





Premessa

IL MOMENTO

Due forze parallele della stessa intensità ma con verso opposto vengono chiamate una coppia di forze. L'effetto conseguente viene denominato momento della coppia e risulta definito dalla relazione:

$$M = F b$$

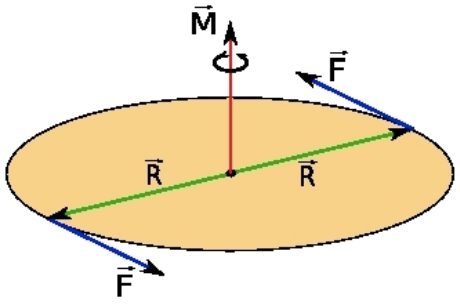
Dove b, detto il braccio, rappresenta la minima distanza tra le due rette di azione delle forze:

L'effetto della coppia di forze è quella di determinare una rotazione del corpo; la rappresentazione del momento è invece data da una forza che è uscente dal piano della coppia...

Premessa

IL MOMENTO

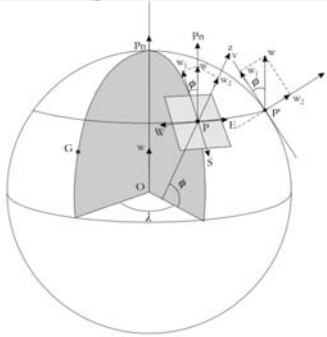
L'effetto della coppia di forze è quella di determinare una rotazione del corpo; la rappresentazione del momento è invece data da una forza che è uscente dal piano della coppia, se il verso della rotazione impresso è positivo (antiorario)...



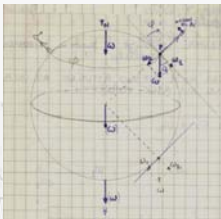
Premessa

LA ROTAZIONE TERRESTRE

Per effetto del moto di rotazione della Terra, tutti gli osservatori sono soggetti alla velocità angolare ω .



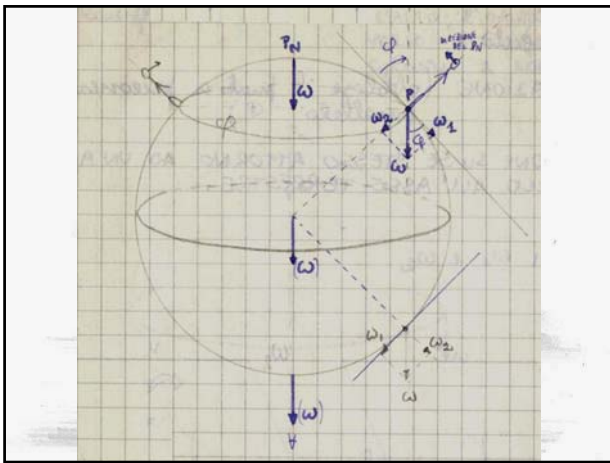
Fenomeni Direttivi del Giroscopio

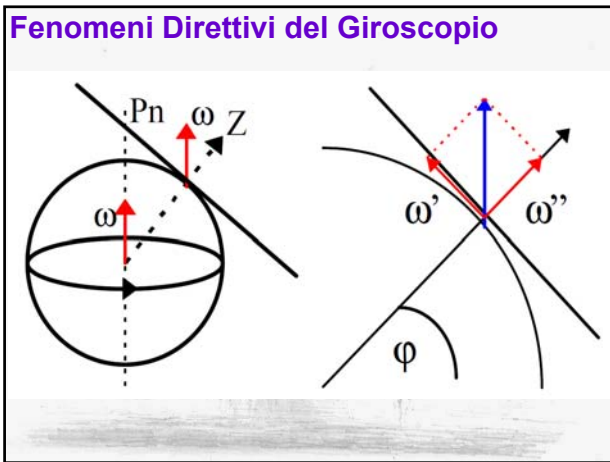


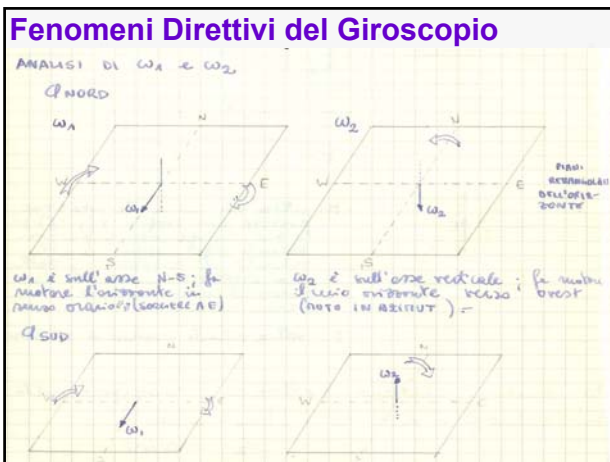
Nel generico punto P il vettore ω può essere scomposto in funzione della latitudine dell'osservatore, nei due vettori:

$$\omega_1 = \omega \cos \varphi$$
$$\omega_2 = \omega \sin \varphi$$

Si faccia attenzione che ω è un vettore momento angolare e quindi esprime una rotazione attorno ad un asse. L'effetto è quello di dar luogo a due movimenti: una TRASLAZIONE, obbligando il punto a percorrere il piano parallelo a φ , ed una ROTAZIONE su se stesso attorno ad un asse parallelo all'asse terrestre.





