270°);
- VI) su Pm 0° o 180° si compensa la forza Q con i magneti trasversali;
- VII) si orienta la nave su una Pm intercardinale per ritoccare la posizione delle sfere ed annullare un'eventuale deviazione;
- VIII) su Pm 270° o 90° , prora opposta a quella di compensazione di $\lambda H\mathfrak{B}$, si ritocca la posizione dei magneti longitudinali fino a dimezzare l'eventuale nuova δ (v. oltre "dimezzamento delle deviazioni su Pm opposte", per la giustificazione teorica);
- IX) su Pm 180° o 0° si ritocca la posizione di un magnete trasversale per dimezzare la nuova δ
- X) su Pm intercardinale, contigua a quella di ritocco delle sfere, si controlla la deviazione. Se c'è δ , la si dimezza muovendo un po' le sfere;
- XI) si compensano le eventuali influenze delle correnti elettriche (v. oltre);
- XII) al termine si effettua il giro di bussola per trovare le δ residue dovute alla non compensazione di $\lambda H\mathfrak{A}$ e $\lambda H\mathfrak{C}$ ed ai piccoli difetti, inevitabili, di compensazione;
- XIII) si costruiscono i diagrammi e le tabelle. Si calcolano i coefficienti residui $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ$. La piccolezza dei coefficienti qualifica la bontà della compensazione. Si registrano, a fianco o nel retro della tabella definitiva delle δ residue, le posizioni, il numero dei magneti e dei ferri correttori, le coordinate del luogo di compensazione.

Tabella per i correttori di P e di Q : **ri t o c c o**

Avvicinare al		Allontanare dal
<i>M O R T A I O</i>		
	i magneti longitudinali con polo rosso a pruvia se risulta	
$\delta +$ su Pm 90°		$\delta -$ su Pm 90°
$\delta -$ su Pm 270°		$\delta +$ su Pm 270°
	i magneti longitudinali con polo rosso a poppavia se risulta	
$\delta -$ su Pm 90°		$\delta +$ su Pm 90°
$\delta +$ su Pm 270°		$\delta -$ su Pm 270°
	i magneti trasversali con polo rosso a dritta se risulta	
$\delta +$ su Pm 0°		$\delta -$ su Pm 0°
$\delta -$ su Pm 180°		$\delta +$ su Pm 180°
	i magneti trasversali con polo rosso a sinistra se risulta	
$\delta -$ su Pm 0°		$\delta +$ su Pm 0°
$\delta +$ su Pm 180°		$\delta -$ su Pm 180°

Dimezzamento delle deviazioni su Prore magnetiche opposte.

Quando la nave si trova su $P_m 90^\circ$ o 270° , su 180° o su 0° , si compensano, nella *speditiva*, le deviazioni le cui forze (cZ , P , Q) sono orientate su $Em - Wm$. Bisogna tenere conto però che su questa direzione ortogonale al meridiano magnetico sono presenti anche le forze $\lambda H\mathfrak{A}$ e $\lambda H\mathfrak{E}$.

Annullare la δ su una di quelle P_m di compensazione vuol dire annullare anche la δ prodotta da queste due forze appartenenti al c.m.i. e che non possono certamente essere compensate con magneti e sbarra di Flinders. Riconosceremo che la tecnica del *dimezzamento* della deviazione sulla prora magnetica opposta a quella di compensazione (o sulla P_m intercardinale contigua) serve a sottrarre queste due forze da una compensazione spuria che si manifesta, appunto, in tutta la sua imperfezione sulla P_m opposta. $\lambda H\mathfrak{A}$, $\lambda H\mathfrak{E}$, pertanto, non si compensano; le loro δ entrano nella tabella delle deviazioni residue.

Quando la nave si trova, ad esempio, su $P_m = 0^\circ$ le forze dirette per Est magnetico sono Q , $\lambda H\mathfrak{A}$, $\lambda H\mathfrak{E}$, se sono tutte positive (v. fig. 16 dove per brevità α , ϵ indicano le due forze del c.m.i.). I compensatori creano una forza costante (nella figura sottostante denominata con T) di modulo uguale a $[Q + \lambda H(\mathfrak{A} + \mathfrak{E})]$ diretta verso Wm . Con la nave orientata su $P_m 180^\circ$ la situazione delle forze è la seguente: Q orientata per Wm mentre T , $\lambda H\mathfrak{A}$, $\lambda H\mathfrak{E}$, dirette per Em , si sommano. La risultante, diretta per Em , vale: $T + \lambda H\mathfrak{A} + \lambda H\mathfrak{E} - Q$; sostituendo il valore di T la risultante vale: $Q + \lambda H(\mathfrak{A} + \mathfrak{E}) + \lambda H\mathfrak{A} + \lambda H\mathfrak{E} - Q$, cioè $2(\lambda H\mathfrak{A} + \lambda H\mathfrak{E})$. Onde, riducendo a metà la deviazione prodotta da questa risultante, rimangono soltanto le forze $\lambda H\mathfrak{A}$ e $\lambda H\mathfrak{E}$ che, appunto, non si compensano mentre la forza Q risulta, così, compensata correttamente.

Ragionamento e procedura operativa identici valgono per $\lambda H\mathfrak{B}$ che, dopo la compensazione, lascia su $P_m 90^\circ$ e 270° la differenza algebrica ($\lambda H\mathfrak{A} - \lambda H\mathfrak{E}$).

Considerazioni analoghe suggeriscono di dimezzare la δ che si legge, dopo la compensazione speditiva di $\lambda H\mathfrak{D}$, su una delle due P_m intercardinali contigue a quella di compensazione.

