

GIROBUSSOLE

1. GENERALITÀ SUI GIROSCOPI.

A differenza della normale bussola magnetica che presenta l'elemento sensibile costituito da un ago magnetico che si dispone lungo la tangente alla linea di forza del campo magnetico terrestre, la girobussola ha l'elemento sensibile costituito da un *giroscopio*. Il giroscopio risulta un corpo rigido di forma cilindrica con un'altezza relativamente piccola rispetto al diametro ed animato di una velocità angolare molto elevata (in alcuni casi decine di migliaia di giri al minuto). Se esso viene sospeso cardanicamente ed il baricentro G coincide con il suo centro geometrico O , il suo asse z può ruotare sia intorno all'asse y che intorno all'asse x ed essere così definito *a due gradi di libertà*, tacendo della possibilità di rotazione intorno a z ritenuta ovvia.

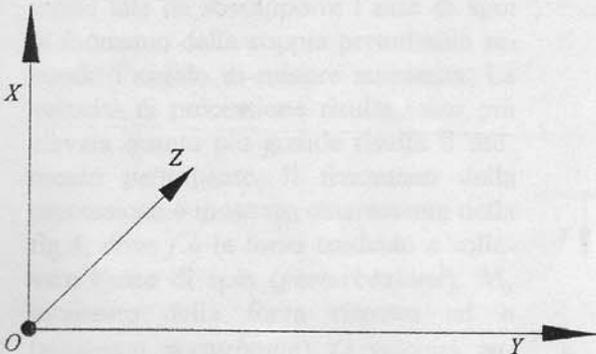


Fig. - 1 -



La coincidenza di O con G comporta l'annullamento del momento del peso p dell'apparecchio rispetto ai tre assi x, y, z per cui esso risulta sottratto all'azione della gravità cioè *libero*. In tali condizioni si manifestano sperimentalmente delle proprietà, la cui spiegazione è complessa e si basa sul principio di conservazione della quantità di moto.

Quando il giroscopio è in rapida rotazione intorno all'asse z detto *asse di spin*, esso tende a mantenere inalterata tale direzione per cui se esso era puntato verso una stella, nel tempo tenderà ad indicare sempre la medesima stella fig.2. Tale proprietà prende il nome di *inerzia giroscopica* ed è tanto più manifesta quanto più elevata è la velocità di rotazione Ω del giroscopio e