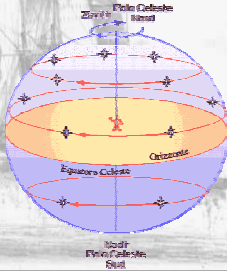
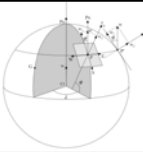


Premessa

LA ROTAZIONE TERRESTRE

...nell'emisfero Sud ω_1 si comporta come per l'emisfero Nord, mentre ω_2 è rivolta verso l'alto; l'orizzonte gira verso Est (e il Sole culmina a Nord).

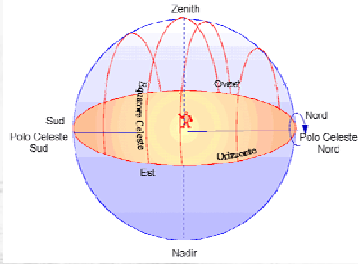
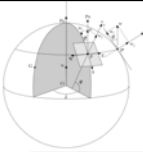
In particolare se $\varphi = 90^\circ$ risulta necessariamente che $\omega_1=0$ e $\omega_2=\omega$. Non ho moto in altezza degli astri, ma solo moto in azimut (sfera parallela).



Premessa

LA ROTAZIONE TERRESTRE

...Se, invece, $\varphi=0^\circ$, risulta che $\omega_1=\omega$ e $\omega_2=0$: non c'è moto in azimut, ma solo in altezza; gli astri sorgono perpendicolari all'orizzonte (sfera retta).



Giroscopio

La girobussola funziona sul principio del giroscopio.

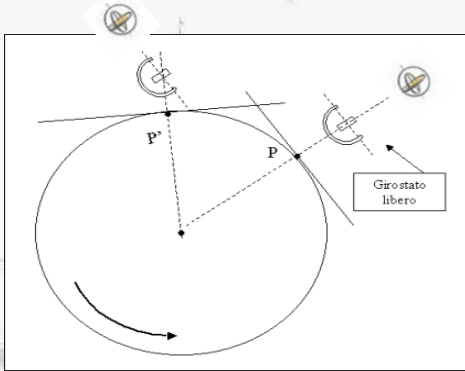
Il giroscopio è un corpo che ruota con velocità angolare costante, attorno ad un asse, in sospensione cardanica. Per effetto della legge di conservazione del momento angolare, egli tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa.



Essenzialmente è costituito da un rotore a forma di toroide che ruota intorno al suo asse, quando il rotore è in rotazione il suo asse tende a mantenersi parallelo a sé stesso e ad opporsi ad ogni tentativo di cambiare il suo orientamento.

Giroscopio

...egli tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa.



Giroscopio

Un giroscopio mostra una serie di fenomeni, tra cui la precessione e la nutazione.

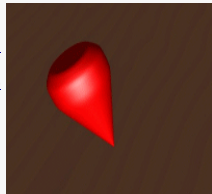


La precessione è la rotazione dell'asse di rotazione di un corpo attorno ad un asse. Esistono due tipi di precessione: la precessione torque-free e la precessione giroscopica (o torque-induced).

La dimostrazione più immediata della precessione si osserva nel moto di una trottola. Una trottola è un oggetto avente simmetria rotazionale e dotato di un puntale di appoggio nella parte inferiore, al quale si imprime un rapido moto di rotazione intorno all'asse di simmetria.

Giroscopio

La trottola è soggetta a due forze: la forza di gravità, che si applica nel suo centro di massa, ed è diretta verticalmente verso il basso e la reazione vincolare, diretta verso l'alto, che si esercita nel punto in cui il puntale della trottola tocca il piano su cui essa è appoggiata.

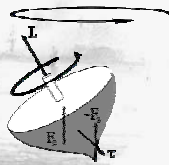


La somma di queste due forze è nulla.

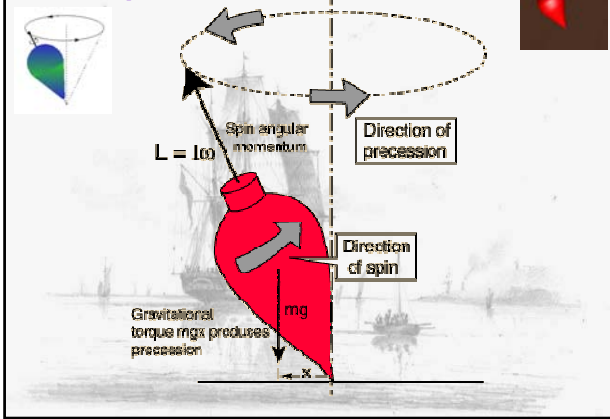
Poiché l'asse della trottola non è mai perfettamente verticale, la torsione τ di questa coppia di forze non è nulla, in quanto il centro di massa non si trova esattamente sopra il punto di appoggio.

Per maggior chiarezza, quando la trottola non è in rotazione, l'effetto di questo momento è semplicemente quello di far cadere la trottola.

Quando invece la trottola ruota, essa possiede un momento angolare (I) diretto lungo l'asse di rotazione: poiché τ è ad esso perpendicolare, il suo effetto è quello di cambiarne la direzione, non l'intensità. La variazione è nella direzione di τ , che è orizzontale: perciò l'asse di rotazione della trottola ruota intorno alla verticale, ma la trottola non cade finché la sua rotazione non si esaurisce per effetto dell'attrito.



Giroscopio



Giroscopio

L'equazione fondamentale che descrive un qualunque corpo in rotazione è:

$$M = dL/dt = d(I\omega)/dt = I d\omega/dt = I\alpha$$

- M è il momento meccanico (vettore)
- L è il momento angolare (vettore)
- I è il momento di inerzia (scalare)
- ω è la velocità angolare (vettore)
- α è l'accelerazione angolare (vettore)



Dall'equazione deriva che se viene applicato un momento meccanico M perpendicolarmente all'asse di rotazione, quindi perpendicolare ad L , si sviluppa una forza perpendicolare sia a M che ad L .

