

PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA GIROBUSSOLA

Definizione di giroscopio:

Per quanto riguarda lo scopo di questa appendice, un giroscopio può essere definito come una ruota ben bilanciata ruotante ad una velocità relativamente elevata e sospesa in modo da avere libertà di movimento attorno a tre assi.

La ruota è montata in modo che soltanto un suo punto (baricentro) mantenga una posizione fissa, mentre la ruota è libera di ruotare in qualsiasi direzione attorno a questo punto. Una ruota di questo tipo è rappresentata nella fig. 1. Essa è libera di ruotare attorno all'asse "A" di rotazione, all'asse "B" verticale ed a quello "C" orizzontale.

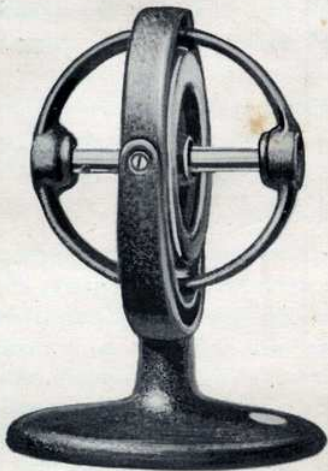


Fig. 1.

Giroscopio ruotante con l'asse orizzontale.

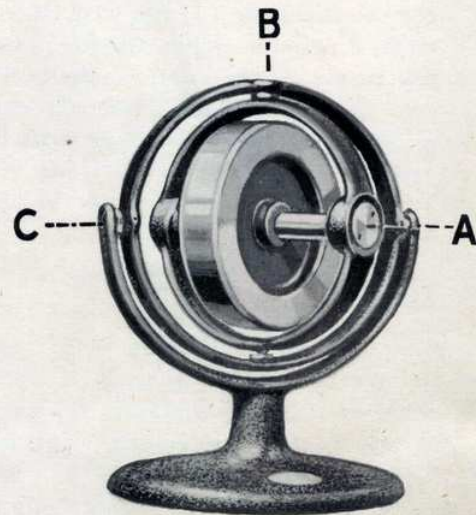


Fig. 2.

Assi di libertà del giroscopio

Uso del Giroscopio come bussola:

Il giroscopio è usato come parte fondamentale di una bussola non magnetica, perchè, come sarà appresso spiegato, è possibile controllare le sue due uniche proprietà in modo tale che esso cerchi e mantenga l'indicazione del Nord geografico (Nord vero).

Proprietà fondamentali:

Le due proprietà fondamentali del giroscopio sono l'inerzia giroscopica e la precessione.

L'inerzia giroscopica è quella proprietà per cui un giroscopio mantiene la sua posizione nello spazio opponendosi ad ogni forza tendente a portare il suo asse in una nuova direzione. L'inerzia giroscopica può essere spiegata supponendo di far ruotare rapidamente la ruota, come nella fig. 2, e inclinando quindi il sostegno, come nella

fig. 3. La direzione primitiva dell'asse di rotazione del giroscopio non cambia, nonostante i movimenti della base di sostegno.

Una forza la quale agisca su una qualsiasi parte del giroscopio in una direzione che non passi per il centro della massa ruotante, è definita *coppia*. Quando si applica una coppia, il suo effetto è quello di produrre un movimento del giroscopio (chiamato *precessione*), non in direzione della coppia stessa, ma ad angolo retto sia rispetto all'asse della coppia applicata che all'asse di rotazione.

L'effetto della precessione è rappresentato nelle fig. 4 e 5.

La forza applicata "T" incontra resistenza ed invece di generare un movimento nella propria direzione fa ruotare la ruota nella direzione indicata dalla freccia "P". Nel caso della fig. 4, la coppia è applicata attorno all'asse orizzontale e provoca una precessione attorno all'asse verticale. Quando, viceversa, una coppia è applicata attorno all'asse verticale, la precessione avviene attorno all'asse orizzontale, come rappresentato nella fig. 5.

