

Franco Quaranta

# Principi di Navigazione

Napoli, 2002

## **Sommario**

Premessa	pag. 3
Introduzione e definizioni	pag. 3
La bussola magnetica	pag. 4
La bussola giroscopica	pag. 5
Geometria terrestre	pag. 6
Cenni di dinamica terrestre	pag. 9
Direzioni e venti	pag. 9
Sistemi di riferimento per la determinazione della rotta	pag. 12
Bibliografia	pag. 13

## Premessa

Le note che seguono forniscono alcune informazioni propedeutiche allo sviluppo dell'analisi delle apparecchiature asservite alla sicurezza ed all'efficienza della navigazione; esse, quindi, non costituiscono una trattazione completa sull'argomento (esaminato, peraltro, in modo esauriente in una gran quantità di testi) ma permettono di stabilire la base di conoscenze necessaria per affrontare senza problemi tutti gli aspetti coinvolti nello studio delle strumentazioni di bordo.

In bibliografia sono riportati alcuni titoli utili all'approfondimento di concetti che, in questa sede, sono esposti in modo sintetico.

## Introduzione e definizioni

Nella navigazione occorre affrontare due problemi peculiari:

- individuazione del punto ove si trova la nave (*punto nave*);
- individuazione della disposizione in cui si trova la nave (*angolo di proravia*).

Il punto nave può essere eseguito in vari modi; in genere, si distinguono i *metodi approssimati* (basati su strumenti e tecniche non ad alta precisione) dai *metodi precisi*.

Il classico metodo approssimato per l'individuazione del punto consiste nella cosiddetta *stima*: con riferimento alla figura 1, si definisce *angolo di rotta* (o *prua*) vera  $R_v$  l'angolo individuato dalla intersezione tra il vettore velocità della nave  $v$  ed il *meridiano locale* (rappresentato dalla retta verticale).

Per determinare la rotta della nave si parte dalla conoscenza del punto  $P_i$ , indicativo della posizione in cui si stima la nave all'inizio dell'operazione. Stabilito un intervallo temporale  $Dt$ , si calcola, in genere, tre volte l'angolo di rotta ottenendo tre valori  $R_1, R_2$  e  $R_3$  la cui media  $a$  viene considerata *angolo di rotta stimato*; la ripetizione della stima dell'angolo viene effettuata per migliorare l'esito della misura.

In realtà, gli angoli  $R_1, R_2$  e  $R_3$  sono rilevati con l'aiuto di una *bussola* per cui risulteranno inevitabilmente diversi da quelli reali; l'angolo letto dalla bussola è infatti quello compreso tra il meridiano locale e l'asse longitudinale della nave. Ciò vuol dire che soltanto se il vettore  $v$  è complanare con il piano diametrale della nave l'angolo letto con la bussola ( $P_v$ ) coincide con la prora vera  $R_v$  (a meno, naturalmente dell'errore di misura); ma questa situazione non si

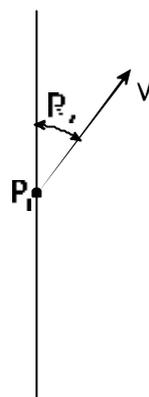


figura 1

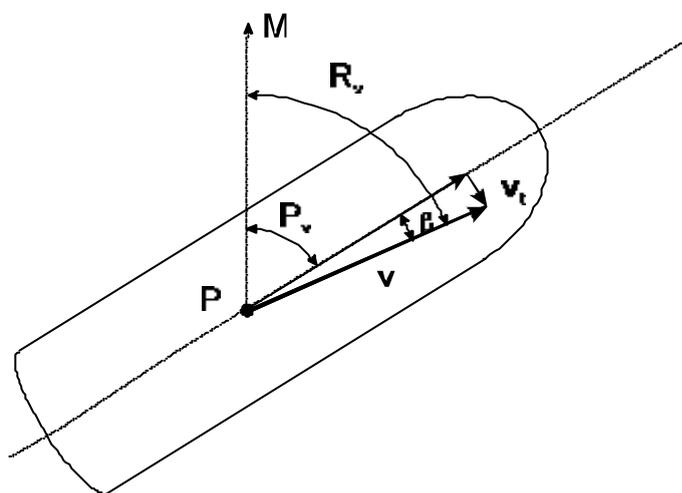


figura 2

verifica nella maggioranza dei casi per effetto dei cosiddetti fenomeni di *deriva* e *scarroccio*<sup>1</sup> per cui nasce una deviazione tra l'angolo di bussola e la prora vera (figura 2).

Se lo sbandamento è dovuto a scarroccio, il relativo angolo non è praticamente determinabile mentre se dovuto a deriva, l'angolo **b** è apprezzabile attraverso sistemi (in genere, piuttosto complessi) che danno il vantaggio di permettere il calcolo della prora vera attraverso l'espressione:

$$R_v = P_v + b$$

Conoscendo la rotta, se è noto il valore medio della velocità della nave  $v_m$  (determinabile normalmente con i *solcometri* di bordo), si può determinare la posizione occupata dalla nave una volta trascorso il tempo  $\Delta t$ , utilizzando la semplice espressione:

$$\overline{P_i P_{i+1}} = v_m \Delta t$$

Così, la retta rappresentativa della rotta apparirà come in figura 3.