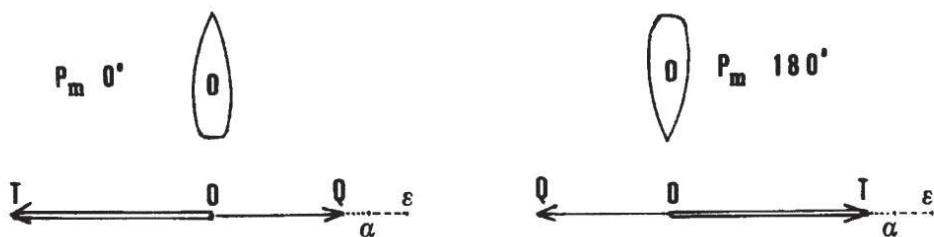


Fig. 16

11. PARTICOLARI COMPENSAZIONI. Compensazioni di $\lambda H\mathfrak{A}$ e $\lambda H\mathfrak{E}$.

Queste forze, generalmente, non si compensano. Esaminiamo qualche rara eccezione. Il coefficiente A° , che al termine di una buona compensazione risulta minore di 1° (valore assoluto), entra nelle deviazioni residue della tabella. Un eventuale valore di A° compreso tra 2° e 4° è nascosto, talvolta, dal compensatore con una rotazione del mortaio che allontana la linea di fede, di tanti gradi quanto è A° , dal piano diametrale o dal piano ad esso parallelo. La rotazione è oraria se A° è positivo, antioraria se A° è negativo. In seguito a questa procedura, non consigliabile comunque, tutte le deviazioni della tabella risultano diminuite, algebricamente, di A° . È importante che lo spostamento della linea di fede sia annotato in tabella come pro-memoria nell'impiego delle formule dei rilevamenti: $Rilm. = Rilb + \delta + A^\circ$; $Rilb = Rilm. - A^\circ - \delta$. Nessun mutamento si verifica invece nelle formule di conversione e di correzione delle prore ($Pb = Pm. - \delta$; $Pm. = Pb + \delta$).

Una bussola sistemata fuori del piano longitudinale, come avviene ad esempio, quale caso limite, su una portaerei, comporta l'apparizione di un coefficiente E° maggiore di 2° . La compensazione della forza quadrante totale, ossia della risultante delle due forze $\mathfrak{D}$ ed $\mathfrak{E}$, può essere presa in considerazione. La teoria dimostra che tale compensazione è effettuabile ruotando le mensole delle sfere, o dei cilindri, rispetto al piano trasversale, e intorno al centro della rosa, di un angolo β dato dalla seguente espressione: $\tan 2\beta = E^\circ/D^\circ$. L'angolo β è contato in senso orario se $E^\circ > 0$, in senso antiorario se $E^\circ < 0$. *Esempio*: dopo il giro di bussola che precede la compensazione completa risulta: $D^\circ = 10^\circ$; $E^\circ = -2,5^\circ$. Il calcolo dà: $\beta = -7^\circ$.

Anche nella *speditiva* può essere preso in considerazione il ritocco della quadrante (rotazione di β dell'asse delle mensole), dopo attenta valutazione dei coefficienti E° e D° . Un'altra soluzione, per compensare E° in una bussola asimmetrica, può essere la seguente: si posiziona una sola sfera Thomson o un solo cilindro, a destra del mortaio se la bussola è a sinistra del piano diametrale; a sinistra viceversa se la bussola è a destra del diametrale.

Deviazioni da correnti elettriche.

Campi elettro-magnetici generati da conduttori isolati di corrente continua danno, se troppo vicini alla bussola, deviazioni degli aghi. Per verificare l'esistenza di tali campi si toglie corrente ad ogni apparecchiatura vicina alla bussola; si legge la Pb. Poi si dà corrente e si va ad osservare se la Pb è cambiata oppure no. Si fa accostare la nave per portarla su una prora ortogonale alla prima e si ripete la prova precedente. Se in entrambi i casi la deviazione non cambia, non c'è effetto di correnti elettriche. Altrimenti la deviazione (che è di tipo *semicircolare*) viene annullata piazzando opportunamente, per tentativi, all'esterno della chiesuola, una **bobina compensatrice con un reostato di regolazione**.

Pubblicazioni specifiche editate dall'Istituto Idrografico della Marina (Manuale dell'Ufficiale di rotta ed altre) riportano notizie anche sulle operazioni di **smagnetizzazione** (*degaussing*) effettuate su dragamine. In questo caso sono previste due tabelle di deviazione: una per *gaussing* e l'altra per *degaussing*. Talvolta le due tabelle si trovano anche su qualche particolare nave mercantile.

Stracompensazione.

Una particolare carica è il ferraccio stivato con manchine magnetizzate. Si viene a localizzare, talvolta, non lontana dal ponte di comando, una forte polarità magnetica che disorienta l'ago della rosa dal meridiano magnetico attraendo un polo e respingendo l'altro con una coppia intensa, a tal punto da far perdere alla rosa ogni direttività.

Una rosa inchiodata da questa nuova polarità segue la nave nelle accostate (o quasi); sulla linea di fede si legge sempre uno stesso valore "Pb., («nodo»)" o valori ad esso vicini, per qualsiasi prora magnetica. Tale polarità è nella direzione individuata da una delle due congiungenti: 180°- 0° oppure 0°- 180° della rosa. Per *schiodare* tale rosa si colloca un magnete, o più magneti, sotto il mortaio, orientato come i poli degli aghi della rosa: praticamente il polo rosso del magnete extra-compensatore sotto lo 0° (Nord) della rosa. La collocazione di tale magnete si fa su quella prora magnetica per la quale gli aghi si dispongono sull'Em-Wm; ciò al fine di vedere bene lo *sblocco* della rosa *imprigionata*; in tal caso gli aghi, con una rotazione di circa 90°, si dirigono verso il meridiano magnetico. *Esempio: Pb = 65° (nodo); Pm di extra-compensazione (Pb ± 90°): 155° o 335°.*

12. NORME PRATICHE DI PREPARAZIONE PER LA COMPENSAZIONE.

Oltre a quanto detto all'inizio del par. 8 di questo capitolo, aggiungiamo che:

- se la nave entra in linea dopo oltre due mesi di sosta in banchina è consigliabile far girare la nave in rada; un giro evolutivo sulla dritta e sulla sinistra al fine di una stabile acquisizione dell'assetto magnetico da parte dei ferri di bordo;
- se la nave esce dal bacino si ha una variazione dei campi magnetici allorché la nave s'immerge nell'acqua. Anche in questo caso sono consigliabili due giri evolutivi;
- la nave deve essere in assetto di navigazione, inclusi i bigli, e con i fumaioli caldi;
- dopo aver controllato la sospensione cardanica del mortaio, pieno di liquido, si verifica l'efficienza della rosa avvicinando un magnete per farla ruotare di 360°; indi si controlla l'isocronismo delle piccole oscillazioni (<30°). La posizione di equilibrio finale della rosa deve essere la stessa che aveva prima delle oscillazioni;
- se si verifica qualche anomalia, la bussola va revisionata presso laboratorio autorizzato RINA;
- la chiesuola non deve contenere alcun magnete; i compensatori non devono avere addosso masse ferrose;
- la linea di fede e gli assi dei grafometri (0°-180°) devono essere o nel piano diametrale o in un piano longitudinale parallelo al piano diametrale;
- si controlla la funzionalità del cerchio azimutale;
- durante il giro di bussola la nave deve rimanere ferma, su ogni Pb, almeno 4 minuti prima di leggere la Pb; ciò affinché il c.m.i. acquisti completamente il magnetismo corrispondente alla nuova prora.