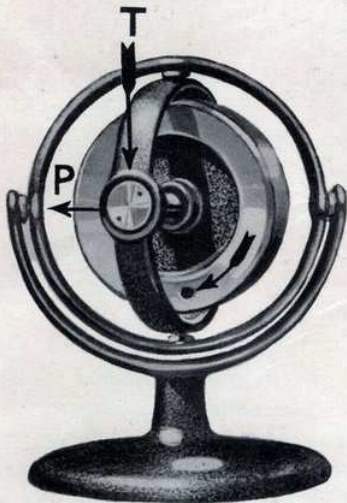


Fig. 4.

Precessione intorno all'asse verticale



Fig. 3.

Inerzia del giroscopio

Una maniera facile per ricordare la direzione in cui avviene la precessione è quella di considerare la forza come agente in un punto del bordo della ruota, come è indicato dal punto nelle illustrazioni 4 e 5. Tale punto non si muoverà nella direzione della forza, ma in una posizione di 90° in avanti nella direzione di rotazione della ruota.

Effetto della rotazione della terra:

Consideriamo ora un giroscopio posto sulla superficie della terra all'Equatore, col suo asse di rotazione giacente per Est-Ovest come è rappresentato nella fig. 6. A causa dell'inerzia giroscopica, il giroscopio manterrà il suo asse di rotazione fisso nello spazio, mentre l'orizzonte della terra ruoterà rispetto al medesimo. Così, quantunque il giroscopio mantenga fissa la direzione del suo asse, sembrerà ruotare, o per meglio dire inclinarsi rispetto all'orizzonte, con velocità di rotazione di un giro per ogni *giorno siderale*.

Se il giroscopio è posto a Polo Nord o Sud, esso non ruoterà, o per meglio dire non

si inclinerà, rispetto all'orizzonte, ma soltanto attorno all'asse verticale, alla velocità di un giro per ogni giorno siderale. In qualsiasi altro punto posto tra il Polo Nord od il Polo Sud e l'Equatore il Giroscopio sembrerà ruotare in parte attorno all'asse verticale ed in parte attorno all'asse orizzontale, come si può vedere nella fig.7.

Ne segue che è necessario controllare in qualche modo il giroscopio, affinché esso cerchi il piano del meridiano e vi si mantenga se si vuole che esso funga da girobussola. Il tipo di controllo usato sfrutta la seconda proprietà del giroscopio, vale a dire la precessione.

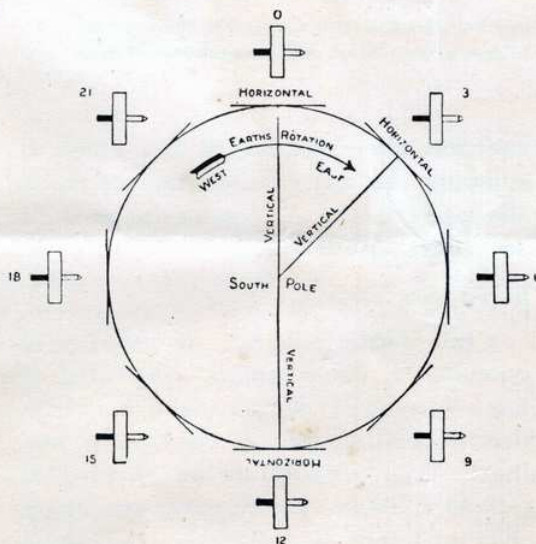


Fig. 6.

Un giroscopio all'equatore con il suo asse di rotazione disposto per est-ovest appare ruotare attorno al suo asse orizzontale una volta ogni 24 ore.

Come si rende il giroscopio e lemento ricercatore del Nord vero:

Supponiamo di sospendere un peso di forma pendolare ad entrambe le estremità dell'asse di rotazione del giroscopio, in modo che detto peso rimanga fissato verticalmente al disotto della ruota del giroscopio. A causa della forza di gravità, il peso applicherà una forza rivolta al centro della

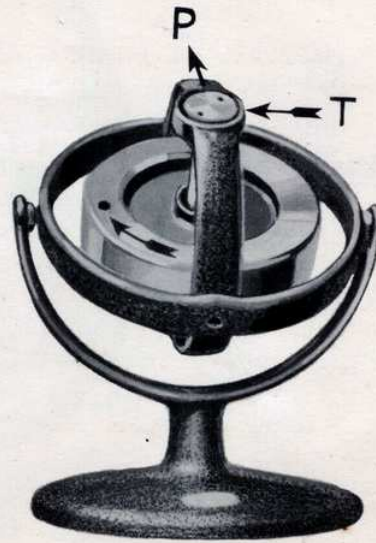


Fig. 5.