Il moto che ne deriva è detto precessione. La velocità angolare del moto di precessione Ω_P , è data da:

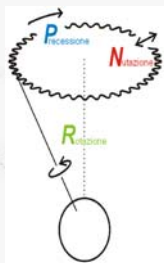
$$M = \Omega_P \times L$$

In una girobussola l'asse del giroscopio è vincolato a muoversi su un piano passante per il centro terrestre. In questo modo la rotazione terrestre genera un momento meccanico sull'asse stesso che tende a ruotarlo fino a renderlo parallelo all'asse di rotazione del pianeta. Il risultato è che l'asse stesso indica sempre (a regime) la direzione nord-sud.

Giroscopio

La nutazione è invece il moto di oscillazione dell'asse di rotazione di un oggetto, che si manifesta in combinazione con un moto di precessione.

Questo moto è dovuto al fatto che il momento angolare della precessione si somma a quello della rotazione: perciò il momento angolare risultante non è esattamente diretto lungo l'asse di simmetria dell'oggetto rotante. Questo provoca un'oscillazione di tale asse nella direzione trasversale al moto di precessione e, in conseguenza di questo, anche una lieve variazione periodica della velocità angolare di precessione. L'ampiezza della nutazione è proporzionale al rapporto tra la velocità angolare di precessione e quella di rotazione.



La nutazione si osserva ad esempio nel moto della trottola: man mano che essa rallenta la sua rotazione il suo asse oscilla via via più marcatamente, finché la trottola cade.

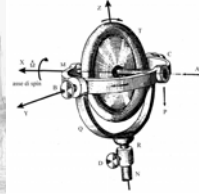
Inerzia Giroscopica

Si usa generalmente dire che l'asse di un giroscopio con tre gradi di libertà tende a mantenersi parallelo a se stesso nello spazio. Ma è chiaro che, sotto questa forma, tale proprietà non è una caratteristica dei soli girostati in movimento. Qualunque corpo, anche non rotante, tende a mantenere costante l'orientamento del suo asse nello spazio, finché non intervengono forze perturbatrici.

L'aspetto caratteristico dell'inerzia giroscopica consiste appunto nella diversa maniera con cui un giroscopio reagisce all'azione di forze perturbatrici esterne.

Essenzialmente gli si oppone.

Per inerzia giroscopica si intende quindi la caratteristica di un giroscopio a tre gradi di libertà (attorno a sé stesso, attorno all'asse verticale ed all'asse orizzontale), di mantenere il proprio asse inalterato nello spazio.



Fenomeni Direttivi del Giroscopio

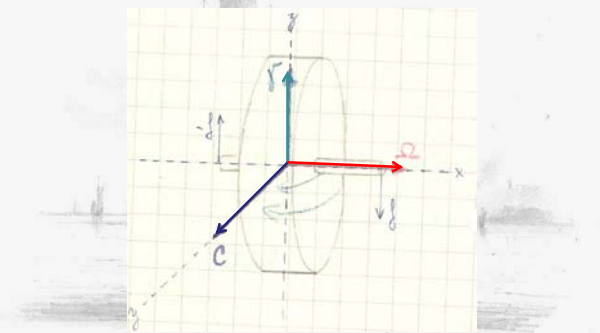
Un giroscopio a tre gradi di libertà serve ottimamente a dimostrare la rotazione della terra e a rilevare i fondamentali fenomeni giroscopici; un tale strumento non può evidentemente servire come bussola, perché esso indica soltanto, quando sono trascurabili gli attriti, una direzione fissa nello spazio (riferimento inerziale) ma non fissa rispetto alla terra.



Affinché un giroscopio indichi una direzione fissa rispetto alla terra, cioè si manifestano i fenomeni direttivi giroscopici, è necessario che l'asse del rotore non abbia tre gradi di libertà, ma sia vincolato ad un piano orizzontale oppure ad uno verticale, piani che sono trascinati dalla terra nel suo movimento di rotazione diurna.

Precessione Giroscopica

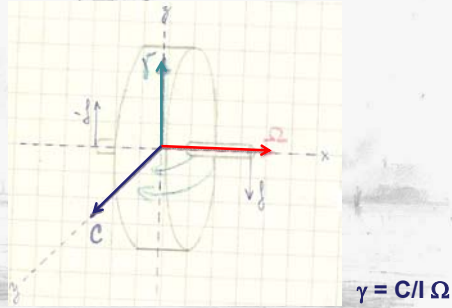
Applicando ad un rotore di velocità angolare Ω (asse x) una coppia di forze (f, -f) sul piano (x, z), rappresentate da un vettore C (asse y), il rotore risponde con un movimento detto di PRECESSIONE, tale da portar Ω in direzione del vettore C, producendo così una rotazione γ (asse z).



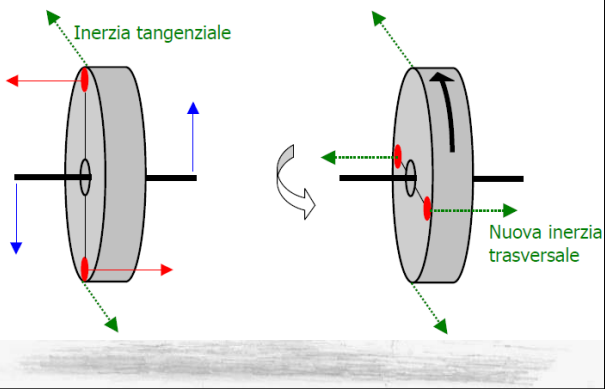
Precessione Giroscopica

Questa è una PRESSIONE LIBERA, perché il giroscopio ha tutti i tre gradi di libertà.