Una compensazione con "qualche problema"...

Il compensatore si presenta al lavoro con bilancetta, bussola, magneti di varia lunghezza e sezione, orologio regolato sul tempo vero (per usare con rapidità le tavole azimutali DAVIS), carte della zona con declinazione magnetica aggiornata, carte magnetiche isodinamiche, tabelle di compensazione, formule per il calcolo di "c", di B_2 , calcolatrice, effemeridi, tavole nautiche, cacciaviti diamagnetici, pinze, tenaglie e altri attrezzi del genere.

Prima di iniziare il lavoro di controllo vero e proprio, chiede al Comando di bordo informazioni sul funzionamento della bussola; osserva: il certificato di bussola per accertarsi sul momento magnetico degli aghi, le specifiche tabelle di compensazione, la precedente tabella delle deviazioni residue, i calcoli di deviazione su varie prore durante gli ultimi viaggi (dal "*brogliaccio di chiesuola*"), e le annotazioni dell'ufficiale di guardia sul comportamento della rosa nel rollio.

Il compensatore verifica la funzionalità della bussola (v. norme pratiche ...), la lunghezza della Flinders (se ha motivo di dubitare sulla compensazione di cZ), la disposizione dei magneti correttori longitudinali, trasversali e verticali. Si informa infine sulle zone dei futuri viaggi.

Le compensazioni non pongono al perito compensatore problemi di difficile risoluzione. Molte sono di routine; ma di tanto in tanto si presentano alcune compensazioni un po' fuori dell'ordinario.

Siamo a bordo di una nave nuova che ha fatto la prima compensazione in una località molto più a nord del Mediterraneo; non ha ancora la sbarra di Flinders; il 1° ufficiale dichiara che nel rollio, lungo rotte meridionali, la rosa tende alla diminuzione della Pb (rotazione oraria) quando la nave sbanda sulla sinistra, viceversa all'aumento di Pb (rotazione antioraria) quando la nave sbanda a dritta.

Per quanto riguarda la Flinders il compensatore controlla che il coefficiente B° tabellato sia stato calcolato correttamente: $B^\circ = (\delta_E - \delta_W)/2$.

Porta la nave su Pb 90° e 270° per avere δ'_E e δ'_W ; calcola $B^{\circ\circ} = (\delta'_E - \delta'_W)/2$. Trae dalle carte isodinamiche H e Θ della zona di prima compensazione e H'e Θ' della zona attuale. Calcola B_2° e B_1° con le (16.IV) e poi passa al calcolo di $B_2^{\circ\circ}$ e $B_1^{\circ\circ}$ con le (15.IV); su Pm 90° mette la Flinders secondo il segno di «c» e il valore di $B_2^{\circ\circ}$. Secondo il valore di $B_1^{\circ\circ}$ ritocca la posizione dei magneti correttori di P. Confronta le deviazioni intercardinali trovate con quelle della tabella; nella eventuale, probabile, lieve diversità dei valori trova conferma della leggera instabilità della compensazione della $\lambda H D$: avvicina un po' le sfere. Il compensatore attribuisce la comparsa di δ_i , durante il rollio, alla variabilità di J con la latitudine Θ ; allontana un po' i magneti verticali (v. par. 9 e tav.10); l'ago della bilancetta, da rendere orizzontale, è una guida per la rifinitura di questa operazione. Il giro di bussola per determinare le deviazioni residue, il calcolo dei coefficienti finali A° B° C° D° E°, la compilazione dei diagrammi e delle tabelle concludono il lavoro.

Nota. Le dimensioni più usuali dei magneti sono: cm 20 - 1 ; 20 - 0,5 ; 10 - 0,5.

13. COMPENSAZIONE DI BUSSOLE SU PANFILI.

Le bussole emisferiche del naviglio minore hanno, generalmente sotto il mortaio, un dispositivo composto di due magneti con cui viene compensato il campo magnetico permanente di bordo. Dalla pubblicazione "La bussola magnetica e gli elementi compensatori", di L. Guarnieri Botti e G. Pizzimenti, edito dall'Istituto Idrografico della Marina I. I. 3106, si traggono le seguenti note: "il dispositivo di compensazione è costituito da una coppia di magneti identici, di piccole dimensioni, opportunamente posizionati tra loro, con le polarità reciprocamente invertite, sistemati in un congegno capace di farli ruotare". I magneti della fig.22 Tav.11 sono disposti su un piano orizzontale sottostante la bussola, simmetrici rispetto al suo centro, paralleli tra loro, equidistanti dagli aghi della bussola; in tali condizioni la rosa non subirà alcuna deflessione perché gli effetti delle polarità si fanno equilibrio: posizione di azzeramento. Se si modifica questa posizione di equilibrio la rosa viene deflessa e tale fatto viene sfruttato dal dispositivo di compensazione per correggere la deviazione della bussola; in particolare, poiché la condizione di equilibrio richiede, come si è detto, che i magneti siano paralleli tra loro ed allo stesso tempo equidistanti dagli aghi, si

TAVOLA 11. IV Compensazione su naviglio.

