

# GIROBUSSOLE

## Premesse: lo strumento

Allo stato attuale della tecnica, oltre alle storiche e tradizionali bussole magnetiche, per la determinazione della prora della nave sono impiegate soprattutto le girobussole.

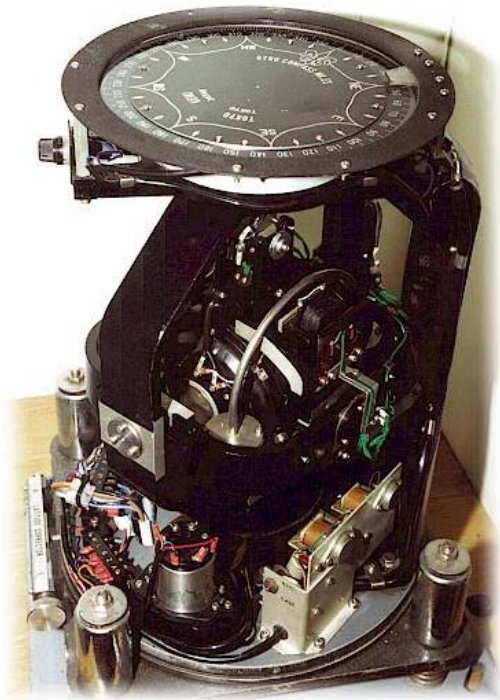


Fig. 1 Girobussola.

possibile misurare i rilevamenti di punti cospicui esterni, segnalamenti marittimi e navi in avvicinamento.

I ripetitori di girobussola sono nella maggior parte dei casi costituiti da un robusto involucro esterno stagno, di forma cilindrica, sulla cui faccia inferiore si nota il bocchettone di ingresso del cablaggio che lo collega con la girobussola madre.

La faccia superiore è costituita da una corona periferica, graduata da 0° a 360° in senso orario, che contiene un coperchio in vetro spesso, attraverso il quale si può leggere la rosa graduata interna. La tacca dello "zero" corrisponde all'orientamento dell'asse longitudinale della nave.

Al suo interno sono contenuti i servo meccanismi capaci di muovere con precisione la rosa graduata interna, "ripetendo", rispetto ad una linea di fede fissa coincidente con lo zero della corona graduata esterna, il valore di la prora istantanea rilevata dalla girobussola madre.

La linea immaginaria dal centro della rosa alla linea di fede rappresenta l'asse longitudinale della nave ed è parallela all'analogica linea immaginaria interna alla girobussola madre.

La rosa, asservita alla girobussola madre, è graduata da 0° a 360° in senso orario; lo zero corrisponde alla direzione del Nord.

Per consentire una maggiore precisione delle letture, all'interno della rosa graduata, vi è un'ulteriore rosa graduata, ad essa concentrica, suddivisa da 0° a 10° che compie un giro completo ogni 10° di variazione della Prora con rapporto 36:1.

La rosa del ripetitore, asservita alla girobussola madre, varia la sua posizione rispetto alla linea di fede seguendo fedelmente le variazioni di prora della nave.

Se la nave ha la prora orientata verso Nord, lo zero della rosa sarà posizionato in corrispondenza della linea di fede e la lettura sarà "zero".

Nel caso della figura 3 la lettura della prora è (fidatevi!) 209°,8 come indicato dalla linea di fede rappresentata dalla sottile linea nera verticale.

Il loro sviluppo e diffusione risalgono ai primi decenni del secolo scorso. Per il costo abbastanza elevato, sono impiegate soprattutto su navi e imbarcazioni da pesca o da diporto di maggior valore e tonnellaggio, ove si può contare su una maggiore stabilità di piattaforma e disponibilità di alimentazione elettrica sicura e stabile.

Data la vitale importanza del dato di prora e per il fatto che la girobussola, come tutte le apparecchiature di maggiore complessità, non è esente da possibilità di avaria, le navi sono spesso dotate per sicurezza di una seconda girobussola.

In ogni caso resta obbligatoria la disponibilità di una bussola magnetica (di riserva), vista la quasi impossibilità d'avaria, la sua robustezza e la sua indipendenza dall'alimentazione elettrica di bordo.

La girobussole sono generalmente installate in prossimità del centro di carena, quindi in basso sotto la linea di galleggiamento, a centro nave, per rendere minime le influenze sul loro funzionamento, dovute alle accelerazioni longitudinali/laterali/verticali dei moti di rollio e beccheggio.

Come detto sopra, la girobussola non è installata in posizione comoda per le esigenze della plancia e di altri servizi.

Per questo motivo il dato di prora istantanea, misurato dalla girobussola, è trasmesso per mezzo di una rete dedicata (analogica o digitale) ad una serie di ripetitori di girobussola, dedicati al governo della nave e alla condotta della navigazione (alette di plancia, timoneria, stazione di governo di emergenza, varie strumentazioni di calcolo, ecc.).

I ripetitori posizionati sulle alette di plancia sono impiegati soprattutto per il controllo della navigazione. La loro posizione rispetto alle sovrastrutture, consente un ampio campo di osservazione in tutte le direzioni e rende

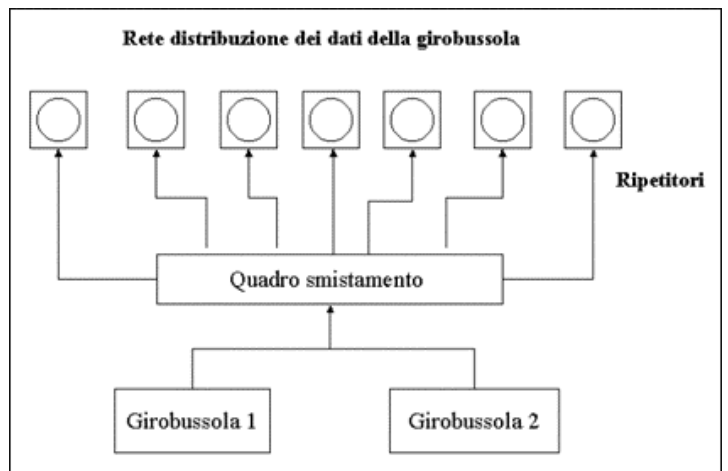


Fig. 2 Ripetitori di girobussola.

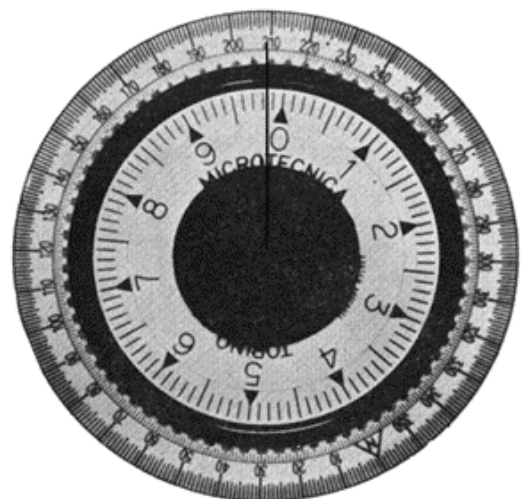


Fig. 3 Rosa della girobussola.

## GIROBUSSOLE

Se la nave accosta a dritta di  $90^\circ$  verso Est (senso orario), la rosa ruota all'interno del ripetitore in senso antiorario e segue costantemente la rotazione della nave, fermandosi con l'indicazione di  $299^\circ,8$  in corrispondenza della linea di fede.

Continuando l'accostata a dritta fino a Est, la rosa continuerà a ruotare in senso antiorario fino a che l'indicazione di  $090^\circ$  si troverà in corrispondenza della linea di fede. Qualsiasi prora intermedia darà un'indicazione corrispondente sulla rosa rispetto alla linea di fede.

Accostando a sinistra, vedremo la rosa graduata muoversi in senso orario rispetto alla linea di fede ed anche in questo caso potremo leggere sulla rosa, in corrispondenza della linea di fede, la prora istantanea della nave.

Guardando dal centro della rosa graduata verso l'indicazione  $000^\circ$  si avrà costantemente l'indicazione della direzione del Nord.

In pratica possiamo immaginare che la rosa sia fissa nello spazio, con il suo "zero" costantemente orientato verso il punto cardinale Nord, mentre la nave, materializzata dalla linea di fede, le ruota intorno al variare della prora.

Intuitivamente il timoniere, osservando la graduazione sulla rosa, governa la nave in modo da far spostare la linea di fede (che rappresenta la nave) verso la "prora ordinata" ed una volta raggiuntala, può seguirla mantenendo la linea di fede sul valore di prora con minime correzioni del timone.

La prora girobussola viene inviata anche ad altri apparati di bordo, che utilizzano tale dato per il calcolo di altre grandezze fisiche, la cui misura è influenzata dalle variazioni di prora della nave.

In particolare il dato di prora girobussola viene trasmesso ai sistemi di rappresentazione dei radar di bordo, in modo da poter disporre di una rappresentazione delle "risposte" del radar sempre riferita al Nord, indipendentemente dalla prora assunta dalla nave.

I ripetitori di girobussola delle alette di plancia sono dotati di una sospensione cardanica che li rende indipendenti dal rollio e beccheggio. In tal modo la faccia superiore del ripetitore e la sottostante rosa graduata saranno sempre parallele al piano orizzontale.

Un traguardo scorrevole, vincolato e concentrico alla corona periferica graduata esterna, può essere ruotato intorno all'asse di rotazione della rosa, (quindi intorno ad un asse verticale) consentendo di "traguardare" gli oggetti esterni e di leggere attraverso un prisma a  $45^\circ$  il valore del rilevamento sulla sottostante rosa graduata.

Quando non sono disponibili ripetitori di girobussola sulle alette di plancia, è ancora possibile misurare il rilevamento di oggetti esterni, mediante un grafometro.

Si tratta di un cerchio azimutale fisso graduato da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , dotato di traguardo scorrevole, vincolato e concentrico al cerchio stesso, che consente di misurare il rilevamento polare  $r$ , che è l'angolo orizzontale misurato in senso orario a partire dalla prora della nave (cioè dallo "zero" del cerchio azimutale) fino all'oggetto da rilevare.

Per misurare il rilevamento di un oggetto esterno con il grafometro è necessario leggere la prora istantanea (ad esempio sul ripetitore del timoniere) contemporaneamente alla lettura del rilevamento polare.

Il valore corrispondente del rilevamento è dato dalla relazione:

$$Rilv = Pv + \rho$$

### Il giroscopio

Il principio di funzionamento della girobussola si basa essenzialmente sul giroscopio. Una trattazione rigorosa dell'argomento richiederebbe un richiamo alla "meccanica razionale" con l'impiego di equazioni e notazioni formali complesse che non è opportuno trattare in questo contesto.

Si osservi che si parla di girostato allorché il dispositivo è libero e ruota con notevole costanza di velocità angolare, di giroscopio quando lo stesso dispositivo è munito di sospensione cardanica ed acquista delle proprietà.

In ogni caso, dovrebbe essere noto che, qualunque massa in rotazione intorno ad un asse acquisisce determinate proprietà, dette proprietà giroscopiche (descritte più avanti). Qualunque massa rotante progettata e montata in modo da sfruttare questa proprietà, costituisce un giroscopio.

Un giroscopio, schematicamente rappresentato in figura 4, consiste di un disco di massa notevole rotante ad alta velocità (almeno 20.000 giri al minuto, rpm) intorno all'asse di rotazione X, montato su un sistema cardanico che gli permette libertà di movimento intorno ad un asse verticale Z e ad un asse orizzontale Y. I tre assi, ortogonali uno rispetto all'altro, si incontrano nel baricentro del sistema, cosicché il disco (o rotore), prima di essere messo in rotazione intorno all'asse X, può essere posto a giacere in qualunque piano nello spazio. Quando un giroscopio, com'è il caso di quello appena descritto, è libero di ruotare intorno ai suoi tre assi, si dice che ha tre gradi di libertà.

Se si blocca lo snodo cardanico intorno ad uno dei due assi Z o Y, al giroscopio rimangono due gradi di libertà: come spiegato più avanti, la soppressione di un grado di libertà serve per sfruttare la precessione del giroscopio.

Nel caso in cui fossero bloccati entrambi gli snodi sugli assi Z e Y, il giroscopio rimarrebbe con un solo grado di libertà: è il caso dell'elica, della Terra, della ruota della bicicletta, ecc., che costituiscono altrettanti sistemi giroscopici ad un solo grado di libertà, soggetti a movimenti di precessione ogni volta che gli assi di rotazione subiscono spostamenti.

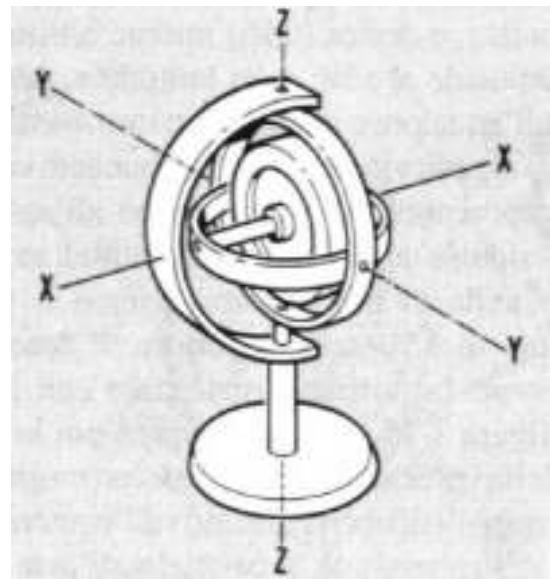


Fig. 4 Giroscopio.

# GIROBUSSOLE

## Le proprietà del giroscopio

Le proprietà del giroscopio sono:

1. **La rigidità o inerzia giroscopica:** è la proprietà fondamentale del giroscopio, grazie alla quale l'apparato può essere proficuamente impiegato in molteplici applicazioni navali e non. La rigidità giroscopica è una conseguenza dell'inerzia accumulata dal disco, proporzionale alla sua massa e alla sua velocità. Grazie alla rigidità, il giroscopio a tre gradi di libertà, una volta messo in rotazione, si mantiene nello stesso piano in cui si trovava al momento dell'inizio della rotazione, indipendentemente dalla posizione assunta dal sistema. In altre parole, una volta messo in rotazione il disco, si può prendere il sistema di figura 4, capovolgerlo, coricarlo, farlo roteare in qualsiasi direzione, osservando che, nel frattempo, l'asse di rotazione X rimane costantemente rivolto nella direzione iniziale.

2. **La Precessione:** quando, come illustrato in figura 5a, il funzionamento di un giroscopio a tre gradi di libertà è perturbato da una forza esterna che tenta di spostare il disco dal piano in cui giace, spingendolo a ruotare intorno all'asse Y (o all'asse Z), il disco reagisce con una rotazione intorno all'asse Z (o all'asse Y), detta rotazione di precessione, avente senso tale da portare la rotazione del disco intorno all'asse X, in concomitanza con quella indotta dalla forza perturbatrice intorno all'asse Y. La precessione può, in un certo senso, essere vista come una "difesa" del giroscopio nei confronti della forza perturbatrice.

La precessione, infatti, cessa nel momento in cui il piano di rotazione del disco si porta a coincidere col piano in cui agisce la forza perturbatrice, cosicché la forza stessa, non avendo più componenti devianti, può solo accelerare il moto di rotazione del disco.

Coppia di disturbo e di reazione sono legate fra loro dalla relazione seguente:

$$\gamma = C/(I \Omega)$$

dove, rispettivamente, C esprime il momento determinato dall'azione di "disturbo" introdotta (per esempio la coppia di forze F e -F di figura 5b),  $\gamma$  rappresenta la reazione a tale azione, I è il momento di inerzia del giroscopio, mentre  $\Omega$  rappresenta la velocità angolare del giroscopio.

3. **La deriva giroscopica.** E' una precessione indesiderata, in genere di lieve entità, ma costante, cui vanno soggetti i giroscopi sia intorno all'asse Y sia all'asse Z, provocata dalle piccole forze che si generano internamente al sistema a causa delle inevitabili, se pur minime, imperfezioni costruttive, quali sbilanciamenti del disco, disallineamenti degli assi, e attriti sui sostegni dell'asse di rotazione e degli snodi.

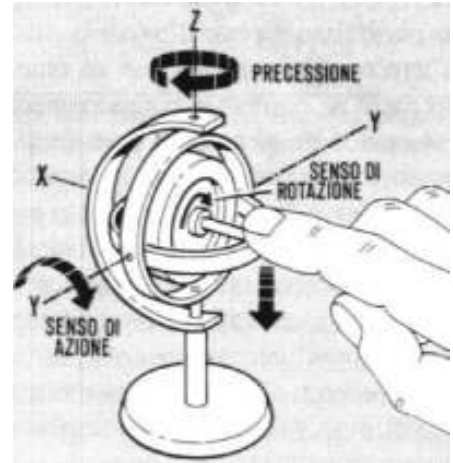


Fig. 5a Precessione.

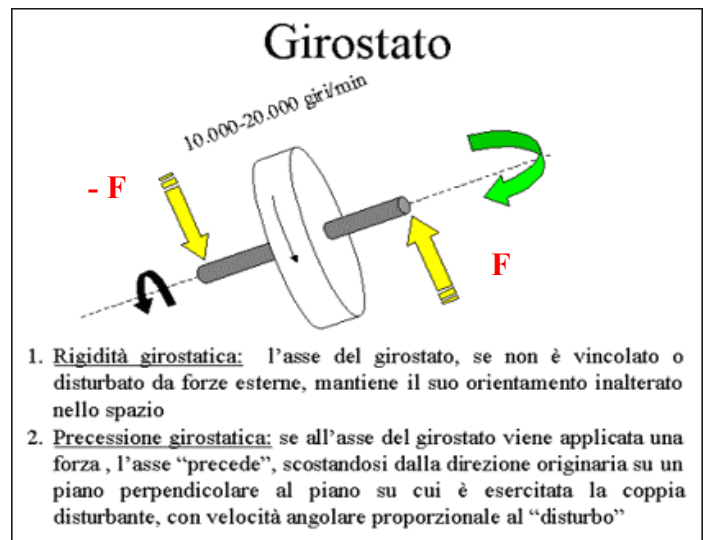


Fig. 5b Precessione.

## Il giroscopio libero e zavorramento

Nella figura 6 è riportata una rappresentazione polare della terra proiettata sul piano dell'Equatore; vengono indicati:

- il senso di rotazione della Terra visto dal polo Nord
- l'Equatore rappresentato dalla circonferenza
- un punto P sull'Equatore con indicata la verticale locale (in tratteggio) e la traccia del piano orizzontale (linea continua).
- lo stesso punto P, spostato nella posizione P' dopo circa 4 ore, con analogia indicazione della verticale locale e del piano orizzontale.
- la figura schematizzata di un giroscopio "libero" con l'asse inizialmente orizzontale e giacente sul piano dell'Equatore, che mostra come il giroscopio mantenga inalterato l'orientamento del suo asse, nonostante la rotazione della Terra.

La rotazione diurna della Terra, intorno al suo asse, comporta quindi una continua variazione della verticale

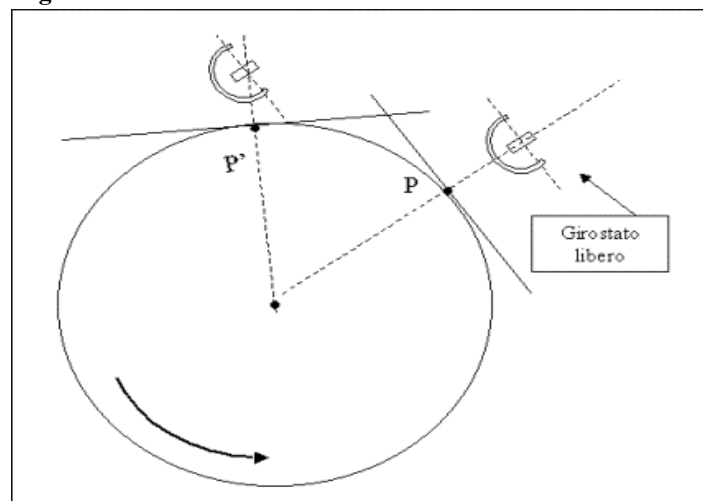


Fig. 6 Giroscopio libero.

# GIROBUSSOLE

locale, rispetto ad assi di riferimento fissi nello spazio (solo ai poli, la rotazione della Terra non induce una variazione della verticale locale, perché coincidente con l'asse terrestre, mentre tale variazione è massima all'Equatore).

Nella girobussola, all'asse del giroscopio è applicata una massa pendolare che, mantenendosi sempre allineata con la verticale locale, variabile per effetto della rotazione terrestre, lo "disturba" continuamente, esercitando una coppia di forze che lo "forza" a mantenersi parallelo al piano orizzontale.

L'asse del giroscopio, sollecitato dalla coppia generata dalla massa pendolare, reagisce ruotando sul piano perpendicolare a quello su cui è esercitata la coppia stessa (precessione giroscopica).

Il piano sul quale avviene il movimento dell'asse del giroscopio, per effetto della precessione giroscopica, è quello orizzontale, che tuttavia varia continuamente il suo orientamento nello spazio per effetto della rotazione terrestre.

Nell'esempio della figura 7, che considera un punto situato sull'Equatore, il giroscopio, forzato a rimanere sul piano orizzontale dalla massa pendolare e sollecitato continuamente a precedere per effetto del variare della verticale, può trovare una posizione di equilibrio solo allineandosi con la direzione del Nord - Sud (in pratica parallelo all'asse terrestre) nella quale non subisce la minima azione di disturbo per effetto della rotazione della Terra.

Nella figura, azionata la girobussola in posizione P, il giroscopio comincia ad orientarsi; nella successiva posizione P' si mostra il giroscopio quasi orientato verso Nord; nelle successive posizioni P'' e P''' il giroscopio è ormai orientato verso Nord e si manterrà orientato in tale posizione nel tempo, grazie alla sollecitazione provocata dalla rotazione terrestre sul sistema massa

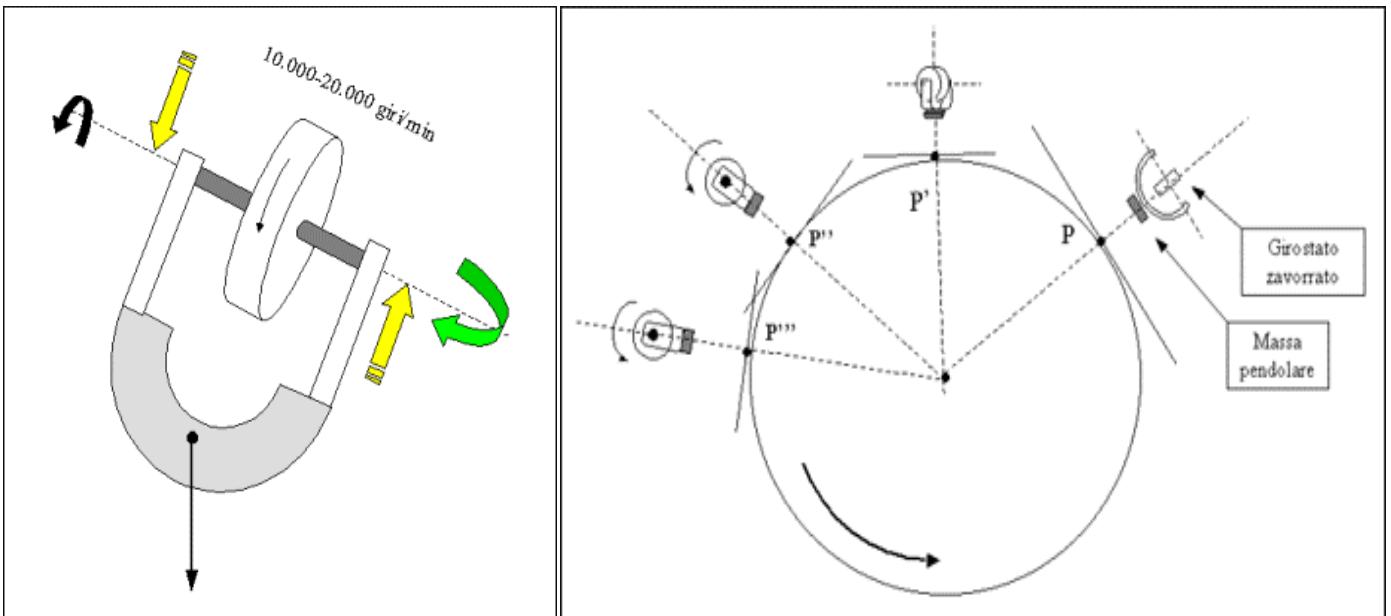


Fig. 7 Giroscopio zavorrato.

pendolare - giroscopio vincolato.

La coppia disturbante è massima all'Equatore e nulla ai poli, dove la girobussola non può funzionare.

Ad una latitudine intermedia, la posizione di equilibrio del giroscopio sarà sempre ugualmente verso Nord, poiché il giroscopio assumerà una velocità angolare di precessione che compenserà automaticamente la continua variazione dell'orientamento nello spazio della linea osservatore - punto cardinale Nord, per effetto della rotazione della Terra.

Opportuni sensori interni alla girobussola, senza esercitare alcun disturbo sul giroscopio, rilevano la posizione dell'elemento sensibile, rispetto alla parte fissa dell'apparecchiatura vincolata allo scafo della nave, fornendo così il dato di Prora misurato dalla girobussola che è trasmesso ai ripetitori.

Entrando nel dettaglio, si osserva che, impedendo al giroscopio (rotante con velocità angolare  $\Omega$ ) di uscire dal piano dell'orizzonte, cioè bloccando il suo moto in altezza, possiamo fargli sentire la componente  $\omega_1$ , componente orizzontale della rotazione terrestre. In particolare risulta:

$$C = I \Omega \omega_1 = I \Omega \omega \cos \varphi$$

Dalla relazione osserviamo che, ancora una volta, la bussola ha un ottimo funzionamento all'equatore e pessimo ai poli.

Ricordiamo, infatti che, se  $\omega$  rappresenta la velocità angolare della Terra, essa è sempre scomponibile in due componenti:

$$\omega_1 = \omega \cos \varphi$$

$$\omega_2 = \omega \sin \varphi$$

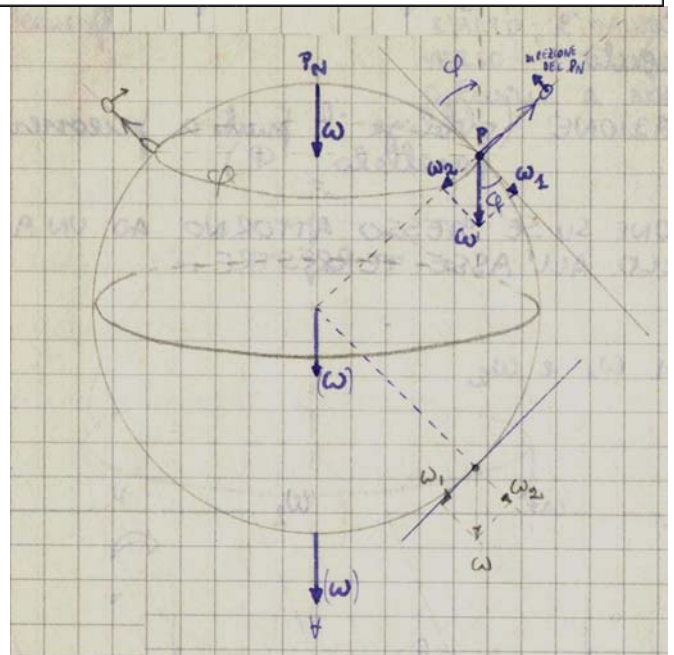


Fig. 8 Scomposizione di  $\omega$ .

## GIROBUSSOLE

che, come si vede (figura 8), sono funzione della latitudine. Delle due componenti, la prima, è situata sull'asse nord – sud ed è quella responsabile del movimento del moto in altezza dell'orizzonte. La seconda componente, situata sull'asse verticale, definisce il moto in azimuth cioè fa ruotare l'orizzonte verso ovest. Per i nostri scopi, interessa solo la prima delle due.

Si osservi che per  $\varphi = 90^\circ$   $\omega_1 = 0$  mentre  $\omega_2 = \omega$ : non ho moto in altezza degli astri, ma solo moto in azimuth (sfera parallela). Per  $\varphi = 0^\circ$ , invece,  $\omega_1 = \omega$  e  $\omega_2 = 0$ : non c'è moto in azimuth, ma solo in altezza gli astri sorgono ortogonalmente all'orizzonte (sfera retta).

A bordo delle navi, non essendo possibile vincolare il giroscopio al piano dell'orizzonte, si procede "zavorrandolo" (o antizavorrandolo), cioè ponendo un peso al di sotto oppure al di sopra del carter. In questo modo egli sentirà in ogni caso la variazione delle verticale cui sono soggetti tutti i corpi sulla Terra. Nel primo caso il giroscopio punterà a Sud, nel secondo a Nord.

Nella pratica, all'avviamento, il giroscopio si orienta dopo aver effettuato una serie di elongazioni progressivamente smorzate intorno alla direzione del Nord.

### Giroscopio zavorrato

Quando al carter del giroscopio applico un peso P, ottengo un giroscopio zavorrato a tre gradi di libertà. Questa soluzione è stata trovata per il fatto che a bordo è impossibile vincolare il giroscopio sul piano dell'orizzonte a causa dei movimenti continui della nave.

Supponiamo di azionare il giroscopio con  $\Omega$  puntato verso est; il giroscopio non è vincolato all'orizzonte e non sente assolutamente l'azione di  $\omega_1$ . Ammettiamo a questo punto che l'orizzonte ruoti. Se prima le due forze P e -P non mi davano alcun effetto, quando l'orizzonte ruota, per esempio dell'angolo  $\beta$  (a causa di  $\omega_1$ ), ne scaturisce una coppia C uscente. E' possibile calcolare tale momento a partire dalla determinazione del braccio:

$$b = d \sin \beta$$

da cui:

$$C = p d \sin \beta$$

Pertanto per far sentire la rotazione terrestre ad un giroscopio quando non posso vincolarlo all'orizzonte, basta collegargli un peso, in modo che senta la variazione della verticale.

Poiché il giroscopio possiede tre gradi di libertà  $\Omega$  precede su C (con una rotazione rappresentata dal vettore  $\gamma$ ), secondo la:

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

Visto che C è diretta verso sud, allora il giroscopio zavorrato va verso sud o, meglio, dopo una serie di oscillazioni rimarrà puntato in tale direzione.

### Giroscopio antizavorrato

Quando il peso, anziché sotto viene posto sopra il carter del giroscopio, questi si dice antizavorrato. Ovviamente un giroscopio di questo tipo va a nord.

### Smorzamento del giroscopio antizavorrato

Innanzitutto consideriamo nulli, almeno inizialmente gli effetti dovuti all'attrito. Consideriamo un giroscopio con  $\Omega$  puntato verso est. All'inizio del fenomeno la coppia  $C = p d \sin \beta$  è nulla perché  $\beta = 0$ . Il rotore si muoverà in maniera apparente lungo l'equatore celeste secondo il principio dell'inerzia giroscopica. Seguendo però l'equatore astronomico,  $\Omega$  si allontanerà dal piano dell'orizzonte andando ad incontrare così valori sempre più grandi di  $\beta$  i quali creano coppie di orientamento via via maggiori e quindi  $\Omega$ , sentendo l'attrazione a nord, comincia a precedere lentamente in tale direzione, uscendo dal piano equatoriale. I valori di  $\beta$ , a causa di  $\omega_1$ , che abbatte continuamente l'est, diventano tali da attirare intensamente  $\Omega$  verso nord. Vista da nord, la traiettoria del giroscopio è un'enorme ellisse. In realtà questo discorso è puramente teorico. In presenza degli attriti, la traiettoria vera seguita dal giroscopio sarà una spirale che porta  $\Omega$  su un punto O non necessariamente coincidente con N (tale condizione si ottiene se le tangenti per i punti A e B di figura 10 sono parallele). Anche con gli attriti è necessario troppo tempo affinché il

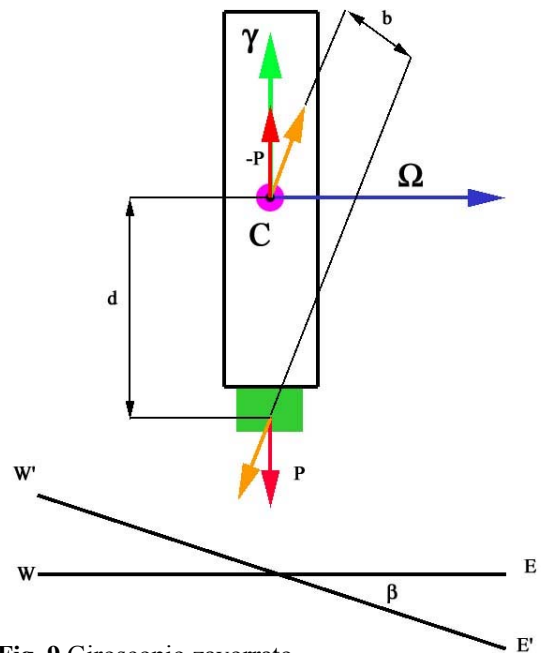


Fig. 9 Giroscopio zavorrato.

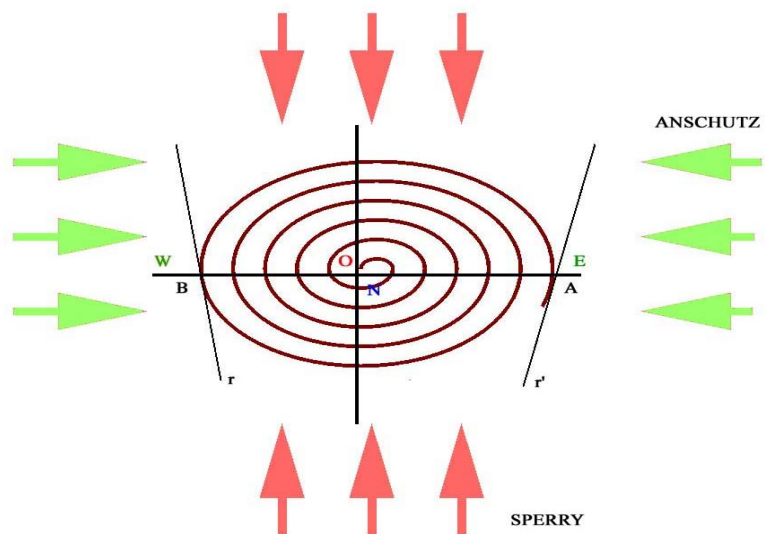


Fig. 10 Smorzamento e fattore di smorzamento.

## GIROBUSSOLE

giroscopio punti verso nord (circa 24 ore). E' pertanto necessario introdurre delle forze che lo inducano a farlo. Si introduce cioè il cosiddetto fattore di smorzamento, definito come il rapporto tra l'ampiezza di una semi oscillazione e quella della semi oscillazione successiva (il valore più ricorrente è 3, figura 10). Il periodo di oscillazione medio smorzato è così di circa 90 minuti. Lo smorzamento può essere effettuato agendo con coppie verticali (Anschütz) oppure orizzontali (Sperry).

Si osservi infine, che, una volta arrivato in meridiano, il giroscopio mantiene  $\Omega$  puntato verso il punto O ( $\neq N$ ) ed è quindi inclinato rispetto al piano orizzontale di un angolo  $\beta$ . In tale maniera il peso P definirà una nuova coppia la quale soddisfa alla relazione:

$$\gamma = pd \sin\beta_0 / I\Omega = \omega \sin\varphi$$

e, quindi l'estremità del rotore si muoverà insieme al nord (infatti tale coppia ha il momento orientato verso W ed è di valore tale da attirare  $\Omega$  con la stessa velocità con cui il nord ruota rispetto all'asse verticale; poiché tale movimento è pari ad  $\omega_2$  l'estremità del rotore si muoverà assieme al nord).

Il tempo necessario alla girobussola, per andare a regime entro valori che si discostano accettabilmente dalla vera direzione del Nord, è di circa un'ora.

### Girobussola

Le parti fondamentali di una girobussola sono:

#### 1. Bussola madre

- 1.1. Girosfera o elemento sensibile: contiene il giroscopio o i giroscopi a seconda del modello.
- 1.2. Elemento fantasma o asservito: è il mortaio che contiene la parte sensibile, la rosa dei venti e quella d'azimut.
- 1.3. Sostegno: è la parte strutturale connessa alla nave che comprende i supporti cardanici e la linea di fede.
- 1.4. Dispositivo di smorzamento: è la parte di elemento sensibile che concorre allo smorzamento delle oscillazioni.

2. Sistema di inseguimento e quadro di amplificazione: è il sistema che concorre all'allineamento tra elemento fantasma ed elemento sensibile.

3. 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.

I modelli più celebri sono invece:

#### 1. Sperry

E' una bussola costituita da un solo 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  $\Omega$  precede spostandosi verso nord; si tratta perciò di un giroscopio antizavvato (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.

#### 2. 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. 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 di spinta (il giroscopio è perciò

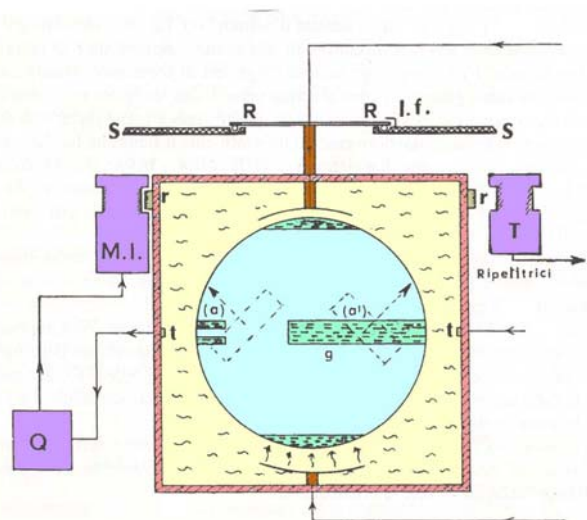


Fig. 11 Girobussola Anschütz.

## GIROBUSSOLE

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.

Nella parte alta dell'elemento sensibile si trova il truogolo 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 truogolo 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

Si distinguono le seguenti deviazioni:

- 1) Deviazioni dovute a smorzamento: la deviazione da smorzamento è una deviazione che presentano solo le 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  $\beta_0$ , ma di un angolo leggermente inferiore. In tal modo il rotore precede verso W con una velocità  $\gamma$  più piccola di  $\omega_2$ , rimanendo così indietro rispetto alla direzione del nord. Tale ritardo, cresce sino a quando la coppia orientativa riappare, quindi  $\Omega$  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).

- 2) Deviazioni dovute al moto della nave: si dovrebbe sapere che il valore di  $\omega$  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. L'effetto di deviazione nei confronti della  $\Omega$  (figura 12) lo eserciterà la componente della velocità  $v_1 = v \cos R_v$ , mentre potremo trascurare la componente  $v_2 = v \sin R_v$ . Il moto reale della nave sarà dato dalla composizione dei vettori  $\omega R \cos \varphi$  e  $v \cos R_v$ .  $\Omega$  tenderà a mantenersi ortogonale a questa risultante e si disporrà per  $\Omega'$ , dando luogo alla deviazione  $\delta$  (deviazione dovuta al moto della nave):

$$\operatorname{tg} \delta = -v \cos R_v / (\omega R \cos \varphi + v \sin R_v)$$

Poiché  $\omega R \cos \varphi \gg v \sin R_v$ , quest'ultimo termine può essere trascurato. A questo punto potremmo tabellare la formula (ingresso  $R_v$ ,  $v$ ,  $\varphi$ ; uscita  $\delta$ ) 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  $R_v$  e noi interveniamo con la latitudine e la velocità. Di norma il valore della  $\delta$  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.

E' la più grossa delle deviazioni e può raggiungere i  $2,5^\circ \div 2,8^\circ$  (si noti che per rotta pari a  $90^\circ$  e  $270^\circ$  la deviazione va a zero).

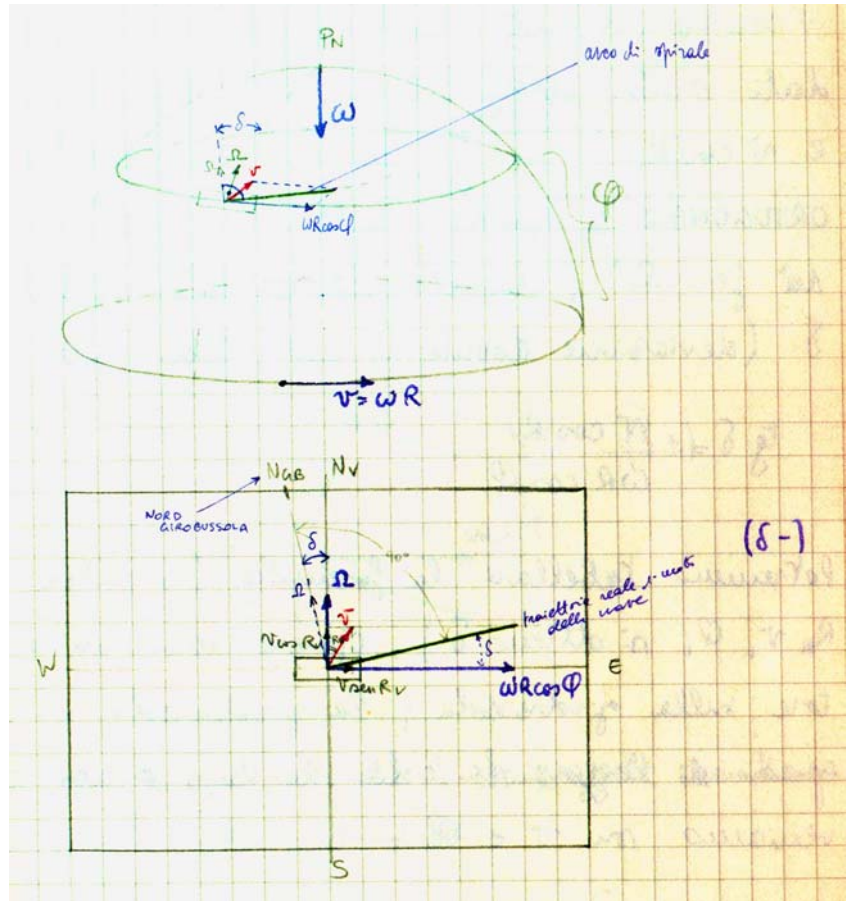


Fig. 12 Deviazione dovuta al moto della nave.

## **GIROBUSSOLE**

- 3) Deviazioni balistiche (variazioni di rotta e velocità): 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.
- 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  $45^\circ$  e beccheggio inferiore a  $15^\circ$ .

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 Bibliografici**

- Capasso, Fede "Navigazione" Vol II Ed. Hoepli
- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Nicoli "Navigazione moderna" Ed. Quaderni marinari
- [www.advancement.cnet.navy.mil](http://www.advancement.cnet.navy.mil)
- [www.elementares-wohnen.de/Bilder/spirale.gif](http://www.elementares-wohnen.de/Bilder/spirale.gif)
- [www.globalsecurity.org](http://www.globalsecurity.org) - 14243\_ch9
- [www.leganavale.it](http://www.leganavale.it)
- [www.micosh.it/matteo/1024](http://www.micosh.it/matteo/1024)
- [www.nauticoartiglio.lu.it](http://www.nauticoartiglio.lu.it)
- [www.navis.gr](http://www.navis.gr)
- [www.tokimec.co.jp](http://www.tokimec.co.jp)