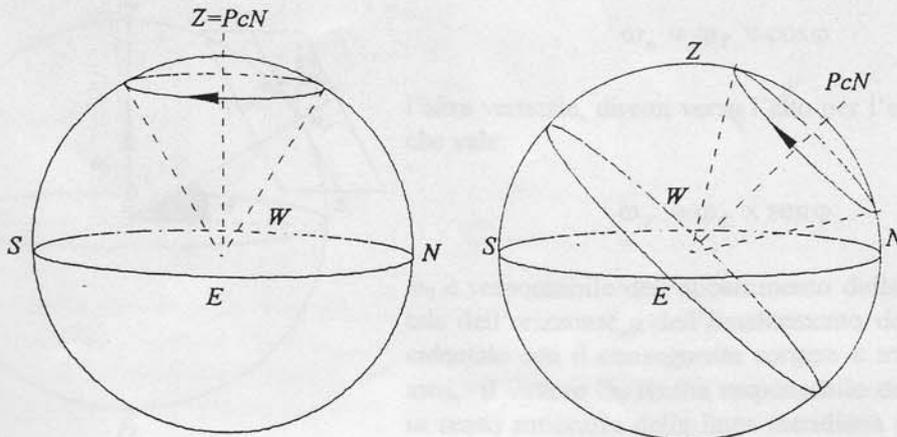


Fig. - 2 -

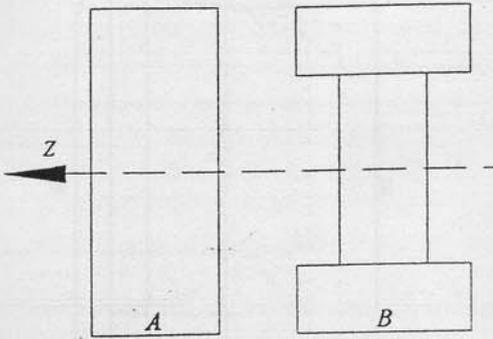


Fig. - 3 -

modo tale da sovrapporre l'asse di spin al momento della coppia perturbante secondo l'angolo di minore ampiezza. La velocità di precessione risulta tanto più elevata quanto più grande risulta il momento perturbante. Il fenomeno della precessione è mostrato chiaramente nella fig.4, dove f è la forza tendente a sollevare l'asse di spin (*perturbazione*), M_y momento della forza rispetto ad o (*momento perturbante*) Ω velocità angolare del giroscopio. La precessione consiste nella rotazione di Ω su M_y secondo l'angolo minore.

quanto più la massa del giroscopio è grande e localizzata nella zona periferica dello stesso. A parità di massa e velocità A ha maggiore inerzia giroscopica di B fig. 3.

Se il giroscopio di fig.4 viene perturbato, cioè se si cerca di allontanare l'asse di spin dalla sua posizione iniziale, si manifesta un fenomeno definito *precessione*: l'asse di spin si sposta nel piano perpendicolare a quello in cui giace la coppia perturbante, in

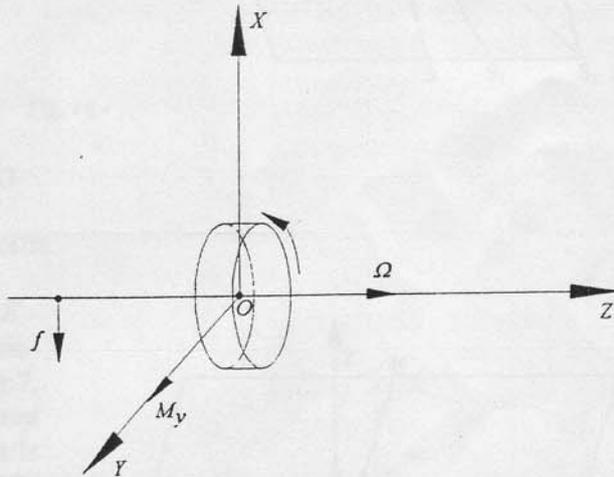


Fig. - 4 -

1.1 CONSIDERAZIONI SUL MOTO DI ROTAZIONE TERRESTRE.

La velocità angolare della terra può essere rappresentata vettorialmente da ω_T ; il vettore ω_T trasportato nella località dell'osservatore, di latitudine φ può essere scomposto in due componenti: di cui una orizzontale e diretta secondo la linea meridiana che vale:

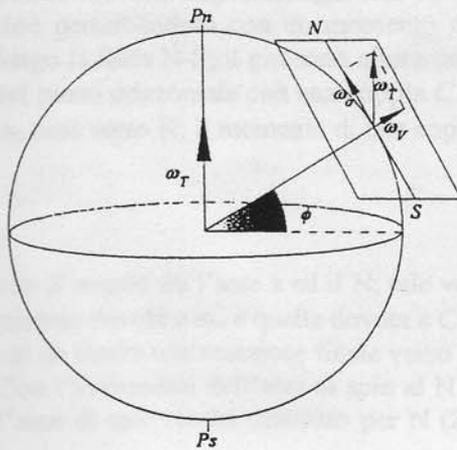


Fig. - 5 -

$$\omega_o = \omega_T \times \cos \varphi$$

l'altra verticale, diretta verso l'alto per l'emisfero nord che vale:

$$\omega_v = \omega_T \times \sin \varphi$$

ω_o è responsabile dell'abbattimento della falda orientale dell'orizzonte e dell'innalzamento della falda occidentale con il conseguente sorgere e tramonto degli astri, il vettore ω_v risulta responsabile della rotazione in senso antiorario della linea meridiana nord sud con il conseguente moto in azimut degli astri.