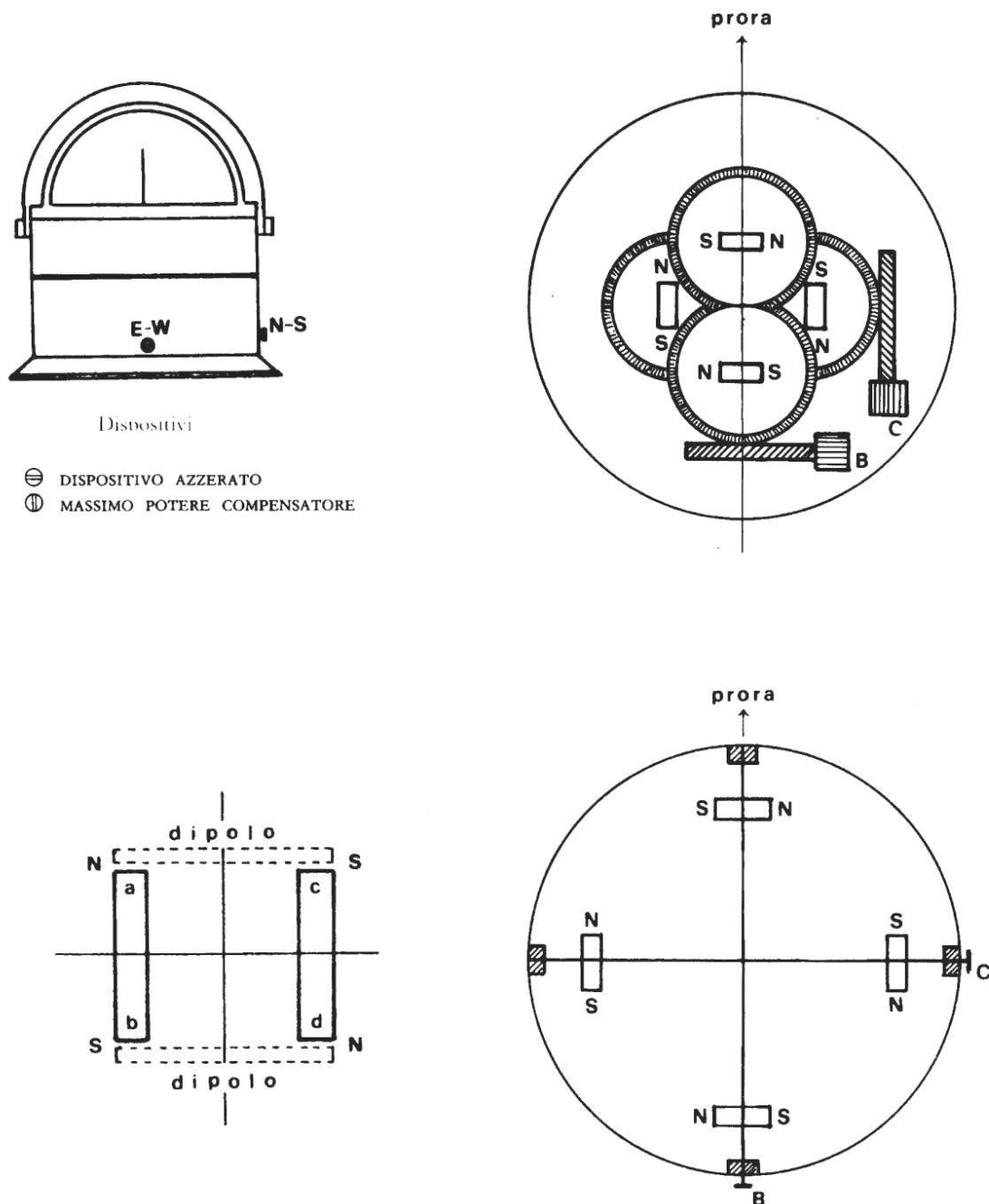


Figura in alto a destra: Dispositivo completo per la compensazione di B° e C° realizzato con magneti ruotanti nel piano orizzontale (posizione di azzeramento).

Figura in basso a sinistra: Schema di dispositivo di compensazione in posizione di equilibrio.

Figura in basso a destra: Dispositivo completo per la compensazione di B° e C° realizzato con magneti ruotanti nel piano verticale (posizione di azzeramento).

Notizie e figure tratte dalla pubblicazione "La bussola magnetica" di L. Guarnieri Botti e G. Pizzimenti, edito dall'Istituto Idrografico della Marina.

può raggiungere lo scopo invalidando o l'una o l'altra di queste condizioni.

Con due dispositivi, appartenenti ad uno stesso tipo, è possibile compensare le deviazioni semicircolari B° e C° della bussola in quanto uno di essi viene sistemato in modo da dar luogo ad un campo magnetico longitudinale e l'altro ad un campo magnetico trasversale. Raramente si trova associato un 3° dispositivo per la compensazione del campo verticale.

I dispositivi risultano disposti a croce e possono trovarsi incorporati nella parte inferiore del mortaio (dispositivi interni) od in un apposito supporto, o in una vera e propria «scatola di compensazione».

È chiaro che ciascuno di essi può essere ruotato in un senso o nell'altro a seconda del segno di δ , e che ad una progressiva rotazione corrisponde un potere compensatore via via crescente fino ad un valore massimo, oltre cui esso progressivamente si riduce.

La rotazione di ciascun dispositivo si comanda dall'esterno della bussola o della scatola di compensazione, a mezzo di un cacciavite amagnetico o di un'apposita chiavetta di corredo.

I due dispositivi sono contrassegnati e distinti tra loro dalle scritte E/W - N/S, talvolta dalle lettere B - C indicanti i relativi coefficienti. Il comando E/W o B risulta per chiglia, quello N/S o C per madiere. È molto importante conoscere per ogni coppia di magneti la posizione della vite di comando corrispondente al suo azzeramento (v. Tav. 11 IV), posizione che in alcuni tipi di bussole viene contraddistinta da due puntini a coincidenza o con altre indicazioni, mentre in altri tipi di bussole si deduce dall'orizzontalità del taglio della vite stessa. Se le deviazioni semicircolari fossero così elevate da richiedere un potere compensatore superiore al massimo consentito dal dispositivo, il perito compensatore sarebbe costretto ad impiegare anche magneti esterni, di piccole dimensioni, da disporre per chiglia e per madiere. La compensazione partirebbe da questi magnetini e si completerebbe, per gli inevitabili ritocchi e dimezzamenti, con il dispositivo di compensazione della bussola.

Per l'approfondimento si rimanda alla citata pubblicazione, da cui è stato tratto quanto scritto.

Parte III Diagrammi e tabelle (par. 14÷18)

14. DIAGRAMMI CARTESIANI.

Dopo aver effettuato il giro di bussola finale per la determinazione delle deviazioni residue corrispondenti ad un certo numero di prore bussole o di prore magnetiche si avverte la necessità di una rappresentazione grafica della curva delle deviazioni in funzione della prora: il *diagramma*.