Concludendo: dato un giroscopio di momento di inerzia (I), velocità angolare (Ω) e sottoposto ad una coppia di forze ($f, -f$) di momento (C), esso risponde con una rotazione (γ) attorno all'asse verticale.



Precessione Giroscopica

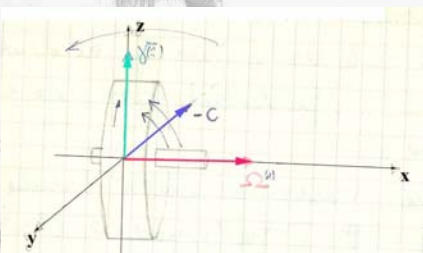


Precessione Forzata

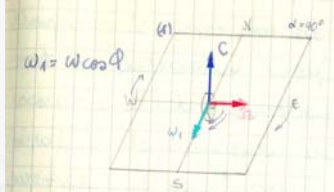
Un giroscopio a DUE gradi di libertà (su se stesso ed in altezza), sottoposto ad una rotazione (γ) sull'asse z , egli risponde secondo il principio del parallelismo delle rotazioni, precedendo con il vettore Ω (sull'asse x), su y . Il piano del movimento è (x, z).

Tale precessione, detta PRESSIONE FORZATA e può essere identificata dalla coppia $-C$ (sull'asse y).

In sostanza è come se il giroscopio volesse assorbire la rotazione impostagli.



Giroscopio vincolato al piano dell'orizzonte



Impedendo al giroscopio di uscire dal piano dell'orizzonte, cioè bloccando il suo moto in altezza, possiamo far sentire ad Ω la presenza di ω_1 , la componente orizzontale della rotazione terrestre.

In particolare:

$$\gamma = \omega_1 = C/I \Omega$$

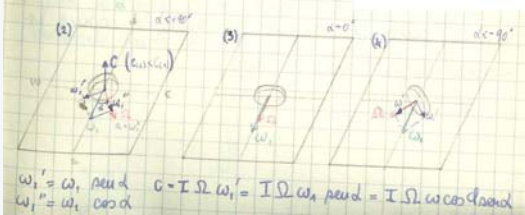
$$C = I \Omega \omega_1 = I \Omega \omega_1 \cos \phi$$

Il che mi consente di giungere alle seguenti conclusioni pratiche:

- 1) Non funziona ai poli
- 2) Ha affidabilità che cambia con la latitudine; in particolare è ottima all'equatore, nulla ai poli.

C costituisce la coppia di orientamento della girobussola.

Giroscopio vincolato al piano dell'orizzonte



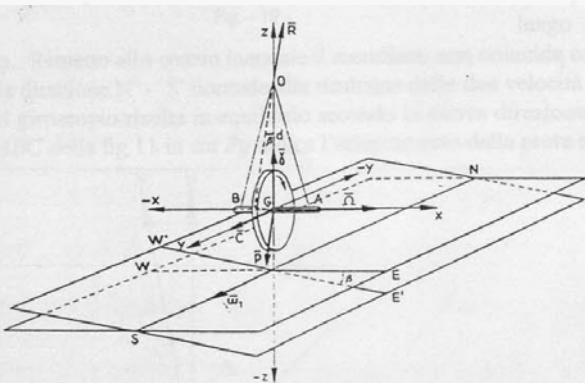
Riassumendo: con il giroscopio (Ω) puntato verso Est, a seguito del movimento indotto da ω_1 , egli precede verso Sud, sottoposto ad una coppia C.

Spostandosi W nel piano orizzontale, si deve analizzare il comportamento di Ω a causa della presenza delle componenti di ω_1 (ω_1' e ω_1''), prese una lungo l'asse di rotazione del rotore (ω_1'') ed una ortogonale (ω_1').

La componente di ω_1 , ortogonale alla direzione di Ω , è la rotazione che attira a Sud Ω . C, partendo da Est e procedendo verso Sud, è via via decrescente, diventando uguale a zero quando il rotore è in meridiano.

Procedendo per inerzia Ω verso Ovest, la ω_1' si troverà verso oriente, rallentando Ω e portandolo come posizione definitiva a Sud.

Giroscopio vincolato al piano dell'orizzonte

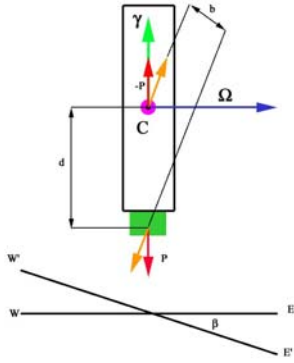


Giroscopio Zavorrato

Quando al Carter del Giroscopio applico inferiormente un peso P , ottengo un GIROSCOPIO ZAVORRATO, o vincolato elasticamente al piano dell'orizzonte, a tre gradi di libertà.

Quando metto in moto il giroscopio, con Ω puntato, ad esempio, verso Est, il giroscopio **NON È VINCOLATO ALL'ORIZZONTE** e non sente assolutamente l'azione di ω_1 .

Per effetto del moto di rotazione, l'orizzonte ruota.