Precessione attorno all'asse orizzontale

terra. Se l'asse di rotazione del giroscopio è disposto in modo da giacere nel meridiano, parallelamente alla superficie terrestre, il pendolo eserciterà forze equali su entrambi i lati dell'asse e non si avrà alcuna precessione. Si è, però, già dimostrato che in ogni punto della superficie della terra, eccetto ai poli od all'Equatore, gli effetti

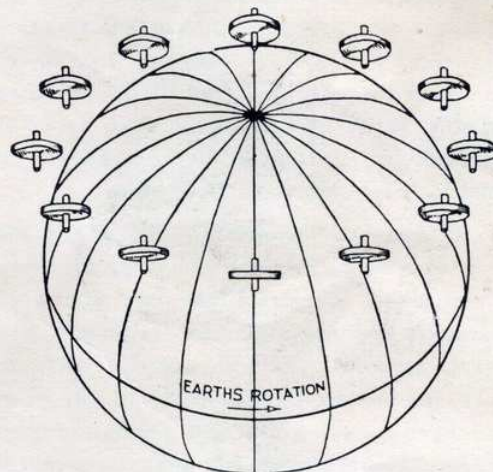


Fig. 7.

Un giroscopio in un punto qualunque, distante dall'equatore, con il suo asse di rotazione orizzontale e disposto per nord-sud, mantiene il suo piano di rotazione nello spazio e ruota apparentemente sia attorno all'asse orizzontale che verticale.

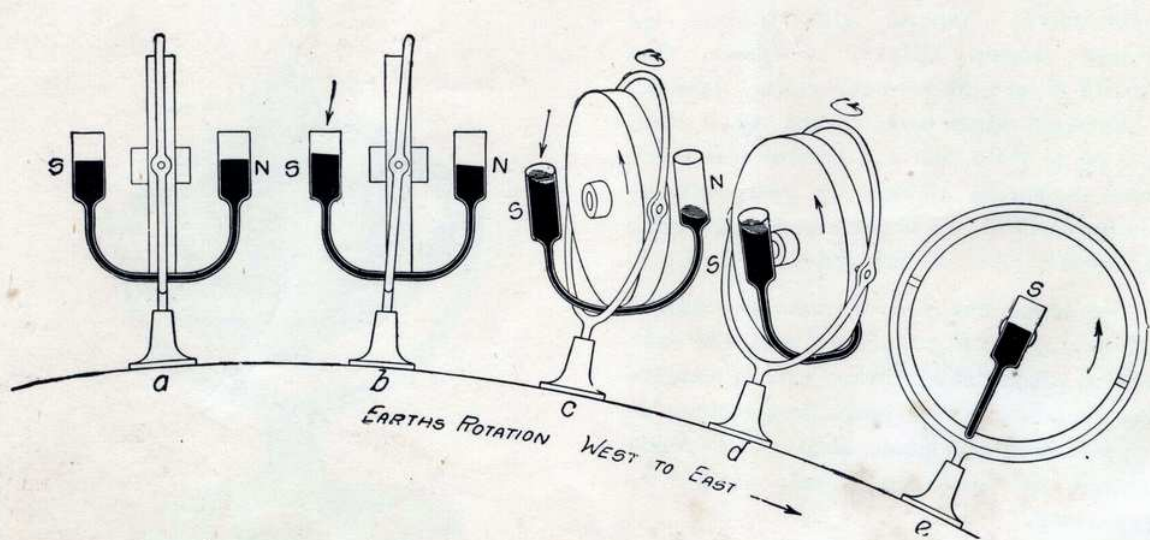


Fig. 8.