Si riportano sull'asse delle ascisse i valori delle prore (P_b o P_m) e su quello delle ordinate i valori di δ . Si uniscono i punti e si avvia la curva delle deviazioni, curva che in generale ha un andamento abbastanza regolare. Tale diagramma permette di:

- rivelare la presenza di un eventuale errore grossolano che possa essere stato commesso in una determinazione di deviazione;
- ricavare la δ per una data P_b o P_m su cui non si è riusciti, durante il giro, a fermare la nave con la dovuta precisione, a causa della presenza di un po' di vento o di mare;
- trarre la deviazione per determinate P_b e compilare la tabella di correzione ($P_b + \delta = P_m$); trarre la deviazione per determinate P_m e compilare la corrispondente tabella di conversione ($P_m - \delta = P_b$).

Il primo diagramma che esaminiamo è quello che ha la stessa scala per rappresentare un grado di deviazione ed un grado di prora. Le deviazioni positive sono riportate verso l'alto, le negative verso il basso (v. Tav. 12). Si supponga di aver diagrammato in funzione delle P_b , che sono quindi sull'asse delle ascisse. Per ottenere la P_m corrispondente ad una data P_b si stacca dal punto A delle ascisse P_b la perpendicolare all'asse delle ascisse fino ad incontrare la curva nel punto B (o B'); sulle ordinate si legge δ ; si ricava P_m operando la somma algebrica $P_b + \delta$. Volendo evitare questa somma si conduce dal punto B (o

B') un segmento inclinato di 135° rispetto al verso crescente delle prore. Nel punto C (o C') d'intersezione con tale asse si legge direttamente Pm. Il triangolo ABC è isoscele, oltre che rettangolo, e pertanto $AB (= \delta)$ è uguale ad AC che risulta quindi, per la proprietà transitiva, uguale a δ . In definitiva: $OC = OA + AC$; $OC = Pb + \delta$; $OC = Pm$. Lo stesso risultato si ha con δ negativa (A'B').

Si usa preventivamente disegnare la *retta guida*, passante per l'origine, e diagonale del rettangolo (quadrato in questo caso) avente per base la scala delle prore e per altezza la scala delle deviazioni. I segmenti inclinati - BC o B'C' - devono risultare paralleli alla retta guida.

Nel problema inverso, quando è nota la Pm e si vuole conoscere le corrispondenti δ e Pb, si parte dal punto generico C staccando un segmento (CB o C'B', comunque sempre compreso tra la curva e l'asse delle ascisse) inclinato come il precedente fino ad incontrare (in B o B') la curva. In corrispondenza, sull'asse delle ordinate, si legge δ . Questa va sottratta, algebricamente, a Pm per ottenere Pb; il valore di Pb, peraltro, può essere letto direttamente nel punto A ottenuto sull'asse delle prore abbassando da B (o da B') la perpendicolare.

Se la curva fosse stata costruita, inizialmente, in funzione delle Pm, anziché Pb, il procedimento per la ricerca della deviazione e per la lettura dell'altra prora è analogo, con l'unica variante che riguarda l'angolo d'inclinazione della retta guida che ora, anziché 135° , è 45° rispetto al verso crescente delle prore. Per ottenere Pb, essendo nota Pm, dal punto A della graduazione si alza la perpendicolare fino ad arrivare in B; da B si conduce un segmento parallelo alla retta guida e si perviene al punto C ove si legge Pb. Vale il procedimento inverso (da C a B, da B ad A) quando si parte da Pb per calcolare δ e Pm corrispondenti.

La scala 1° di δ uguale a 0,5 cm è la più piccola che si possa usare per limitare le approssimazioni grafiche; pur tuttavia è scala troppo grande per le prore che, essendo 360, esigerebbero una lunghezza dell'asse delle ascisse di cm 180. È necessario introdurre una scala delle prore «n» volte più piccola rispetto alla scala delle deviazioni. Con riferimento al triangolo ABC delle figure non potrà più sussistere l'uguaglianza $AB = AC$ bensì $AB = n.AC$. Conseguentemente varia, della retta guida (e di ogni altro segmento inclinato BC o B'C') l'orientazione.

La retta guida è la diagonale del rettangolo la cui altezza, ora, è «n» volte più grande della base.

L'angolo, minore di 90° , che la retta guida forma con l'asse delle ascisse, è ricavabile dalla tangente trigonometrica dell'angolo in C: $\tan C = AB/AC$; poiché $AB = n.AC$, si ha $\tan C = n$; da cui $C = 71^\circ.6$ per $n=3$.

Se la curva delle δ nasce diagrammando con Pb, l'angolo che la retta guida forma con il verso crescente delle prore è $(180^\circ - 71.6^\circ)$; se si diagramma con Pm l'angolo è $71^\circ.6$.