Giroscopio Zavorrato

Se prima la coppia $(P, -P)$ non dava alcun effetto in quanto le due forze giacevano sulla stessa retta di azione, allorché l'orizzonte si è inclinato di β , a causa di ω_1 , ecco che $(P, -P)$ genera una coppia C uscente.

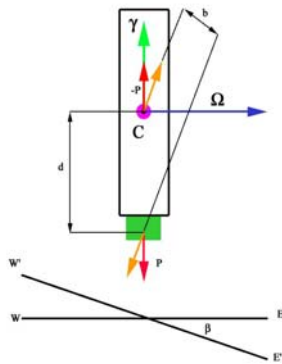
E possibile ricavare che il braccio di questa coppia vale:

$$b = d \sin \beta$$

e che pertanto la coppia di forze ha momento:

$$C = P d \sin \beta$$

Dunque, per far sentire la rotazione terrestre ad un giroscopio, quando non è possibile vincolarlo al piano dell'orizzonte (ad esempio a bordo di una nave), basta collegargli un peso, in modo che egli senta la variazione della verticale.



Giroscopio Zavorrato

Considerato che il giroscopio ha tre gradi di libertà, Ω precede su C (con una rotazione rappresentata dal vettore g). Risulterà perciò:

$$\gamma = C/I \Omega = P d \sin \beta / I \Omega$$

Visto che C è diretta verso Sud, allora un giroscopio zavorrato va a Sud e dopo una serie di oscillazioni, rimane puntato in direzione Sud.

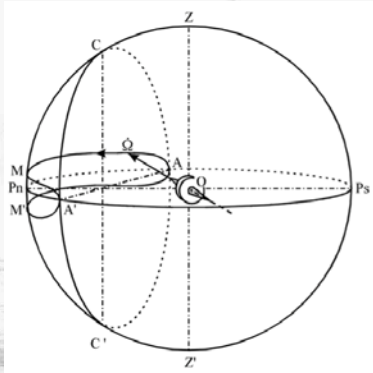
GIROSCOPIO ANTIZAVORRATO

Se applico il peso superiormente al carter del giroscopio, ottengo un giroscopio anti-zavorrato. Il giroscopio anti-zavorrato Ω va a Nord.

Esistono quindi due tipi di girobussole: quelle zavorrate (Anschutz) e quelle anti-zavorrate (Sperry).

Movimento dell'asse giroscopico

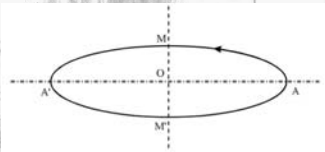
In assenza di attriti, il movimento del giroscopio risulta essere il seguente:



Traiettoria del giroscopio

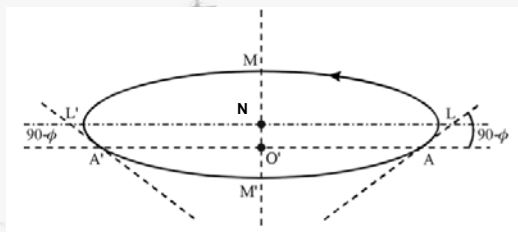
Per analizzare la traiettoria di movimento di un giroscopio anti-zavorrato, si parte da un giroscopio con Ω puntato, ad esempio, verso il punto cardinale Est. All'inizio del fenomeno, poiché $\beta=0$, la coppia $C=Pdsen\beta$ è nulla e quindi il rotore si muoverà in maniera apparente lungo l'equatore celeste secondo l'inerzia giroscopica. Seguendo però l'equatore astronomico, Ω si allontana dal piano dell'orizzonte, andando ad incontrare valori sempre più ampi di β , i quali definiscono delle COPPIE DI ORIENTAMENTO via via maggiori e quindi Ω , sentendo l'attrazione verso Nord, comincia a precedere lentamente in tale direzione uscendo dal piano equatoriale. I valori di β , a causa di ω_p , che abbatte continuamente l'Est diventano tali da attirare intensamente Ω verso Nord.

Il giroscopio viene considerato senza attriti e, in definitiva, la traiettoria descritta dal giroscopio è quella di una ellisse.



Traiettoria del giroscopio

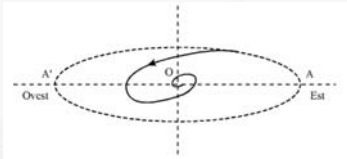
Il discorso è, evidentemente, puramente teorico, in quanto, l'esistenza degli attriti comporta che la traiettoria vera, seguita dal giroscopio sarà invece una spirale che porta Ω sul Nord (nella migliore delle ipotesi).



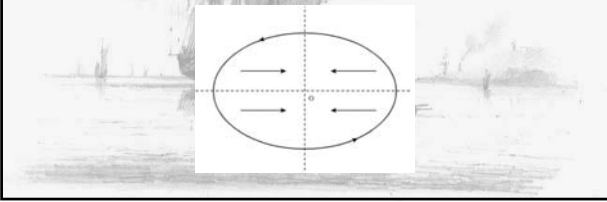
Poiché anche in presenza degli attriti è necessario troppo tempo affinché il giroscopio vada a Nord, ecco che viene introdotto il FATTORE DI SMORZAMENTO, il quale, essenzialmente, attraverso l'azione di ulteriori forze, obbliga il giroscopio a raggiungere la posizione finale in tempi più brevi (una novantina di minuti, con un fattore di smorzamento pari a 3).

Traiettoria del giroscopio

Esempio di curva smorzata di orientamento:

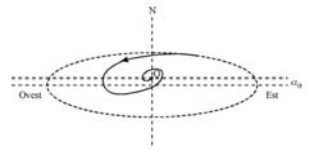


Esempio di Azione della coppia di smorzamento delle girobussole (Anschutz):

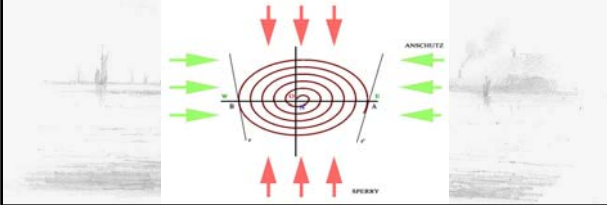


Traiettoria del giroscopio

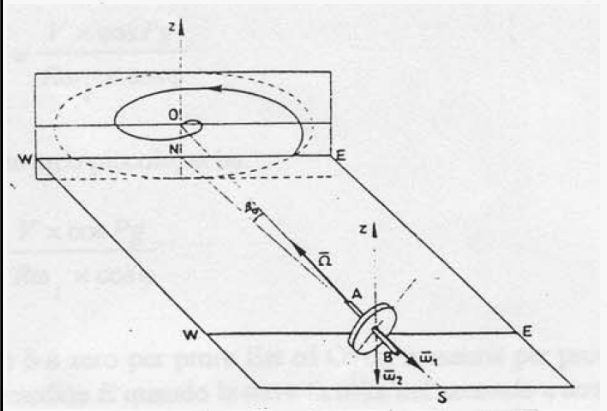
Esempio di curva smorzata di orientamento con coppia verticale:



Esempio di Azione della coppia di smorzamento delle girobussole:



Traiettoria del giroscopio



Girobussola

Le parti fondamentali di una girobussola sono:

1. Bussola madre
2. Girofera o elemento sensibile: contiene il giroscopio o i giroscopi a seconda del modello.
3. Elemento fantasma o asservito: è il mortaio che contiene la parte sensibile, la rosa dei venti e quella d'azimut.
4. Sostegno: è la parte strutturale connessa alla nave che comprende i supporti cardanici e la linea di fede.
5. Dispositivo di smorzamento: è la parte di elemento sensibile che concorre allo smorzamento delle oscillazioni.
6. Sistema di inseguimento e quadro di amplificazione: è il sistema che concorre all'allineamento tra elemento fantasma ed elemento sensibile.
7. Ripetitivi e autopilota: è costituito dall'insieme degli elementi che consentono il trasferimento dei dati in forma analogica o digitale alle ripetitrici, all'auto pilota ed al Radar ARPA.



Girobussola Sperry

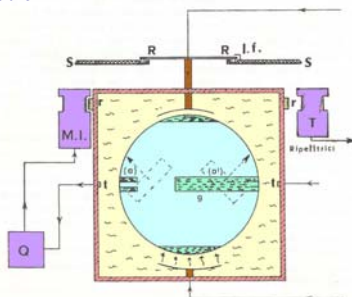
E' una bussola costituita da un unico giroscopio da 20÷30kg che non ha bisogno di ruotare a grandi velocità (5000÷6000rpm). Ci vogliono circa 30 minuti per raggiungere la velocità di regime. L'elemento sensibile è costituito dal balistico a mercurio, formato da due vaschette parzialmente riempite di mercurio e collegate inferiormente da un tubicino. A causa dello spostamento dell'orizzonte Ω precede spostandosi verso nord; si tratta perciò di un giroscopio anti-zavorrato (il peso è in basso, ma è un peso liquido a livello libero).

Lo smorzamento della Sperry viene ottenuto decentrando il sostegno delle vaschette di mercurio rispetto alla verticale. In questo modo alla coppia di orientamento si affianca quella di smorzamento.

Il carter dell'unico giroscopio sostiene, all'interno, lo statore del motore elettrico che consente il funzionamento del giroscopio (1° grado di libertà). Il carter è a sua volta sostenuto dal cerchio verticale che gli permette il moto in altezza (2° grado di libertà). Il cerchio verticale è a sua volta sostenuto dal cerchio fantasma. Questi due ultimi devono essere mantenuti complanari, quindi il cerchio fantasma controlla magneticamente il proprio allineamento con quello del cerchio verticale. Quando questa condizione viene meno interviene un motore a ripristinare l'allineamento. Il tutto è infine sostenuto da una sospensione cardanica con cuscinetti di smorzamento ad olio.

Girobussola Anschütz - Microtecnica

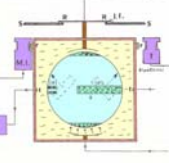
Nella microtecnica l'elemento sensibile è costituito da una sfera di bachelite contenente due piccoli giroscopi rotanti a forte velocità (20000rpm). I due giroscopi sono collegati fra loro in maniera tale da permettere lievi movimenti di spostamento in azimut ad entrambi e ciò fa sì che la risultante velocità angolare risulti molto stabile.



Girobussola Anschutz - Microtecnica

I piani dei due giroscopi sono ortogonali tra loro e, una volta orientati, giacciono nelle direzioni NE-SW. La sfera contiene atmosfera di idrogeno per eliminare i fenomeni di ossidazione e per ridurre gli attriti. Nella parte bassa si può notare la presenza di un grosso magnete anulare formato da un gran numero di spire, detto magnete soffiante. Esso entra in funzione soltanto quando la girobussola è accesa. Nella parte bassa si trova inoltre un deposito di olio che, assorbito per capillarità da opportuni tubicini, viene portato a lubrificare i cuscinetti di rotazione. L'elemento sensibile è costruito in maniera tale da avere il centro di gravità spostato in basso rispetto al centro si spinta (il giroscopio è perciò zavorrato e va a sud). L'elemento sensibile è contenuto in una seconda sfera (sfera di inseguimento) e, nell'intercapedine tra le due sfere, è contenuta una soluzione di acqua e glicerina (al fine di abbassare il punto di congelamento) ed acido benzoico (per aumentare la conducibilità dell'acqua).

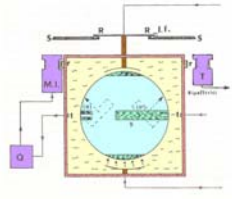
La sfera interna ha un peso che supera la spinta di circa 30 grammi, quindi il magnete intorno alla sfera contrapposto ad un altro portato dalla sfera esterna, deve, per poter mantenere in equilibrio l'elemento sensibile, esercitare un'azione tale da controbilanciare soltanto questa piccola eccedenza di peso.



Girobussola Anschutz - Microtecnica

Nella parte alta dell'elemento sensibile si trova il trugolo ad olio che è un sistema per lo smorzamento delle oscillazioni. La corrente arriva dall'elemento sensibile attraverso due calotte ed un settore circolare portati dalla sfera esterna e di fronte ai quali si trovano elementi simili portati da quella interna; la corrente, pertanto passa da calotta a calotta attraverso il liquido reso conduttibile. La sfera esterna resta sempre allineata con quella interna grazie ad un sistema, detto di inseguimento, costituito da un condensatore di cui una faccia si trova sulla sfera interna e l'altra su quella esterna ed in cui il liquido tra le sfere funge da dielettrico. Al muoversi della sfera interna, la capacità del condensatore si modifica e la sfera esterna mettendo in funzione il motore di azimut, la insegue fino a stabilire il valore iniziale di capacità.

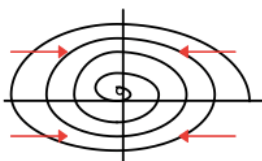
Il trugolo ad olio serve esclusivamente per lo smorzamento delle oscillazioni. Esso è costituito da un anello diviso in due parti. Queste due parti, a loro volta, contengono la stessa quantità di olio che, impedito a muoversi liberamente da una serie di paratie forate, viene a trovarsi sempre in ritardo rispetto ad una oscillazione applicata, di un quarto di periodo dell'oscillazione stessa, garantendo in questo modo lo smorzamento.



Deviazioni delle Girobussole

1. Deviazioni dovute allo smorzamento

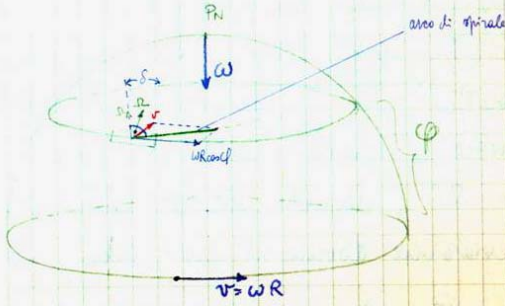
La deviazione da smorzamento è una deviazione che presentano solo quelle girobussole che utilizzano a tale scopo COPPIE VERTICALI. Infatti, a causa della presenza della coppia di smorzamento, il rotore di una girobussola Sperry non rimane inclinato, nella posizione di equilibrio, dell'angolo β , ma di un angolo leggermente inferiore. In tal modo il rotore precede verso W con una velocità γ più piccola di ω_2 , rimanendo così indietro rispetto alla direzione del nord. Tale ritardo, cresce sino a quando la coppia orientativa riappare, quindi Q segue il nord con un certo ritardo. E' ovvio che tale deviazione sia funzione della latitudine ed è facilmente compensabile spostando semplicemente la linea di fede (i valori massimi non superano i $2^\circ \div 3^\circ$ a latitudini elevate).



Deviazioni delle Girobussole

2. Deviazioni dovute al moto della nave

Si dovrebbe sapere che il valore di ω all'equatore corrisponde a $900'$. A latitudini medie corrisponderà, grossomodo, a $630'$. La velocità della nave è pertanto molto piccola, al confronto. Analizziamo pertanto le sue componenti.

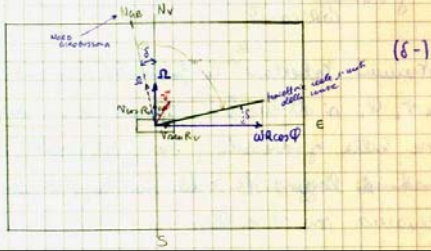


Deviazioni delle Girobussole

L'effetto di deviazione nei confronti della Ω lo eserciterà la componente della velocità $v_1 = v \cos Rv$, mentre potremo trascurare la componente $v_2 = v \sin Rv$. Il moto reale della nave sarà dato dalla composizione dei vettori $\omega R \cos \varphi$ e $v \cos Rv$. Ω tenderà a mantenersi ortogonale a questa risultante e si disporrà per Ω' , dando luogo alla deviazione δ (deviazione dovuta al moto della nave):

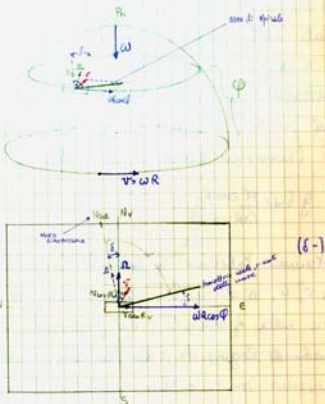
$$\text{tg } \delta = \frac{v \cos Rv}{(\omega R \cos \varphi + v \sin Rv)} \sim \frac{v \cos Rv}{900 \cos \varphi}$$

Poiché $\omega R \cos \varphi \gg v \sin Rv$, quest'ultimo termine può essere trascurato.



Deviazioni delle Girobussole

A questo punto potremmo tabellare la formula (ingresso Rv , v , φ ; uscita δ) oppure usare un correttore sulla girobussola. In questo caso, a meno che il tutto non sia già integrato, la girobussola è in grado di valutare la Rv e noi interveniamo con la latitudine e la velocità. Di norma il valore della δ è positivo con rotte meridionali (nel II° e III° quadrante) e negativo con rotte settentrionali (nei rimanenti I° e IV° quadrante), si viene così a giustificare il segno negativo nella formula sopra riportata. È la più grossa delle deviazioni e può raggiungere i $2,5^\circ \div 2,8^\circ$ (si noti che per rotta pari a 90° e 270° la deviazione va a zero).



Deviazioni delle Girobussole

3. Deviazioni Balistiche (variazione di R e v della nave)

Sono dette balistiche perché nascono e si annullano in un certo tempo. In particolare le variazioni di rotta e di velocità generano forze di inerzia anche sulla girobussola che reagisce con il moto di precessione. La deviazione balistica agisce sul giroscopio provocando una precessione spuria e variabile nel tempo. Questa sua caratteristica non ne consente la correzione con un sistema meccanico. Per eliminare tale deviazione è sufficiente dare al giroscopio un periodo di orientamento uguale di un pendolo avente lunghezza pari al raggio terrestre $T = 2\pi(R/g)^{1/2}$. Tale periodo è noto col nome di Periodo di Schuler ($T=85m$).

4. Deviazioni da Rollio e Beccheggio

similmente i movimenti di rollio e beccheggio definiscono coppie di disturbo a carattere ancora più complesso. In ogni caso le deviazioni non sono rilevanti e risultano inferiori a $0,5^\circ$ per rollio inferiore a 45° e beccheggio inferiore a 15° .

La precisione "a regime", fornita dalla girobussola correttamente installata, è dell'ordine di $\pm 0,5^\circ$ che in condizioni di mare agitato può peggiorare portandosi fino a $\pm 1^\circ$.

RIFERIMENTI

Nicoli "Navigazione Moderna" Ed. Quaderni marinari"
Capasso, Fede "Navigazione" Vol II Ed. Hoepli
Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
http://en.wikisource.org/wiki/The_American_Practical_Navigator
<http://en.wikipedia.org/>
<http://mariliberi.altervista.org/index1.html>
http://newton.ph.unito.it/lab1-II/materiale_didattico/Balestra_lab%20II_dispense/giroscopio.pdf
<http://personalpages.to.infn.it/~marocchi/Giroscopio.pdf>
http://navigaz.uniparthenoc.it/sez_nav/downloads/navii0809_vo2/volume_2_cap_1.pdf
<http://it.wikipedia.org/wiki/Giroscopio>
http://farm3.staticflickr.com/2643/3848192853_6a5246e52a_o.jpg
http://www.cosmosportal.org/files/40501_40600/40555/file_40555.gif
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/mechanics/imgnech/topp.gif>
http://25.media.tumblr.com/c4d3dbe91ed1b2c51662c2b788695e6/tumblr_mibq381wFC1qeoufo2_250.gif
<http://img708.imageshack.us/img708/2690/precessione.png>
http://decapoa.altervista.org/librodifisica/index.php?cp=09_Dinamica
<http://www.advancemement.cnet.navy.mil>
<http://www.elementares-wohnen.de/Bilder/spirale.gif>
http://www.globalsecurity.org - 14243_ch9
<http://www.leganavale.it>
<http://www.micosh.it/matteo/1024>
<http://www.nauticoartigiano.la.it>
<http://www.navis.gr>
<http://www.tokimec.co.jp>

□ NOTA INFORMATIVA

Il contenuto della presentazione comprensivo di tutti i dati, informazioni, comunicazioni, software, foto, grafici, disegni e in generale qualsiasi materiale e servizio ivi presente, ove non diversamente indicato sono di proprietà dei rispettivi autori. Il materiale è stato tratto dalla consultazione di siti web con finalità esclusivamente didattiche o di ricerca scientifica, indicando la fonte, in osservanza a quanto stabilito dalla Legge n° 633/41 e dal D.L.vo n° 169/1999.

□ ESCLUSIONE DI RESPONSABILITÀ

Il presente materiale serve per consentire al pubblico un più ampio accesso all'informazione. L'obiettivo perseguito è quello di fornire un'informazione aggiornata e precisa. Qualora dovessero essere segnalati degli errori, si provvederà a correggerli. Non si assume alcuna responsabilità per quanto riguarda il materiale contenuto. Tale materiale è costituito da informazioni di carattere esclusivamente generale che non riguardano fatti specifici relativi ad una persona o un organismo determinati. Non è sempre necessariamente esauriente, completo, preciso o aggiornato. E' talvolta collegato con siti esterni sui quali non si dispone di alcun controllo e per i quali non assume alcuna responsabilità. Non costituisce un parere di tipo professionale o legale. Va ricordato che non si può garantire che un documento disponibile in linea riproduca esattamente un testo adottato ufficialmente. Parte dei dati o delle informazioni presenti nel sito sono stati inseriti o strutturati in archivi o formati che possono non essere esenti da errori. Non si può pertanto garantire che il servizio non sia influenzato da tali problemi. La presente clausola di esclusione della responsabilità non ha lo scopo di limitare le responsabilità in violazione di disposizioni della legge nazionale applicabile, né di escluderla nei casi in cui non può essere esclusa in forza di detta legge.