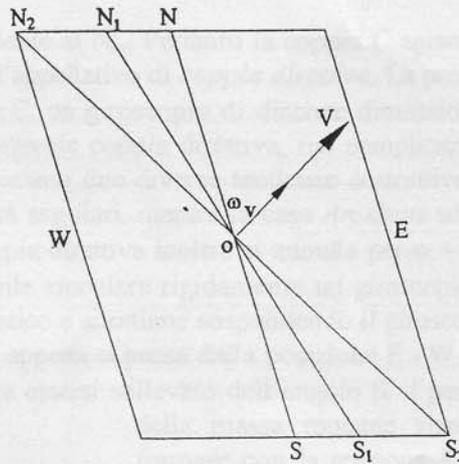
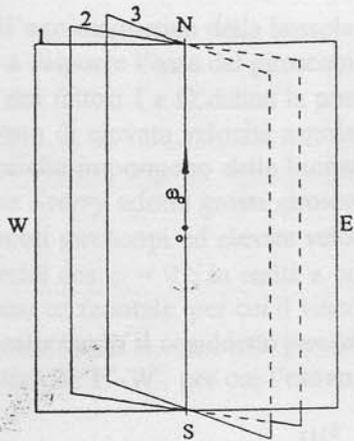


Fig. -6-

2. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

GIROSCOPIO VINCOLATO AL PIANO DELL'ORIZZONTE.

Si orienti l'asse di spin del giroscopio per *E - W* ed eliminiamo la possibilità della rotazione intorno all'asse d'inclinazione *y* fig.7, l'asse *z* risulta libero di ruotare solo in azimut intorno all'asse *x*, ma non può più mutare la sua altezza sull'orizzonte e lo strumento ha un solo grado di libertà. Per effetto della ω_v la linea meridiana *N - S* ruota in senso antiorario per l'emisfero *N* e l'asse di spin ne rileva il movimento ruotando in senso orario senza alcuna difficoltà essendo libero di ruotare intorno all'asse *x* allontanandosi dal *N*. La componente ω_o invece deprime insieme alla falda *E* dell'orizzonte, l'asse di spin imponendole una rotazione cioè perturbandolo con un momento diretto lungo la linea *N-S*; il giostato allora procede nel piano orizzontale con una coppia *C* che porta l'asse di spin attraverso l'angolo minore verso ω_o cioè verso *N*. Il momento di tale coppia vale:

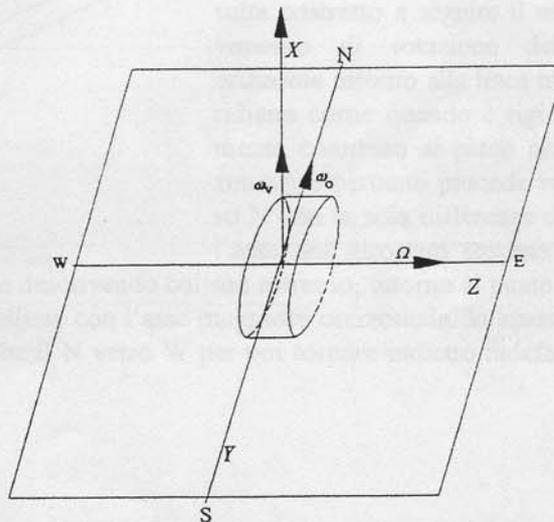


Fig. -7-

$$C = K\omega_T \times \cos \varphi \times \sin Z$$

con *Z* angolo tra l'asse *z* ed il *N*; tale vettore *C* risulta diretto secondo l'asse *x*. La rotazione apparente dovuta a ω_v e quella dovuta a *C* sono contrarie ma la seconda predomina sulla prima, per cui ne risulta una rotazione finale verso *N*.