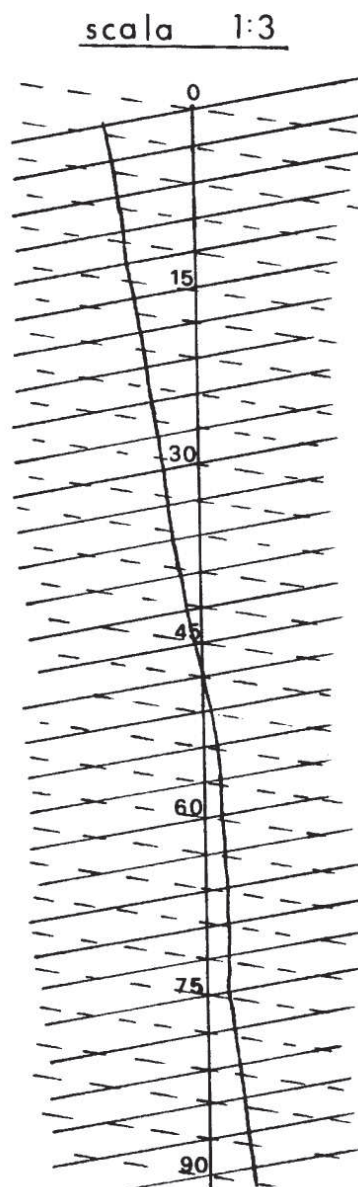
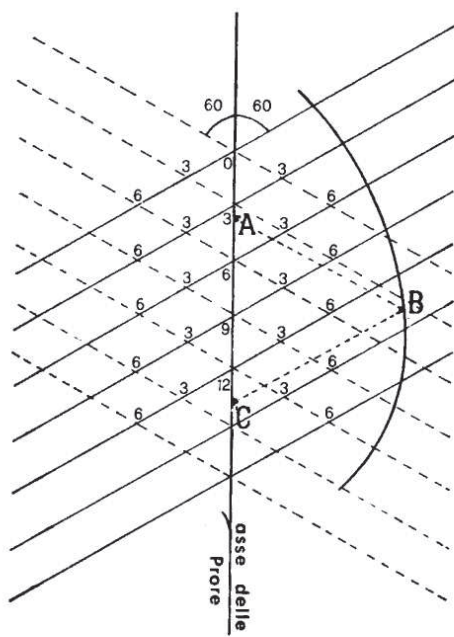
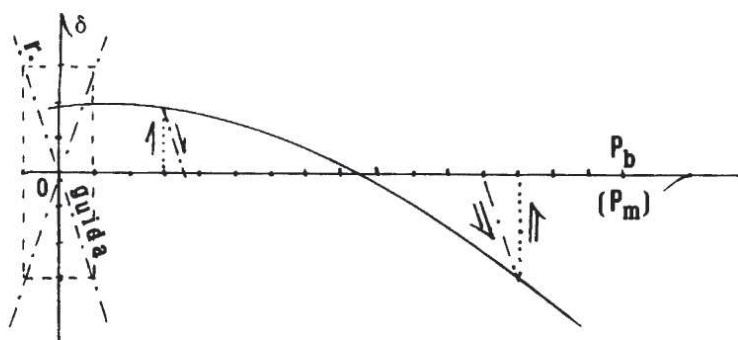
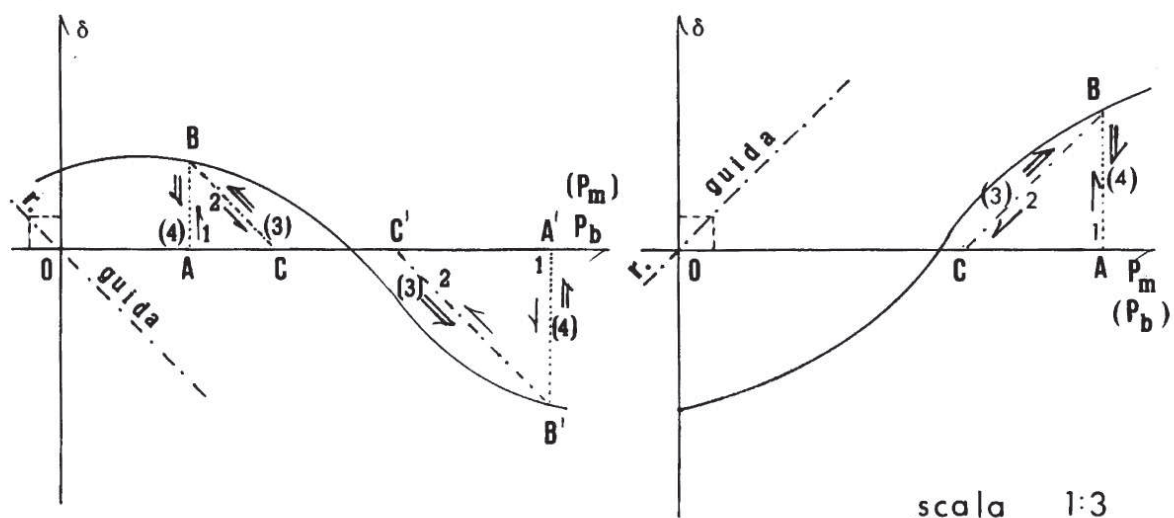
Diagrammi di Napier (Nepero).

L'asse delle prore è verticale, crescente verso il basso. Esso è tagliato da due fasci di rette parallele inclinate di 60° da una parte e dall'altra. Le rette continue servono per riportarvi le deviazioni in funzione delle prore magnetiche; quelle tratteggiate per diagrammare in funzione delle prore bussole. Agendo in un modo o nell'altro si ottiene, comunque, la stessa curva o diagramma delle deviazioni. Questa rappresentazione grafica agevola le operazioni di conversione e di correzione. Se si entra con Pb, si parte dal punto A dell'asse delle prore e si procede parallelamente alle rette tratteggiate fino ad incontrare la curva in B. Da B si procede parallelamente alle rette continue per ritornare sull'asse delle prore e leggere, in C, il valore di Pm. Il procedimento è inverso (da C a B, da B ad A) per passare da Pm a Pb.

La deviazione è letta sui numerelli, già predisposti, del grigliato che usa la stessa scala per le deviazioni e per le prore. Il triangolo ABC è manifestamente equilatero; pertanto la risoluzione grafica delle formule di correzione ($Pm = Pb + \delta$) e conversione ($Pb = Pm - \delta$) è evidente.

L'uguaglianza delle scale comporta, anche in questo diagramma, un asse delle prore eccessivamente lungo. Si passa allora al diagramma di Napier modificato con AC (v. Tav. 12) non più uguale ad AB, ma più corto «n» volte. In altre parole $AC = AB/n$ sottintende una scala delle prore «n» volte più piccola della scala delle deviazioni. Dallo stesso triangolo ABC si ricaverà: $\cos A = (1/2).AC/AB$; dopo la sostituzione di $AC = AB/n$ si ha: $\cos A = 1/(2.n)$. Ponendo $n = 3$ si ha $A = 80^\circ.4$. Sia l'angolo in A che l'angolo in C misurano $80,4^\circ$. In modo analogo al precedente diagramma si costruisce la curva delle deviazioni e vengono risolti i problemi di conversione e di correzione.

TAVOLA 12. IV Diagrammi cartesiani e neperiani delle deviazioni residue.



15. ERRORI E LORO CAUSE

Errore di isteresi o di Gaussin. Durante i giri di bussola una parte del ferro di bordo perde con un certo ritardo lo stato magnetico corrispondente alla prora precedente, ed assume quindi con un certo ritardo quello relativo alla prora attuale. Gaussin ha studiato questo fenomeno. L'inconveniente può essere eliminato fermando la nave per almeno quattro minuti per ogni prora, prima di procedere alla misura del rilevamento sulla prora stessa.