Disegno schematico rappresentante i principi di funzionamento del balistico a mercurio che consiste in un sistema con un tubo ad U fissato in modo da oscillare attorno ad un asse concentrico all'asse orizzontale del giroscopio.

apparenti della rotazione della terra da Est verso Ovest fanno in modo che l'asse si allontani dal meridiano e si inclini rispetto alla posizione orizzontale nella quale era stato posto in un primo tempo. Ogni inclinazione fa in modo che il peso pendolare eserciti una coppia e dia come risultato un movimento di precessione del giroscopio, la cui direzione dipenderà dal senso di rotazione del medesimo intorno al suo asse. Facendo ruotare il giroscopio nella direzione corretta, lo si può fare precedere verso il meridiano; il giroscopio diventa, allora, un elemento ricercatore del Nord vero.

Sfortunatamente non si fermerà nel suo movimento di precessione una volta raggiunto il meridiano, ma oscillerà continuamente attorno al medesimo a causa della mancanza di smorzamento. Ciò sarà meglio spiegato appresso. Inoltre, l'aggiunta di un tale peso renderà lo stesso giroscopio pendolare e un tale giroscopio, quando sia soggetto a rapidi movimenti di beccheggio e di rollio della nave, subisce effetti di accelerazione che lo rendono inadatto all'uso a bordo di navi.

La Girobussola Sperry evita questo inconveniente con l'uso del balistico a

mercurio che consiste in una forma di controllo che non è influenzata da rapidi movimenti e che è montato in modo da smorzare le oscillazioni.

Balistico a mercurio:

Una forma semplice di balistico a mercurio è rappresentata nella fig. 8. Essa comprende due recipienti N. ed S., riempiti parzialmente di mercurio e collegati l'uno all'altro da un tubicino di piccolo diametro (per maggiore semplicità sono raffigurati solo due recipienti. Nella Girobussola Mark XIV ne sono usati quattro, due N. collegati a due S., però il principio di funzionamento è il medesimo).

Alla sinistra della fig. 8 l'asse del giroscopio è rappresentato nella posizione orizzontale ed il mercurio è disposto in maniera da risultare lo stesso peso sia nel recipiente "N" che nel recipiente "S". Nella posizione successiva l'asse del giroscopio risulta inclinato ed il mercurio passa dal recipiente "N" a quello "S", col risultato che quello "S" diventa più pesante di quello "N". Una coppia viene quindi applicata al giroscopio

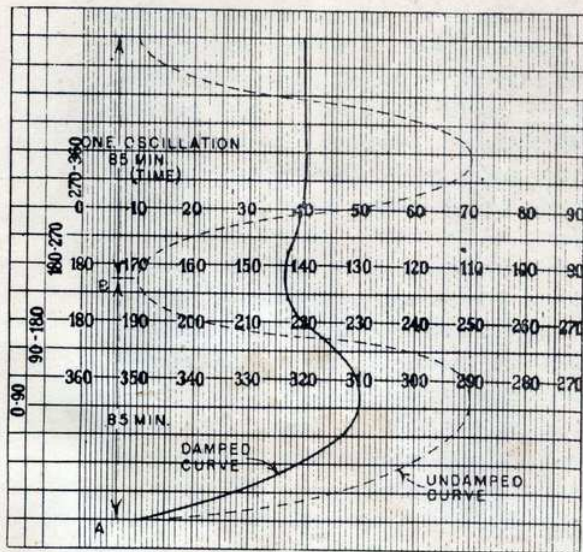


Fig. 9.

Parte di diagramma del registratore di rotta raffigurante una curva con smorzamento ed una senza smorzamento.

che precede come è indicato nella terza posizione, la direzione di precessione essendo rappresentata dalla piccola freccia alla sommità.

La precessione continua fino a che l'asse del giroscopio è allineato con il meridiano; l'inclinazione diventa nulla ed un egual peso di mercurio si dispone in entrambi i recipienti (in pratica è necessario apportare qualche modifica al balistico affinché il giroscopio possa effettivamente raggiungere questa posizione di equilibrio. Questo sarà spiegato nel paragrafo seguente).

Per piccole velocità angolari del movimento d'inclinazione, come quelle prodotte dalla rotazione della terra, l'azione del balistico a mercurio è simile a quella di un comune peso pendolare, sebbene in direzione opposta. Per rapidi movimenti, però, l'inerzia della lunga colonna di mercurio nel balistico impedisce che esso possa rispondere immediatamente, come farebbe un comune pendolo.