Con l'avvicinarsi dell'asse di spin al *N* sia *Z* che $\sin Z$ diminuiscono fino ad annullarsi, quando l'asse di spin risulta orientato per *N* ($Z = 0^\circ$, $\sin Z = 0^\circ$), proprio come accade col momento

dell'ago magnetico della bussola magnetica relativamente al N_m . Pertanto la coppia C agisce fino a disporre l'asse del giroscopio per il N_v e merita l'appellativo di *coppia direttiva*. La presenza dei fattori I e Ω danno la possibilità di aumentare C : un giroscopio di discrete dimensioni e dotato di elevata velocità angolare e possiede una notevole coppia direttiva, ma complicazioni tecniche impongono delle limitazioni. Perciò si presentano due diverse tendenze costruttive: la casa *Sperry* adotta grossi giroscopi e modeste velocità angolari, mentre la casa *Anschutz* adotta piccoli giroscopi ed elevate velocità angolari. La coppia direttiva inoltre si annulla per $\varphi = 90^\circ$ perché $\cos \varphi = 0$; in realtà a bordo risulta impossibile vincolare rigidamente un giroscopio al piano orizzontale, per cui il vincolo risulta di tipo elastico e si ottiene sospendendo il giroscopio e realizzando il cosiddetto *pendolo giroscopico*. Non appena si passa dalla posizione $E - W$ alla posizione $E' - W'$, per cui l'estremo A dell'asse sembra essersi sollevato dell'angolo β , il peso p

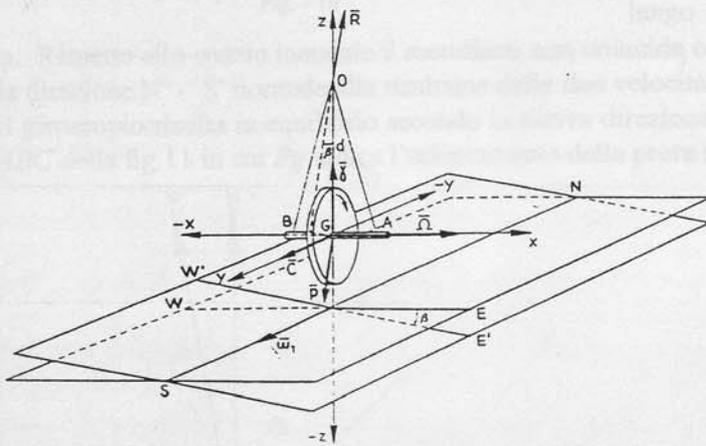


Fig. - 8 -

solleva e si abbassa rispetto al piano orizzontale descrivendo col suo estremo, intorno al punto N dell'orizzonte, una linea che ha la forma di un'ellisse con l'asse maggiore orizzontale. In assenza di attriti, la corsa dell'asse di spin proseguirebbe il N verso W per poi tornare indietro indefinitamente come mostrato in fig. 9.

3. SMORZAMENTO E DEVIAZIONI

Poiché è necessario che l'asse di spin si fermi nell'indicare la posizione del N_v senza oscillare continuamente descrivendo l'*ellisse di oscillazione* e poiché si dimostra che esiste una proporzionalità tra l'asse maggiore ed l'asse minore di tale ellisse, basta agire sull'uno per ottenere una variazione (diminuzione) dell'altro. Per ottenere ciò si introducono dei momenti perturbatori aggiuntivi (verticali oppure orizzontali) che determinano traiettorie dell'asse di spin convergenti in un punto. Come mostrato in fig. 10.