Accanto a quelli approssimati (che rivestono un'importanza maggiore di quella che si potrebbe attribuire loro a prima vista per effetto della estrema semplicità che li caratterizza e la conseguente applicabilità in condizioni di emergenza o quando una stima non precisissima può essere ritenuta accettabile), esistono i cosiddetti *metodi precisi* per la determinazione del punto nave che si basano su sistemi più o meno sofisticati che possono essere elencati come segue:

- *navigazione costiera*
- *navigazione astronomica*
- *navigazione satellitare*
- *navigazione inerziale*

La *navigazione costiera* sfrutta semplicemente alcuni punti fissi di terra opportunamente rilevati e conosciuti mentre quella *astronomica* permette di determinare la rotta attraverso l'uso di un *sestante*<sup>2</sup>, di un cronometro e della carta nautica delle zone battute.

La *navigazione satellitare* sfrutta particolari ricevitori di bordo che ricevono, via radio, le indicazioni dalle quali costruire il punto da un satellite in orbita.

La *navigazione inerziale*, infine, richiede la presenza di sofisticate piattaforme stabilizzate giroscopicamente la cui complessità (ed il conseguente costo) ne confina, in genere, l'uso alle applicazioni militari.

### **La bussola magnetica**

La bussola magnetica è lo strumento tipico di rilevazione dell'angolo di rotta di una nave e deve la sua diffusione (è presente su qualsiasi unità navigante) all'estrema semplicità di realizzazione, alla capacità di funzionare senza necessità di alimentazione, all'utilizzabilità rapida ed efficace come strumento di emergenza in caso di avaria degli altri sistemi di

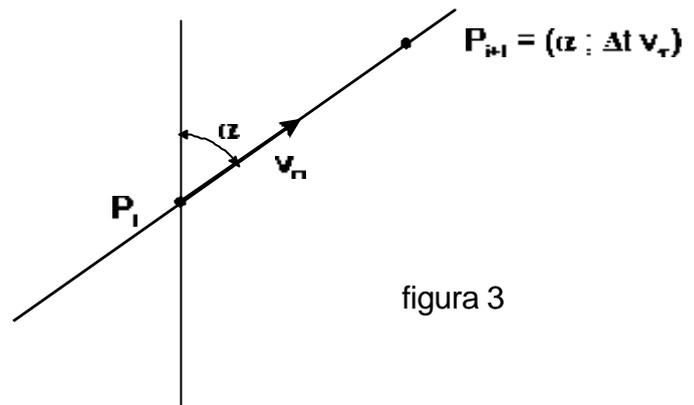


figura 3

<sup>1</sup> Gli effetti di deriva e scarroccio sono dovuti alla presenza di una componente trasversale della velocità della nave  $v_t$ , che genera una deviazione dal suo avanzamento secondo l'asse longitudinale; in generale, la deriva si ritiene causata dall'azione delle correnti e lo scarroccio da quella dei venti.

<sup>2</sup> Il sestante è presente a bordo di qualsiasi nave in quanto, in caso di avaria degli altri strumenti di bordo, con esso, se sono visibili le costellazioni, è possibile effettuare la navigazione astronomica che si basa esclusivamente sulle capacità degli ufficiali di bordo addetti alla navigazione.

rilievo, caratteristica, quest'ultima, che ne rende opportuna - e, praticamente, sempre obbligatoria - la presenza a bordo.

È noto che, per effetto della presenza di materiale ferroso nelle viscere del nostro pianeta, esiste un campo magnetico il cui asse è pressoché coincidente con quello di rotazione. Ciò permette di effettuare misure di rotta identificando la prua vera (angolo di inclinazione della traccia del piano diametrale della nave sul galleggiamento con il meridiano locale) con la *prua magnetica*  $P_{vm}$  (angolo tra la traccia del piano diametrale e quella dell'asse magnetico). La bussola magnetica effettua proprio una stima della posizione del meridiano magnetico in quanto il suo *equipaggio mobile* (comprendente il quadrante con la rosa dei venti e la *linea di fede* ossia la direzione N-S dell'asse magnetico) si posiziona con la linea di fede lungo la direzione dell'asse magnetico locale. L'angolo compreso tra la linea di fede e la *linea di riferimento* (coincidente con la posizione dell'asse longitudinale della nave) fornisce la stima della prua magnetica.

Per ciascun punto della superficie terrestre esiste, però, una differenza di posizione tra asse geografico di rotazione ed asse magnetico il che comporta un errore nella misura della posizione della nave con un sistema magnetico come la bussola; tale errore viene definito *declinazione magnetica locale* ( $d$ ) e rappresenta, in ogni punto, la deviazione tra il meridiano geografico e quello magnetico. Essendo tale deviazione pressoché costante nel tempo, è possibile effettuare la *compensazione* della lettura della bussola magnetica attraverso le indicazioni riportate sulle carte geografiche che forniscono un valore di tale deviazione in funzione delle coordinate geografiche del punto di rilievo.