Esso è pertanto libero dagli indesiderati effetti dovuti all'oscillazione della nave.

Giroscopio controllato dal balistico a mercurio (senza smorzamento)

Supponiamo che la ruota rappresentata nella fig.8 sia in rotazione ed abbia la completa libertà di un giroscopio; supponiamo che il giroscopio sia posto nell'emisfero Nord col suo asse orizzontale ed orientato ad Est nel Nord..

La rotazione della terra produrrà immediatamente una elevazione apparente dell'estremità Nord dell'asse del giroscopio rispetto al piano orizzontale, ed il mercurio fluirà al recipiente "S". Questa inclinazione farà sì che il peso sbilanciato del mercurio, che agisce sulla carcassa del rotore, provochi una coppia attorno all'asse orizzontale del giroscopio. Questa coppia farà precedere il giroscopio verso il meridiano; l'inclinazione dell'estremità "N" dell'asse del giroscopio, causata dalla rotazione della terra, continuerà ad aumentare fino a che l'asse avrà oltrepassato il piano del meridiano. L'estremità che era prima orientata all'Ovest del Nord, si orienterà ora all'Est del Nord e la sua inclinazione diminuirà con la rotazione della terra. L'estremità dell'asse del giroscopio avrà, pertanto, un andamento come rappresentato dalla linea a tratti della fig. 9 e continuerà ad oscillare attorno al meridiano senza peraltro arrivare ad una posizione di equilibrio, poichè non vi è nessuna forza che tende a riportarlo nella posizione orizzontale, fino a che non abbia oltrepassato il meridiano.

Giroscopio controllato dal balistico a mercurio (con smorzamento):

Supponiamo ora di sospendere il balistico a mercurio ad un telaio esterno (che da ora in poi chiameremo fantasma) come rappresentato nella fig.10; è facciamo in modo che il fantasma segua ogni movimento

del giroscopio attorno all'asse verticale, per mezzo di un sistema di inseguimento e di connettere il balistico a mercurio alla carcassa del rotore, a mezzo di un perno eccentrico, come è rappresentato da "B" nella fig.10; il balistico agirà in tal modo sia sull'asse orizzontale che su quello verticale del giroscopio. L'estremità dell'asse del giroscopio tratterà, pertanto, una curva come è rappresentata dalla linea piena della fig.9. La riduzione di oscillazione che ne consegue, dovuta all'azione del balistico attorno all'asse verticale, è chiamata "smorzamento". Il tempo che occorre per passare dalla posizione "A" a quella "B" (ved. diagramma della fig.9) è chiamato periodo della bussola e dura circa 85 minuti.

Da un esame accurato dell'azione del balistico, come rappresentato nella fig.10, apparirà evidente che l'unica posizione di equilibrio per il giroscopio è quella con l'asse del medesimo orizzontale ed orientato per Nord-Sud; in tal modo il giroscopio è diventato una bussola orientata rispetto al Nord vero.

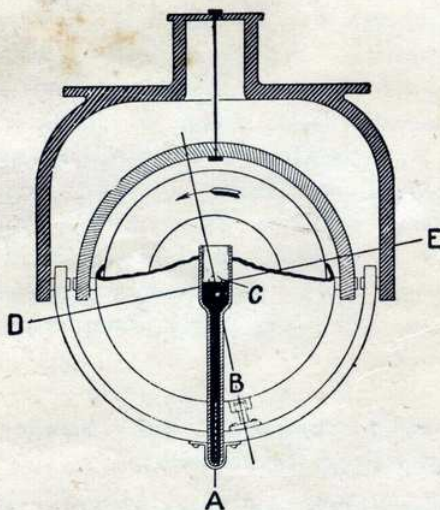


Fig. 10.

Balistico a mercurio fissato eccentricamente alla carcassa del giroscopio.