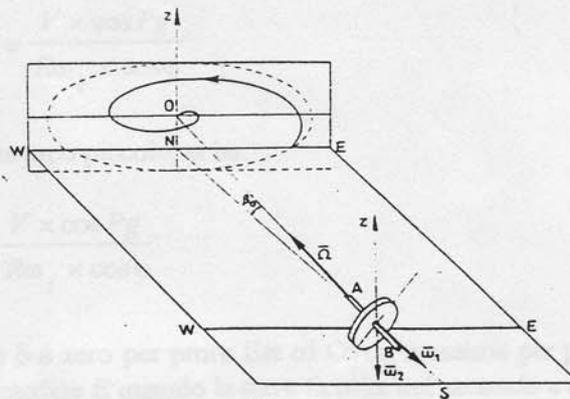


Fig. - 9 -

della massa ruotante viene a formare con la reazione R del punto di sospensione una coppia agente sul piano verticale che tende a portare l'asse del giroscopio nel nuovo piano orizzontale. Dunque, anche in questo caso l'asse del giroscopio risulta costretto a seguire il movimento di rotazione dello orizzonte intorno alla linea meridiana come quando è rigidamente connesso al piano orizzontale e pertanto procede verso N con la sola differenza che l'asse del giroscopio sospeso si

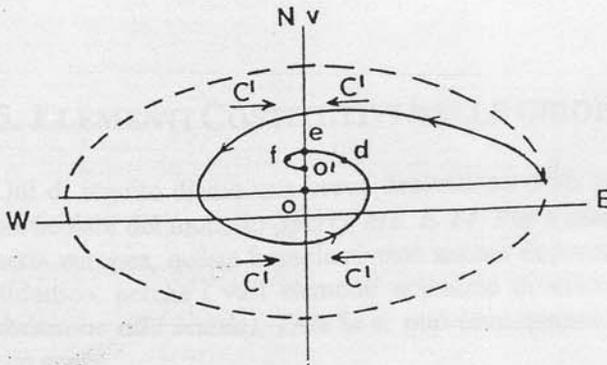


Fig. - 10 -

Le *deviazioni dinamiche* sono quelle che nascono allorquando il veicolo su cui è montato il giroscopio è in movimento con data velocità e direzione. Per una nave trattasi di deviazioni dovute a rotta e velocità. Per una nave in moto la velocità V si compone con quella di trascinamento della rotazione terrestre ottenendo:

$$R\omega_t \times \cos\varphi$$

lungo il parallelo di latitudine istantanea

φ . Rispetto allo spazio inerziale il meridiano non coincide con la linea meridiana N - S, ma con la direzione N' - S' normale alla risultante delle due velocità o *velocità assoluta* del veicolo, ed il giroscopio risulta in equilibrio secondo la nuova direzione del *nord deviato* N' . Dal triangolo ABC della fig.11 in cui Pg indica l'orientamento della prora rispetto al nord deviato si ricava:

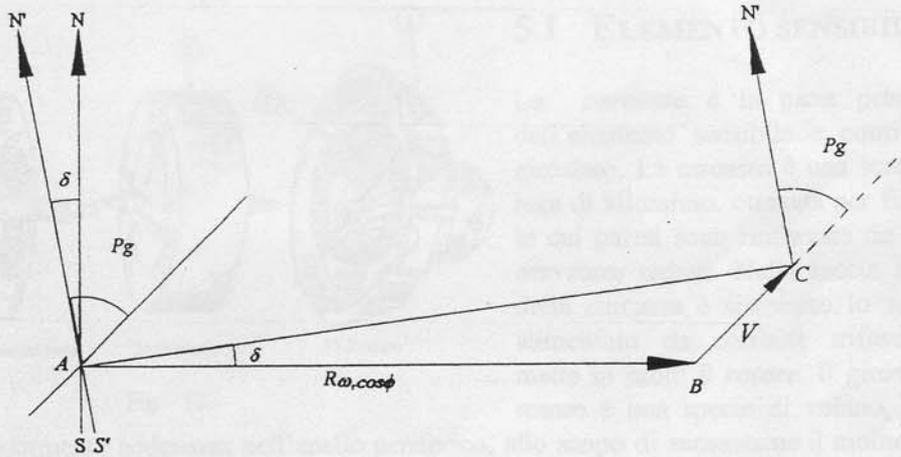


Fig. - 11 -

$$\tan \delta = \frac{V \times \cos Pg}{R\omega_t \times \cos\varphi}$$

sostituendo l'arco alla tangente, poiché δ è un arco piccolo, si ha:

$$\delta = \frac{V \times \cos Pg}{R\omega_t \times \cos\varphi}$$

da tale formula si deduce che la deviazione δ è zero per prore Est ed Ovest massima per prore Nord o Sud. L'angolo di deviazione δ è di cardine *E* quando la nave fa rotta nel *secondo e terzo* quadrante, mentre è di cardine *W* con rotte nel *primo e quarto* quadrante.