Errore di trascinamento. Se la evoluzione della nave è fatta troppo velocemente, si determina un po' di trascinamento della rosa da parte del liquido. Se la misure sono fatte poco dopo il raggiungimento della nuova prora, oltre ad introdurre l'errore di Gaussin s'introduce l'errore di trascinamento che si caratterizza con deviazioni positive più grandi e deviazioni negative più piccole delle reali nella rotazione oraria della nave; viceversa quando la nave fa il giro sulla sinistra. È importante allora, per ridurre l'influenza di questi errori, effettuare lentamente un giro sulla destra e uno sulla sinistra e fermarsi qualche minuto sulla nuova prora prima di fare misure di Rilb o letture di Pb. Sugli assi cartesiani si tracciano le due curve e si assumerà come diagramma la curva media tra le due.

Un oggetto di osservazione (faro, campanile, estremità di costa ...) non deve essere troppo vicino per non introdurre l'errore di parallasse (v. par.4 Cap.III). Deve comunque essere ben visibile per poter essere ben rilevabile. In zona di notevole marea evitare di osservare estremità di costa che potrebbe assumere, nel tempo, profilo variabile. Se la linea di fede non si trova esattamente nel piano diametrale o in un piano parallelo ad esso, s'introduce un errore costante se alla deviazione si perviene facendo la differenza $P_m - P_b$; l'errore è l'angolo di scostamento della linea di fede. Quando la bussola è nel piano diametrale il compensatore interviene ruotando opportunamente la bussola dopo aver preventivamente mollato le viti che la fissano al cerchio superiore della chiesuola. La linea di fede è nel piano diametrale quando si trova anche nel piano di mira del traguardo puntato sull'asta del dritto di prua. Se la bussola è piazzata fuori del piano diametrale, il controllo più sbrigativo è quello di riguardare un punto notevole della costa che trovasi esattamente di pruvia, lontano almeno 4 miglia. Il piano di mira del traguardo, puntato sull'oggetto, è praticamente parallelo al piano diametrale. Se la linea di fede fosse fuori di tale piano, si leggerebbe, sulla graduazione polare del mortaio, un angolo diverso da 0° ; in tal caso s'interverrebbe nel modo suggerito.

Quando si osservano punti elevati sull'orizzonte, ad esempio astri, particolare importanza assume l'orizzontalità del mortaio, e di conseguenza la verticalità dei traguardo. Un'inclinazione di soli 2° durante la misura azimutale di un astro elevato 50° può procurare un errore di oltre 2° . Da ciò la raccomandazione sia di osservare astri elevati meno di 30° sull'orizzonte sia di controllare l'orizzontalità del cerchio azimutale. Il suggerimento che viene dato al navigante è quello di sfruttare ogni favorevole occasione per controllare la δ .

16. DETERMINAZIONE DELLA DECLINAZIONE IN MARE.

Il navigante trae il valore della declinazione dalla carta nautica o da una carta magnetica. Nel caso in cui le carte siano edite in data molto remota ed in attesa di rifornirsi di carte più recenti, il navigante può calcolare l'angolo di declinazione nel seguente modo: effettua un giro di bussola rilevando un punto lontano della costa o un astro non alto sull'orizzonte; dalla carta (o dal calcolo dell'azimut per l'astro) si ricava il Rilv (a_v) mentre dalla bussola si hanno i vari valori di Rilb. In corrispondenza di ogni misura di rilevamento si ottiene la variazione, variabile: $V = \text{Rilv} - \text{Rilb}$.

Si dimostra che il valore della declinazione d è ottenuto calcolando il valore medio di V (variazione magnetica) e sottraendo algebricamente A° .

$$d = \Sigma(V/n) - A^\circ \quad (17. IV)$$

Dimostrazione:

$$V_1 = d + \delta_1 \qquad V_2 = d + \delta_2 \qquad V_3 = d + \delta_3, \dots, V_n = d + \delta_n$$

Operando la sommatoria: $\Sigma V = nd + \Sigma \delta$; dividendo per n:

$\Sigma V/n = d + \Sigma \delta/n$; $[A^\circ = \Sigma \delta/n]$; $d = \Sigma V/n - A^\circ$; A° è nella tabella delle δ residue, valore piccolo.

Esempio: sulle otto prore bussole i rilevamenti bussola di un lontano faro sono:

111.3° ; 113.2° ; 113.8° ; 112.9° ; 112.3° ; 112.2° ; 111.3° ; 110.5°.

Il rilevamento vero del faro, tratto dalla carta nautica, è 110°. Dalla tabella delle deviazioni residue si trae $A^\circ = -0,2^\circ$. Determinare la declinazione magnetica. *Risultato:* $d = 2^\circ W$.

17. TABELLE DI DEVIAZIONE E DI ROTTA

Il navigante impiega più le tabelle che non i diagrammi, perché la ricerca della deviazione sulla tabella è più immediata anche se meno precisa. D'altra parte l'interpolazione *a vista* tra due valori contigui di deviazione, sulla tabella, corrispondenti a due date P_b o P_m , è fatta con un'approssimazione che non va oltre $0,2^\circ$. Ricordiamo anche che i valori delle δ residue, al termine del giro di bussola finale, generalmente non superano 2 o 3 gradi. In considerazione del fatto che la bussola normale ora funge sia da bussola per rilevamenti sia da bussola di rotta (in virtù del dispositivo «periscopico»), riteniamo utile compilare, attraverso il diagramma delle deviazioni, sia la tabella di correzione (o di deviazione) sia la tabella di conversione (o di rotta), entrambe col passo costante di 15° di P_b e di P_m .

Sull'interpolazione lineare o proporzionale ci siamo espressi già nel par.2 Cap. III riportando la formula. Questa interpolazione sostituisce, con buona approssimazione, quella grafica che rimane comunque la soluzione più corretta per trovare la δ di una P_b (o P_m) compresa tra due prore della tabella. Il navigante fa uso della tabella di correzione quando misura un $Rilb$, col traguardo azimutale, e intende calcolare il $Rilv$ ($Rilv = Rilb + \delta + d$). Quando invece passa dalla rotta della carta nautica alla prora vera (P_v) e poi alla P_m ($P_v - d$), successivamente fa uso della tabella di rotta per operare la conversione ($P_m - \delta$) e ottenere la prora bussola di governo P_b .

La tabella di conversione o di rotta, per leggere la δ in funzione di P_m , è costruita per via grafica, come spiegato nel par.14 Cap. IV. La determinazione di δ in funzione di P_m è possibile anche per via analitica quando si calcolano tutti i coefficienti esatti $\lambda A \lambda B \lambda C \lambda D \lambda E \dots$ con le formule (7.IV), dopo aver determinato $A^\circ B^\circ C^\circ D^\circ E^\circ \dots$. Si proiettano le forze $\lambda H \lambda H A \lambda H B \dots$ e la risultante H_t sia sul meridiano magnetico sia sul primo verticale magnetico ($Em-Wm$). Le proiezioni risultanti sono indicate con «N» e con «E». La tangente di δ è data da:

$$\tan \delta = E / N \text{ dove: } \begin{aligned} \langle N \rangle &= \lambda H + \lambda H B \cos P_m - \lambda H C \sin P_m + \lambda H D \cos 2P_m - \lambda H E \sin 2P_m \dots \\ \langle E \rangle &= \lambda H A + \lambda H B \sin P_m + \lambda H C \cos P_m + \lambda H D \sin 2P_m + \lambda H E \cos 2P_m \dots \end{aligned}$$

I valori di N e di E consentono di calcolare H_t' , forza risultante totale: $H_t' = \sqrt{E^2 + N^2}$. Si ricorda che i periodi T sono legati a H_t' (v. formula 2 II). Nelle espressioni di «N» e di «E», che si rapportano tra loro, si può operare una semplificazione mettendo $\lambda H = 1$.

Tabella di correzione o di deviazione**Tabella di conversione o di rotta**

Pb	δ	Pb	δ	Pm	δ	Pm	δ
0°	+1.1°	180°	-1.9°	0°	+1.1°	180°	-1.8°
15°	+0.9°	195°	-1.2°	15°	+1.0°	195°	-1.1°
30°	+0.7°	210°	-0.4°	30°	+0.7°	210°	-0.4°
45°	+0.3°	225°	+0.3°	45°	+0.3°	225°	+0.3°
60°	-0.2°	240°	+0.9°	60°	-0.2°	240°	+0.9°
75°	-0.8°	255°	+1.3°	75°	-0.9°	255°	+1.3°
90°	-1.5°	270°	+1.5°	90°	-1.6°	270°	+1.5°
105°	-2.1°	285°	+1.6°	105°	-2.2°	285°	+1.5°
120°	-2.6°	300°	+1.5°	120°	-2.6°	300°	+1.5°
135°	-2.8°	315°	+1.4°	135°	-2.8°	315°	+1.4°
150°	-2.8°	330°	+1.3°	150°	-2.7°	330°	+1.3°
165°	-2.5°	345°	+1.1°	180°	-1.8°	360°	+1.1°

$$A^{\circ} = -0.2^{\circ}$$

$$B^{\circ} = -1^{\circ}.5$$

$$C^{\circ} = +1.5^{\circ}$$

$$D^{\circ} = +0.5^{\circ} E^{\circ} = -0.2^{\circ}$$

$$\mathfrak{A} = -0,00349$$

$$\mathfrak{B} = -0.02618$$

$$\mathfrak{C} = +0,02618$$

$$\mathfrak{D} = +0,00873$$

$$\mathfrak{E} = -0,00349$$

TAVOLA 13a IV Diagramma generale delle deviazioni.

I. I. 2004 M (Istituto Idrografico della Marina - Genova, 1958)

Diagramma generale delle deviazioni

Nave ICELAND - Reykjavik
 Bussola normale (standard) tipo Plath N.° 1685 Rosa modello
 I^a Località Reykjavik ($F=52$; $\theta=76$; $H=13$). II^a Località: Palermo ($\theta=55$; $H=25$)
 Data 20-4-1980 Declinazione 25° W (I^a Località)
 Osservazioni: il lato verticale di un quadretto vale 0,2 gradi di deviazione;
 Deviazioni medie (giro sulla dritta e giro sulla sinistra)

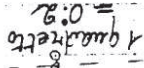
Nave ICELAND - Reykjavik
 Bussola normale-standard (+ riflettore) PLATH N.° 1685

PRORA BUSSOLA	DEVIAZIONE	PRORA BUSSOLA	DEVIAZIONE	DATI DELLA COMPENSAZIONE
0°	-1°1	180°	+0°5	$\overline{A} +0°5$
15°	-0°4	195°	+0°7	$\overline{B} +10°$
30°	+0°4	210°	+0°9	A DITTA magneti longitudinali foro 4 5×200 foro 6 10×200 foro 14 10×200 foro 16 10×200
45°	+1°2	225°	+1°0	Rosso o Nord a prua A SINISTRA magneti longitudinali foro 3 5×200 foro 5 10×200 foro 13 10×200 foro 15 10×200
60°	+1°7	240°	+1°0	Rosso o Nord a prua
75°	+2°0	255°	+0°7	magnet. trasversali -6° foro 3 10×200 foro 7 10×200 foro 8 10×200
90°	+2°0	270°	+0°2	Rosso o Nord a sinistra
105°	+1°7	285°	-0°4	2 sfere $\phi 24,6 \text{ cm} +5°$ a om. 32 dal centro della rosa
120°	+1°3	300°	-1°0	$\overline{E} -1°$
135°	+0°9	315°	-1°5	$\overline{H} -3° (C=-003)$
150°	+0°6	330°	-1°7	FLINDERS cm 23 distanza cm 39; $B' = -1°1$
165°	+0°4	345°	-1°6	$\overline{J}$ <u>Palermo</u> d = cm 2,9 d' = cm 2,5 3 magneti verticali (10x200) RED-4P
Coefficienti approssimati residui				
A = +0°4 B = +0°9 C = -0°8				
D = +0°7 E = -0°7				

Deviazioni determinate con azimut di Sole e girobussola

Data Palermo 20/4/1980IL COMANDANTE
HandIL COMPENSATORE
Re

UNCLASSIFIED//FOR OFFICIAL USE ONLY

[illegible]

33

Deviazioni residue determinate con il metodo di Sole e

Elementi di chimica / combustione

Firma di chi ha seguito la compensazione