La lettura della bussola magnetica è inoltre influenzata dalla presenza dei ferri di bordo i quali determinano campi magnetici in grado di deviare la lettura dello strumento ingenerando un errore di misura.

Il problema dell'influenza dei campi magnetici di bordo si risolve ponendo due *magneti* ai lati della bussola; essi vengono proporzionati in base alle strutture metalliche presenti a bordo ma non riescono a compensare completamente l'effetto dei campi di bordo (anche a causa delle deformazioni subite dalle parti magneticamente attive) per cui è comunque necessario stilare una *tabella delle deviazioni*. Per far ciò si effettuano i *giri di bussola* facendo compiere alla nave delle evoluzioni a "8", fermandola ogni 15° ed apprezzando la differenza tra l'angolo letto dalla bussola e quello reale (conosciuto a sua volta con un sistema certo, in genere di tipo astronomico o satellitare).

### **La bussola giroscopica**

La bussola giroscopica basa il suo funzionamento su elementi giroscopici rotanti a velocità angolari relativamente elevate per realizzare una precisione sufficiente.

Il principio su cui si basa è quello dei moti di precessione: quando su un corpo posto in rotazione attorno ad un asse a lungo il quale agisce il vettore velocità angolare  $\vec{v}_a$  viene applicato un altro vettore velocità  $\vec{v}_b$ , nasce un terzo vettore velocità  $\vec{v}_c$ , prodotto vettoriale dei primi due:

$$\vec{v}_c = \vec{v}_a \wedge \vec{v}_b \quad (1)$$

la cui direzione è, quindi, ortogonale al piano di appartenenza di  $\vec{v}_a$  ed il cui modulo è pari a:

$$\left| \vec{v}_c \right| = \left| \vec{v}_a \right| \times \left| \vec{v}_b \right| \times \widehat{sen ab} \quad (2)$$

$\hat{ab}$  essendo l'angolo compreso tra le direzioni dei primi due vettori velocità.

Su qualsiasi corpo presente sulla superficie terrestre, per effetto della rotazione terrestre, è applicato un vettore velocità  $\vec{v}_t$ ; ad ogni corpo in rotazione lungo un asse  $a$  con vettore velocità  $\vec{v}_a$ , secondo il principio descritto, si applicherà un terzo vettore velocità  $\vec{v}_c$  che tenderà dare al corpo una rotazione secondo l'asse di azione di  $\vec{v}_c$ . Naturalmente, l'azione di  $\vec{v}_c$  sarà nulla se le direzioni di  $\vec{v}_t$  e  $\vec{v}_a$  sono parallele (nell'equazione (2) si annulla il termine  $\sin ab$ ).

Il funzionamento della bussola giroscopica si basa proprio su questo principio: un rotore con elevato momento d'inerzia (per tenere alta la sensibilità di misura), vincolato in modo che il suo asse di rotazione  $a$  può muoversi sul piano orizzontale, viene messo in movimento ad una velocità angolare costante (circa 2000 giri/min) rappresentata dal vettore  $\vec{v}_a$ . Sul rotore agisce anche il vettore  $\vec{v}_t$  dovuto alla rotazione terrestre per cui nasce una terza velocità angolare  $\vec{v}_c$  di direzione normale al piano delle prime due che tenderà a spostare l'asse di rotazione del rotore secondo il suo asse d'azione. Il rotore è libero di ruotare sul piano orizzontale per cui potrà muoversi alla ricerca di una posizione d'equilibrio in cui l'effetto della  $\vec{v}_c$  sia nullo. Evidentemente, dalla (2) si ricava che soltanto se gli assi di  $\vec{v}_t$  e  $\vec{v}_a$  sono paralleli si avrà che  $|\vec{v}_c|=0$ .

Quindi, solo quando l'asse del rotore, per effetto della rotazione indotta dalla presenza della  $\vec{v}_c$ , avrà raggiunto la posizione di parallelismo con la  $\vec{v}_t$  (e, in definitiva, con l'asse di rotazione terrestre) sarà raggiunto l'equilibrio ed il giroscopio resterà in posizione di riposo; quella direzione, per quanto detto coinciderà proprio con la direzione N-S che si desidera determinare, direzione indicata dall'asse del rotore in posizione di riposo.

Questo tipo di bussola non è esente da problemi operativi: infatti, quando la nave che ne è dotata viaggia di moto rettilineo uniforme non agiscono sul giroscopio forze diverse da quelle note e la lettura di  $P_v$  risulta molto precisa. Quando però la nave è in evoluzione nascono coppie inerziali che, agendo sulla bussola, ne falsano la lettura. Questa difficoltà viene superata costruendo delle curve di taratura che forniscono le correzioni da adottare quando la nave è in fase di virata. Sulla base di questi valori, vengono progettati degli elementi compensatori con il compito di bilanciare le coppie inerziali destabilizzatrici ripristinando il corretto valore della lettura di  $P_v$ . Quando non esistano questi sistemi di bilanciamento occorre semplicemente tener conto dell'errore commesso dalla bussola in fase di evoluzione attraverso le correzioni fornite dalle curve di taratura.