L'azione di smorzamento del balistico a mercurio, che si risolve nell'applicare una coppia sia attorno all'asse orizzontale che a quello verticale, è resa possibile dall'elemento fantasma. Questo elemento serve anche ad un altro importante scopo, quello cioè di fornire un mezzo di sospensione dell'elemento giroscopico che lo renda praticamente esente da qualsiasi attrito attorno all'asse verticale. Siccome l'elemento fantasma segue automaticamente qualsiasi piccolo movimento dell'elemento giroscopico, la sospensione filare che regge il giroscopio ed il suo anello verticale non sarà mai soggetta a torsione ed il giroscopio sarà in grado di rispondere alla più piccola forza direttiva; Questo sistema di sospensione permette, inoltre, l'uso di un giroscopio pesante, avente quindi una rilevante forza direttiva; fattore di grande importanza per ottenere una bussola accurata e stabile.

Fattore di smorzamento:

Il movimento di precessione dell'asse del giroscopio verso il piano orizzontale, prodotto dall'azione del balistico attorno all'asse verticale, è chiamato smorzamento. L'entità dell'azione di smorzamento è regolata dall'eccentricità del braccetto di collegamento, rispetto alla mezzeria. Per esempio, se il braccetto di collegamento è posto nella posizione "A" (fig.10), non vi sarà alcuna azione di smorzamento e l'asse del giroscopio oscillerà continuamente attorno al meridiano, come è mostrato dalla linea a tratti nella fig.9. Tutte le Girobussole Sperry hanno un fattore di smorzamento di $\frac{2}{3}$, vale a dire l'eccentricità del braccetto di collegamento è regolata per la posizione "B" (fig.10), in modo che l'ampiezza di ciascuna oscillazione compiuta dall'asse del giroscopio attorno al meridiano sia $\frac{2}{3}$ di quella precedente. Così, se il giroscopio inizia la sua oscillazione a 90° ad Est del meridiano, la prima oscillazione porterà la bussola a 30° ad Ovest; l'oscillazione di ritorno a 10° ad Est; quindi a $3\frac{1}{3}^\circ$ ad

Ovest; 1° circa ad Est, ecc. (vedi la linea piena della fig. 9).

Periodo di oscillazione:

Il periodo naturale della bussola, vale a dire il tempo impiegato per compiere una oscillazione completa (vedi fig. 9), è regolato da due fattori, che sono: uno il momento angolare della ruota del giroscopio, vale a dire il prodotto della velocità angolare per il peso e per il quadrato del raggio d'inerzia, e l'altro, la coppia attorno all'asse orizzontale generata dall'azione del balistico a mercurio.

E' di somma importanza che il periodo di oscillazione della bussola sia di parecchie volte superiore al periodo massimo dei movimenti di rollio della nave. In caso contrario, la bussola potrebbe acquistare qualche grado di deviazione prima che i suddetti movimenti si invertano e si annullino a vicenda.

Come sarà spiegato appresso, l'effetto della velocità e della rotta della nave, quando siano sovrapposti alla velocità della terra ed al suo senso di movimento, è tale da fare orientare la bussola in un *meridiano virtuale* che non coincide col meridiano vero. Ne segue che ogni cambiamento di velocità e rotta della nave avrà per effetto di mutare il meridiano virtuale. Il balistico a mercurio è progettato in modo che per ogni cambiamento di velocità e di rotta una piccola quantità di mercurio passerà da un recipiente all'altro, in modo da orientare la bussola nel nuovo meridiano virtuale.

Effetto della velocità e della rotta della nave sulle indicazioni della bus sola:

E' stato dimostrato che il lento movimento di rotazione della terra da Ovest verso Est fornisce la forza motrice per il movimento di precessione della bussola. Però, siccome la nave si muove sulla superficie della terra e di conseguenza attorno al centro della terra, il movimento

della nave si combina con quello della medesima. Quando la nave si muove per Est o per Ovest, la sua velocità va sommata o sottratta a quella di rotazione della terra e l'effetto sull'indicazione della bussola è trascurabile. Quando la nave naviga per Nord o per Sud, l'effetto è, invece, massimo. Lo spostamento apparente dal meridiano, prodotto dal movimento della nave, è rappresentato nella fig. 11. La linea "O-V" rappresenta il movimento della nave verso Nord, compiuto in un certo periodo di tempo. La linea "O-E" rappresenta la risultante del movimento della nave e di quello dovuto alla rotazione della terra.