5. ELEMENTI COSTITUTIVI DELLE GIROBUSSOLE.

Qui di seguito diamo una breve descrizione degli elementi costitutivi di una girobussola, ed in particolare del modello *Sperry MK E 14*. Pur trattandosi di un modello tramontato, nella marineria europea, questa bussola riveste ancora importanza determinante, specie dal punto di vista didattico, perché i vari elementi appaiono direttamente accessibili all'alunno (è il modello in dotazione alla scuola). Essa la si può immaginare composta di quattro elementi fondamentali che sono:

- *Elemento sensibile.*
- *Elemento fantasma.*
- *Elemento di controllo.*
- *Elemento di sostegno.*

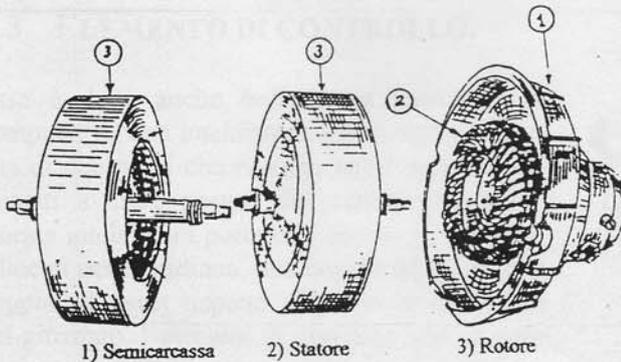


Fig. - 12 -

5.1 ELEMENTO SENSIBILE.

La *carcassa* è la parte principale dell'elemento sensibile e contiene il girostato. La carcassa è una scatola in lega di alluminio, ottenuta per fusione, le cui pareti sono rinforzate da solide nervature radiali. Nella faccia interna della carcassa è sistemato lo *statore*, alimentato da corrente trifase, che mette in moto il *rotore*. Il girostato o rotore è una specie di volano, la cui

massa è maggiormente addensata nell'anello periferico, allo scopo di aumentarne il momento di inerzia rispetto all'asse di rotazione. Pesa circa 24 chilogrammi, ha un diametro di 254 millimetri, ed ruota alla velocità di 6000 giri al minuto. La carcassa è dotata di un foro vetrato, attraverso il quale è possibile accertarsi del movimento del giroscopio. La carcassa porta, nella zona assiale, due sporgenze cilindriche chiuse, dove alloggianno i cuscinetti a sfera dell'asse del rotore; esse costituiscono anche il serbatoio dell'olio di lubrificazione. È sostenuta da un *cerchio verticale* per mezzo di due perni orizzontali e normali all'asse del girostato, essi costituiscono un grado di libertà del giroscopio, la loro congiungente a girobussola orientata, indicano la linea *Est Ovest*. Il lato est del cerchio verticale porta un sostegno che sorregge un'armatura di ferro dolce che si sposta dinanzi ad un trasformatore portato da un cerchio fantasma. Questo cerchio è libero di ruotare attorno al diametro verticale che costituisce un altro grado di libertà. Il cerchio verticale, e con esso l'elemento sensibile, sono sostenuti da un fascio di 18 *fili di acciaio* che scende dall'elemento di sostegno.

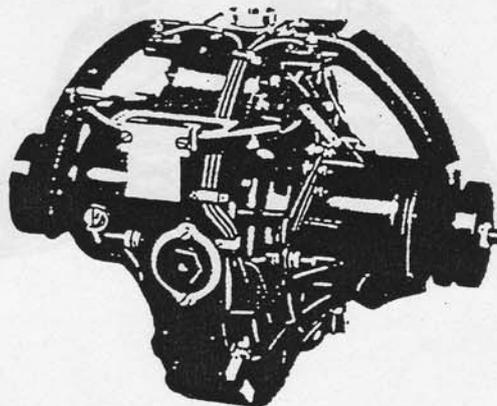


Fig. - 13 -

5.2 ELEMENTO FANTASMA.

Esso è costituito da un cerchio, munito di un stelo cavo, portato dall'elemento di sostegno. Il *fantasma*, è mantenuto complanare al cerchio verticale per mezzo del motorino d'azimut, e quindi segue i movimenti dell'elemento sensibile. La sospensione filare, che è portata dallo stelo, non è pertanto soggetta a torsioni, comunque ruoti il cerchio verticale.

L'*elemento fantasma* comprende:

- La rosa.
- La ruota dentata azimutale
- Il trasformatore d'inseguimento.
- I cuscinetti di sostegno del balistico con i relativi serbatoi per l'olio di lubrificazione.

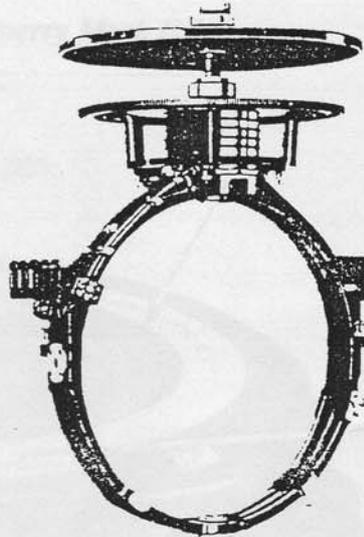


Fig. - 14 -

5.3 ELEMENTO DI CONTROLLO.

Esso è detto anche *balistico a mercurio*, si compone di una intelaiatura quadrangolare munita di due perni che ruotano entro appositi cuscinetti a sfere portati dal cerchio fantasma. Questa intelaiatura porta due coppie di serbatoi, allineati per meridiano, una coppia ad est ed una coppia ad ovest rispetto al piano di simmetria del girostato. I serbatoi di ciascuna coppia contengono complessivamente 227 grammi di mercurio e formano un sistema di vasi comunicanti a mezzo di un tubicino innestato nei fondelli.

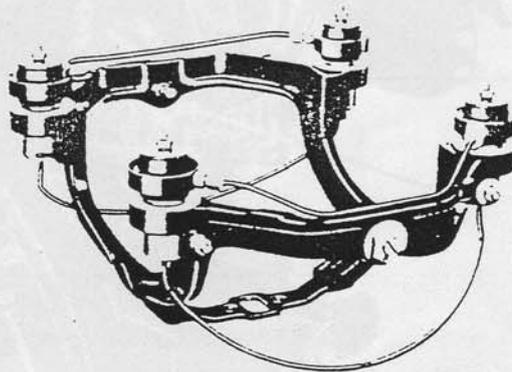


Fig. - 15 -

5.4 ELEMENTO DI SOSTEGNO.

Esso è costituito da una intelaiatura a crociera che porta al centro un mozzo forato ed alla periferia due bracci subverticali diretti per madiere. Il mozzo centrale serve di sostegno e di guida allo stelo del fantasma, e di conseguenza, di sostegno anche all'elemento sensibile.

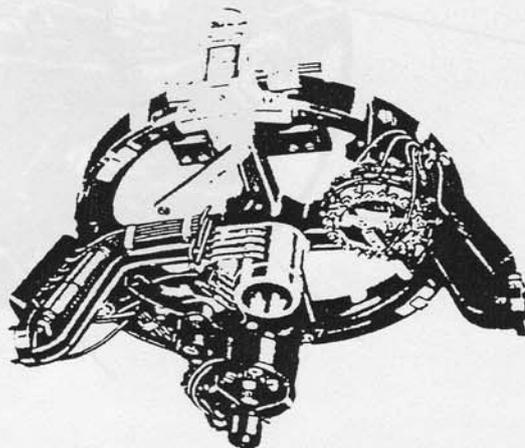


Fig. - 16 -