Quando la nave è in porto, per evidenti motivi energetici, la bussola viene spenta: occorre metterla in moto qualche tempo prima della partenza. Quando si effettua la navigazione giroscopica occorre che a bordo vi sia almeno una bussola magnetica cui ricorrere in caso di avaria di quella giroscopica dal momento che, in genere, la riparazione di quest'ultima richiede tempi relativamente lunghi.

### **Geometria terrestre**

Per rappresentare analiticamente la superficie della terra (che è, notoriamente, un solido estremamente irregolare) si ricorre ad una particolare figura geometrica detta *geoide*.

Per definire tale modello (che approssima la superficie terrestre) occorre fare tre ipotesi:

- 1 La superficie geoidica si assume coincidente con il livello medio dei mari, quella cioè alla quale si sovrapporrebbero i mari in condizioni di equilibrio statico.
- 2 La normale alla superficie geoidica in ogni suo punto coincide con la *verticale locale* (ossia la retta d'azione dell'accelerazione locale di gravità).
- 3 La superficie del geoide rivolge la propria concavità verso l'interno in ogni suo punto e quindi la curvatura conserva in ogni punto lo stesso segno.

La prima convenzione è determinante per le applicazioni nautiche in quanto, ammettendo che la superficie del mare è a pressione costante, vale l'equazione dell'equilibrio statico:

$$\vec{r}g = \vec{\nabla} p$$

Pertanto, se la superficie del mare è isobara si trova tutta a  $p = p_{atm}$  ed anche quella geoidica, essendo parimenti isobara, sarà esprimibile con la relazione:

$$P(x,y,z) = cost$$

Il vettore:

$$\overline{grad p} = \frac{\mathcal{I}p}{\mathcal{I}x} \bar{i} + \frac{\mathcal{I}p}{\mathcal{I}y} \bar{j} + \frac{\mathcal{I}p}{\mathcal{I}z} \bar{k}$$

è disposto normalmente alla superficie geoidica in ogni suo punto. In altri termini, in ogni punto della superficie geodetica la normale ha la direzione del vettore gradiente di  $p$ . Ciò dimostra che la seconda ipotesi sulla costruzione del geoide discende in realtà dalla prima.

Anche la terza ipotesi ha un riflesso determinante nel campo della navigazione: se, infatti, la concavità non fosse rivolta esclusivamente verso l'interno, esisterebbero punti appartenenti alla superficie per i quali le normali alla superficie sarebbero caratterizzati dalla stessa direzione pur avendo verso opposto. Punti simili (in cui le concavità sono però a due a due opposte) avrebbero normali locali con gli stessi coseni direttori; in tal caso non sarebbe possibile istituire la corrispondenza biunivoca tra l'insieme dei punti della superficie e quello delle loro normali orientate verso l'esterno in quanto, fissata una normale  $n_i = (c_x, c_y, c_z)$  esisterebbero più punti (diversi tra loro) nei quali la normale alla superficie è parallela ad  $n_i$  e viceversa.

Se invece la terza ipotesi è soddisfatta, supponendo che la superficie geoidica è a curvatura costante, ad ogni punto  $P_i$  non può che corrispondere una ed una sola normale  $n_i$  alla superficie e viceversa.

Potendo, dunque, affermare l'esistenza di una corrispondenza biunivoca tra i punti della superficie e le normali in essi orientate verso l'esterno della superficie, ogni punto della superficie geoidica è determinato univocamente dai coseni direttori della normale alla superficie in quel punto.

Il modello cui si perviene in prima approssimazione è un *geoide ellissoidico* di semiassi  $a$  e  $b$ ; rilievi topografici eseguiti ad hoc hanno permesso di eseguire la misura di tali semiassi ed è stato possibile notare che il rapporto  $\frac{a-b}{a}$  ha un valore talmente basso (circa 1/300) da

permettere di assumere con buona approssimazione che sia:

$$a @ b$$

In pratica, dalla figura di geoide ellissoidico si passa a quella di *geoide sferico* di raggio  $r = a = b$ .

Il valore del raggio può essere ottenuto con i metodi della uguaglianza dei volumi o delle superfici; tali metodi forniscono lo stesso risultato pari a:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi a^2 b \Rightarrow r = 6371 \text{ km} \quad (\text{uguaglianza dei volumi})$$

$$4 \pi r^2 = 4 \pi a b \Rightarrow r = 6371 \text{ km} \quad (\text{uguaglianza delle superfici})$$

La terra viene dunque rappresentata da un geode sferico di raggio pari a 6371 km. Naturalmente la scelta di questa figura consente ampie semplificazioni nello sviluppo dei calcoli.

E' noto che la terra è dotata di un moto rotatorio attorno all'asse *polare* i cui estremi sono denominati *poli geografici*.

Considerando un osservatore ideale disposto lungo l'asse polare che vede la rotazione terrestre avvenire in senso antiorario, si definisce *polo NORD* (o *BOREALE*) il polo che si trova dalla parte della testa dell'osservatore, *polo SUD* (o *AUSTRALE*) quello opposto (figura 4).

Dei due possibili versi di rotazione, quello antiorario viene detto *EST* (*E*), quello orario *OVEST* (*O*).

Tutti i piani dello spazio contenenti l'asse polare vengono detti *piani meridiani*; essi intersecano la superficie terrestre secondo circoli massimi detti *meridiani* i cui centri coincidono con il centro della terra.

Con riferimento alla figura 5, considerando un punto *P* sulla superficie, il meridiano passante per *P* sarà diviso in due semicircoli dai poli; quello dei due che passa per *P* viene denominato *meridiano di P*, l'altro, *antimeridiano di P*.

La determinazione di un punto sulla superficie si fa a partire dal meridiano di *Greenwich*; rispetto ad esso, l'emisfero che si trova a sinistra viene denominato *emisfero orientale* (o *emisfero EST*), l'altro viene detto *emisfero occidentale* (o *emisfero OVEST*).

I circoli massimi che nascono dall'intersezione tra la superficie del geode sferico ed i piani dello spazio disposti perpendicolarmente all'asse polare vengono detti (*circoli*) *paralleli*; il parallelo giacente sul piano passante per il centro della figura viene detto *equatore*.

L'equatore divide il geode in due *emisferi*: quello contenente il polo NORD viene denominato *emisfero boreale* (o *settentrionale*), quello contenente il polo SUD è detto *emisfero australe* (o *meridionale*).

Preso un punto qualsiasi *P* sulla superficie della terra, adottando le semplificazioni viste, si può dire che la normale per *P* coincide con la verticale locale. Trascurando le forze d'inerzia dovute alla rotazione terrestre, è facile dimostrare che la verticale locale in *P* coincide con la retta congiungente *P - C*.

Per caratterizzare univocamente la posizione di *P* sulla superficie terrestre (supposta sferica) si ricorre ai concetti di latitudine e longitudine. Si dice *latitudine* del punto *P* (e si indica col simbolo  $\phi$ ) l'arco di meridiano ( $\leq 90^\circ$ ) compreso tra l'equatore e il punto stesso; si esprime in gradi, primi, e secondi ed ha nome nord o sud a seconda che il punto si trovi nell'emisfero

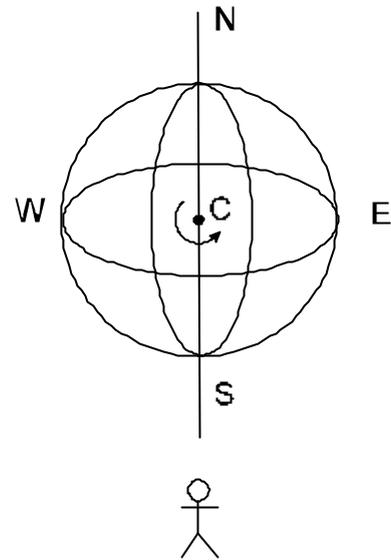


figura 4

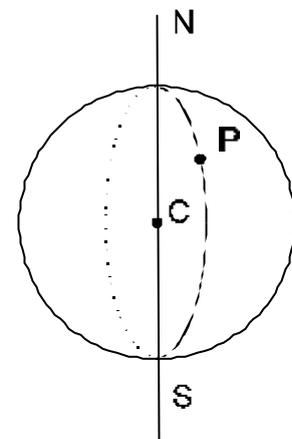


figura 5

settentrionale o in quello meridionale. La *longitudine* ( $\lambda$ ) del punto P è l'arco di equatore ( $\leq 180^\circ$ ) compreso tra il meridiano di Greenwich e il meridiano di P. Si esprime in gradi, primi e secondi (o in ore, minuti e secondi di tempo) ed ha nome Est o Ovest a seconda che il punto si trovi a destra o a sinistra del meridiano di Greenwich.

### **Cenni di dinamica terrestre**

Rispetto ad un riferimento inerziale, l'equazione della dinamica di un punto materiale è data da:

$$\overline{F}_{eff} = m \overline{a}$$

dove  $F_{eff}$  è la risultante di tutte le forze effettivamente agenti sul punto materiale ossia l'attrazione newtoniana e quella magnetica, mentre  $a$  è l'accelerazione subita dal punto materiale.

Se si considera però un sistema non inerziale, l'equazione deve tener conto degli effetti di trascinamento e si trasforma in:

$$\overline{F}_{eff} - m \overline{a}_t - 2 m \overline{\omega} \times \overline{v} = m \overline{a}$$

dove:

$\overline{\omega}$  è la velocità angolare con cui la terra ruota attorno all'asse polare ossia la velocità con cui il riferimento non inerziale (solidale alla superficie del geode sferico) ruota rispetto al riferimento inerziale;

$\overline{a}_t$  è l'accelerazione di trascinamento ossia quella con cui il sistema di riferimento non inerziale si muove nei confronti di quello inerziale o ancora quella con cui si muove rispetto al riferimento inerziale quel punto dello spazio solidale al riferimento non inerziale in cui si sia pensato di "congelare" il punto materiale;

–  $m \overline{a}_t$  è la forza apparente di trascinamento;

–  $2 m \overline{\omega} \times \overline{v}$  è la forza apparente di Coriolis.

Un riferimento inerziale è costituito dal sistema di riferimento *copernicano* che è solidale al sole ed i cui assi sono orientati nella direzione delle *stelle fisse*<sup>3</sup>; naturalmente, saranno inerziali tutti i riferimenti paralleli ed equiversi a quello copernicano, nei confronti del quale siano dotati di moto rettilineo uniforme. Tra essi, in particolare, è inerziale il riferimento avente origine nel centro  $C$  della terra i cui assi siano paralleli ed equiversi alla terna copernicana.

La terra, oltre a ruotare attorno al suo asse con velocità angolare  $\omega$ , ruota intorno al sole con velocità angolare  $\omega_1$ . Il moto della terra rispetto al sole viene denominato *moto di precessione* e l'asse intorno al quale esso avviene è detto *asse di precessione*; esso coincide con quella retta dello spazio passante per l'origine della terna copernicana perpendicolare al piano dell'*eclittica*<sup>4</sup>. Durante la precessione l'asse della terra descrive una superficie conica il cui asse di simmetria, disposto normalmente al piano dell'eclittica, coincide con l'asse di precessione.

### **Direzioni e venti**

Ritenendo valida l'ipotesi (plausibile) per cui, qualunque sia il punto  $P$  sulla superficie terrestre, l'accelerazione gravitazionale agisce lungo la congiungente  $C - P$  (e, di conseguenza, la sua direzione coincide con quella della verticale locale), definiremo *piani*

<sup>3</sup> sono definite "fisse" quelle stelle che sono in quiete relativa tra loro

<sup>4</sup> l'eclittica è il piano su cui giace la traiettoria descritta dal centro della terra nel moto di precessione

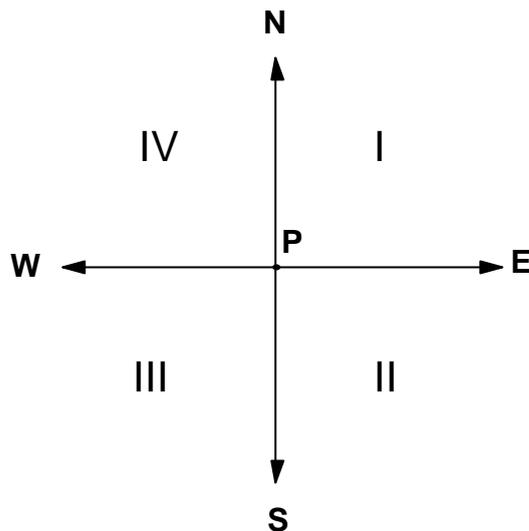


figura 6

*verticali* i piani dello spazio che hanno in comune la verticale locale in  $P$ ; si tratta, in pratica, del fascio di piani di asse  $CP$ .

Nel fascio dei piani verticali viene detto *piano meridiano (NPS)* quello che contiene i poli geografici, *1° verticale* quello che risulta ortogonale al piano meridiano. Si dice *orizzonte apparente del punto P* il piano dello spazio che passa per  $P$  ed è ortogonale alla verticale locale in esso.

Tracciato l'orizzonte apparente  $\pi$  di un punto  $P$ , si consideri la retta  $r$  giacente su  $\pi$ , passante per  $P$  e disposta tangenzialmente al circolo meridiano di  $P$ ; sia  $r'$  la retta di  $\pi$  perpendicolare a  $r$ .

Così come definita,  $r'$  risulta evidentemente la traccia del 1° verticale su  $\pi$ . La retta  $r$  prende il nome di *meridiana* (o *linea NORD – SUD*) di  $P$ , mentre  $r'$  è la *linea EST - OVEST*.

Immaginando di ribaltare il piano orizzontale di  $P$  sul piano di figura, si possono dare le seguenti definizioni:

- *direzioni cardinali* sono le direzioni delle rette  $r$  e  $r'$ ;
- *direzione cardinale NORD* è la semiretta verticale orientata verso il polo NORD;
- *direzione cardinale SUD* è la semiretta verticale orientata verso il polo SUD;
- *direzione cardinale EST* è la semiretta orizzontale orientata verso EST;
- *direzione cardinale OVEST* è la semiretta orizzontale orientata verso OVEST.

Le quattro di direzioni cardinali relative al punto  $P$  dividono  $\pi$  in quattro quadranti individuato dalle direzioni:

- I quadrante: direzioni  $N - E$
- II quadrante: direzioni  $S - E$
- III quadrante: direzioni  $S - W$
- IV quadrante: direzioni  $N - W$

Le direzioni delle quattro bisettrici orientate relative a ciascuno dei quattro quadranti vengono definite *direzioni dei venti*. Ogni direzione intercardinale viene indicata con una sigla che tiene conto delle due direzioni cardinali che delimitano il quadrante la cui bisettrice coincide con la direzione intercardinale (figura 6).

Così, la bisettrice del I quadrante viene detta *direzione intercardinale N - E*, quella del secondo  $N - W$  etc.

Le otto direzioni così individuate (quattro cardinali e quattro intercardinali) prendono il nome di *direzioni dei venti relativi al punto P*. La *rosa dei venti (relativa al punto P)* è l'insieme delle semirette con origine in *P* che suddividono l'orizzonte apparente di *P*; prende tale nome anche il quadrante della bussola.

E' consuetudine attribuire ad ogni direzione dei venti il nome del vento che spira realmente in quella direzione (figura 7).

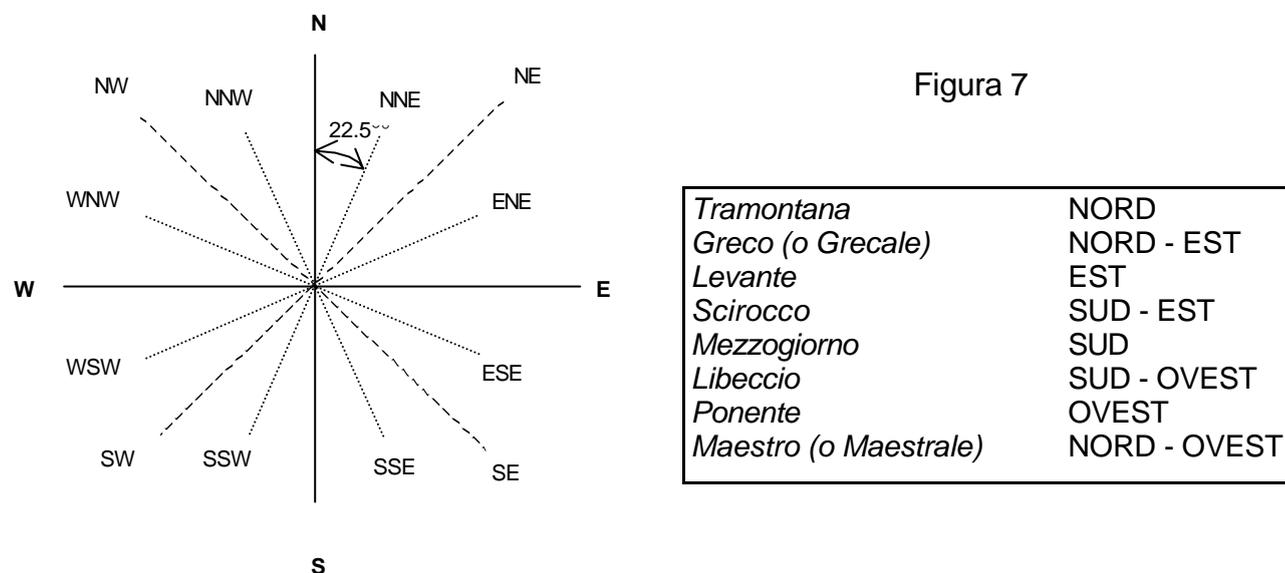


Figura 7

Nella nautica venti e *mezzi venti* sono utilizzati regolarmente mentre *quarti* e *quartine* si usano più spesso nella navigazione a vela.

Continuando a considerare il punto *P* ed i suoi venti, le direzioni delle bisettrici di ciascuno dei venti prendono, dunque, il nome di *mezzi venti*. Ogni mezzo vento è indicato con una sigla comprendente la direzione cardinale e quella intercardinale contiguo.

Le direzioni delle bisettrici dei 16 angoli di mezzo vento vengono dette *quarte* ed i relativi angoli valgono:

$$360^\circ/32 = 11.25^\circ$$

Analogamente a quanto accade per venti e mezzi venti, viene denominata quarta anche l'angolo compreso tra una direzione di quarta e la contigua direzione di vento o mezzo vento. La sigla di una quarta è data, nell'ordine, dalla sigla del vento contiguo (cardinale od intercardinale che sia), dalla sigla *q* (che si legge "quarta"), e dalla sigla del vento immediatamente successivo al vento contiguo, con il quale forma l'angolo di vento nel quale è contenuta la quarta considerata.

Considerando poi le bisettrici degli angoli di quarta, si individuano le direzioni di *mezza quarta* dal valore di:

$$360^\circ/64 = 5.625^\circ$$

La sigla di ogni mezza quarta è costituita da quella del vento contiguo (per essa intendendo la direzione cardinale od intercardinale più vicina), dall'angolo che questo forma con la quarta (che può essere 1/2 o 3/2) e dalla sigla del vento successivo.

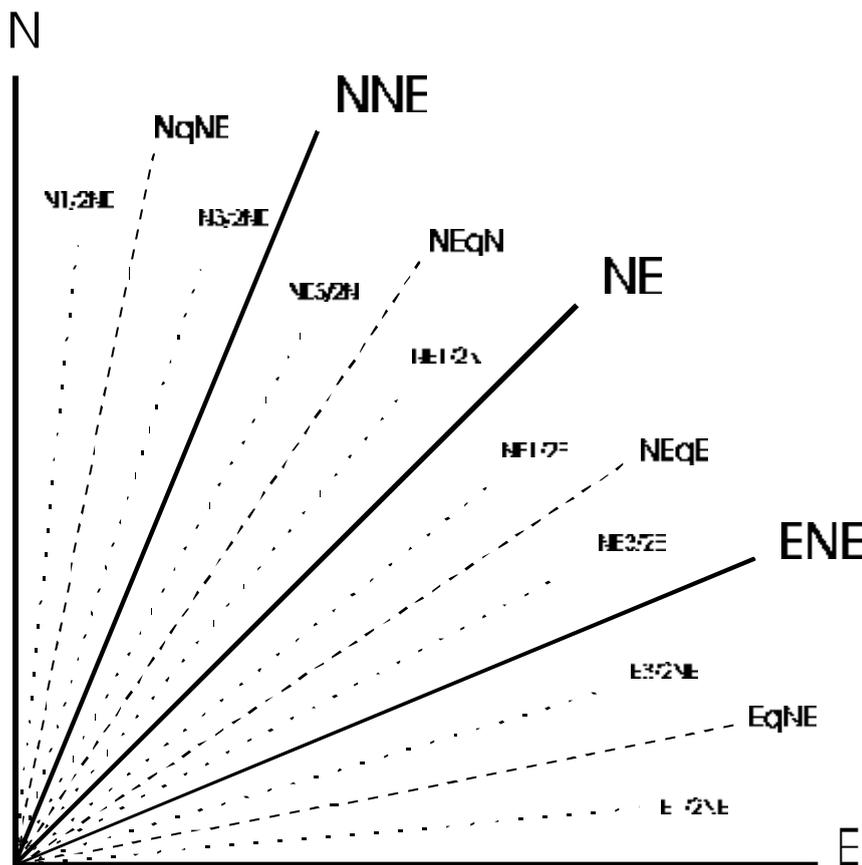


Figura 8

Nella figura 8 sono esplicitati venti, mezziventi, quarte e mezzequarte comprese nel primo quadrante.

Si definiscono, infine, le *quartine* come direzioni individuate dalle bisettrici dei 64 angoli di mezza quarta (e che individuano 128 angoli di quartina pari a  $360^\circ/64 = 2,8125^\circ$ ).

Le sigle con cui vengono rappresentate le quartine sono costituite dalla sigla del vento contiguo (intendendo per esso il vento che forma con la direzione di quartina un angolo che può essere pari a quello di quarta  $1/4$ , di 3 quarte  $3/4$ , di 5 quarte  $5/4$  o di 7 quarte  $7/4$ ) seguita dalla frazione esprimente l'angolo di sfasamento della quartina rispetto al vento contiguo ed infine dalla sigla del vento successivo (esempi:  $N1/4NE$ ,  $SW7/4W$  ecc.)

In pratica la suddivisione descritta finisce sul basarsi sulla unità di misura della quartina che, pur essendo angolo notevolmente inferiore a quello giro, non rappresenta un'unità sufficientemente piccola da non ingenerare imprecisione nel calcolo della rotta di una nave.

### **Sistemi di riferimento per la determinazione della rotta**

Sebbene la definizione delle direzioni secondo quelle dei venti e sottoventi abbia una lunga tradizione di applicazione, le attrezzature moderne di determinazione delle direzioni si basano sostanzialmente sui sistemi definiti *circolare* e *quadrantale*.

Il *sistema circolare* determina la direzione della rotta attraverso l'angolo  $\alpha$  di cui la semiretta verticale rappresentativa della direzione N deve ruotare in senso orario per sovrapporsi alla retta rappresentativa della rotta (figura 9).

Quindi, nel sistema circolare il parametro è l'angolo:

$$\alpha \in [ 0 ; 360^\circ [$$

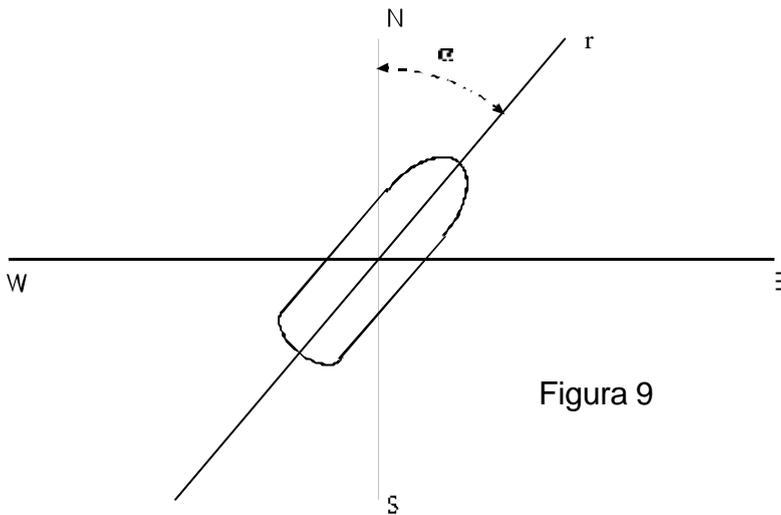


Figura 9

Il *sistema quadrante* prevede, invece, l'indicazione della direzione della retta  $r$  rappresentativa della rotta della nave attraverso una sigla alfanumerica che comprende, nell'ordine, la sigla del meridiano contiguo, la misura dell'angolo che la retta  $r$  forma con il vento meridiano contiguo e dalla sigla del vento parallelo ( $E$  oppure  $W$ ).

Ad esempio,  $N45^\circ E$  indica la direzione di  $45^\circ$  nel primo quadrante nautico.

### **Bibliografia**

Aldo Nicoli: *Navigazione tradizionale*, CEDAM Padova, 1975

Aldo Nicoli: *Navigazione moderna*, CEDAM Padova, 1976