Si è dimostrato che quando la bus sola non si muove lungo la superficie terrestre, il giroscopio rimane inclinato rispetto alla medesima soltanto in virtù del movimento della terra stessa; si è dimostrato inoltre che l'unica posizione di equilibrio dell'asse del giroscopio, in modo che esso non subisca movimenti di inclinazione, è quella parallela all'asse di rotazione della terra, vale a dire ad angolo retto rispetto alla direzione di rotazione. Siccome la terra gira da Ovest verso Est, la posizione di equilibrio dell'asse del giroscopio è necessariamente quella con l'asse per Nord-Sud.

Dalla fig. 11 si può vedere che il movimento della nave, in un dato periodo di tempo, combinato col relativo movimento della terra, provoca come risultato una direzione effettiva di cammino rispetto allo spazio, che non avviene direttamente verso Est ma a Nord dell'Est (si tenga presente che in questo esempio si è supposto che la nave navighi per Nord. La posizione di equilibrio del giroscopio sarà ora ad angolo retto rispetto alla nuova direzione rappresentata da "O-R", che non è orientata per Est-Ovest; ne segue che il giroscopio non si orienterà parallelamente all'asse di rotazione della terra, vale a dire non si orienterà nel meridiano vero. La nuova direzione di equilibrio del giroscopio è definita *Meridiano*

virtuale e le letture della bussola devono essere corrette in modo da indicare la rotta della nave rispetto al meridiano vero. Questa correzione viene eseguita automaticamente, come sarà spiegato nel prossimo paragrafo.

La differenza angolare fra il meridiano vero e quello virtuale dipende dalla:

- a - velocità della nave;
- b - rotta della nave, poichè sono soltanto le componenti per Nord e per Sud quelle che devono essere prese in considerazione;
- c - latitudine della nave, poichè più alta

è la latitudine, minore è la velocità di un punto sulla superficie della terra e quindi più grande l'effetto del movimento della nave.

Correzione automatica dell'indicazione della Bussola:

I fattori per determinare la differenza angolare tra il meridiano vero e quello virtuale, sono elencati nel precedente paragrafo. Questi possono essere espressi da una formula matematica. Un meccanismo chiamato *correttore di velocità e latitudine* risolve automaticamente questa formula e corregge le indicazioni della bussola.

Il correttore di velocità e latitudine deve essere regolato a mano entro $\pm 5^\circ$ di latitudine e ± 5 nodi di velocità della nave.

Esso applica quindi la dovuta correzione per qualsiasi prora della nave.

Siccome a tutte le latitudini, eccetto

che all'Equatore, l'asse della Girobussola è in leggero ritardo rispetto al meridiano (al fine di creare un movimento di precessione atto a seguire la componente verticale della rotazione della terra) è necessario applicare la *correzione della tangente della latitudine*. Questa correzione è ottenuta per mezzo di un dispositivo chiamato "*Correttore ausiliario di latitudine*" che fa parte integrante del correttore di velocità e latitudine. Quando esso è regolato per la latitudine, applica automaticamente alle indicazioni della bussola la "correzione della tangente della latitudine".

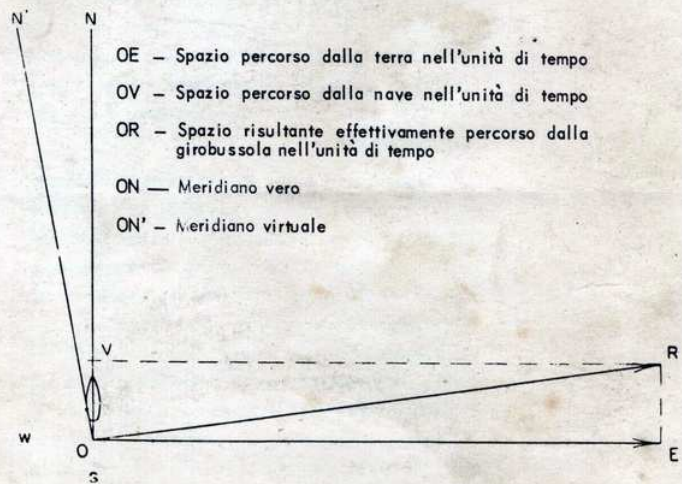


Fig. 11.

Effetto della velocità sulla girobussola: