

CAPITOLO 1 NAVIGAZIONE

Nella stampa del libro, le formule contenute nel presente capitolo non sono chiaramente leggibili. Questo PDF permette di leggere chiaramente il testo di tutto il capitolo, ed eventualmente, di stamparlo.

1 NAVIGAZIONE



1.1 ORIENTAMENTO SULLA TERRA

Per **navigazione** (*navigation*) si intende il trasferimento della nave da un punto di partenza "A" ad un punto di arrivo "B", conciliando i criteri di sicurezza e di economia.

Il termine sicurezza include:

- ▶ salvaguardia della vita umana in mare
- ▶ salvaguardia della nave e del carico
- ▶ salvaguardia dell'ambiente circostante

1.1.1 FORMA DELLA TERRA

La Terra ha una forma tale che non può essere né definita geometricamente, né espressa per mezzo di un'equazione. La forma fisica più aderente alla realtà è il geode (*geoid*), solido ottenuto con criteri fisici (non geometrici): è definito come la superficie equipotenziale di gravità passante per il livello medio dei mari (*Figura 1.1*). Ogni direzione perpendicolare alla superficie del geode rappresenta la direzione della gravità ed è detta verticale (*plumb line*). Il geode, sebbene non possa essere considerato nelle applicazioni per i riferimenti posizionali, è utilizzato per i riferimenti verticali, cioè per la misura delle quote.

Viene individuata, quindi, una figura regolare, definita matematicamente, alla quale si possa riferire un sistema di coordinate, orientata in modo univoco rispetto al geode e che costituisca, quindi, un sistema di riferimento per le posizioni orizzontali. Tale figura è il **datum**. La superficie più adatta ad essere utilizzata come datum è quella dell'**elissoide** (*elipsoid*), cioè il solido di rotazione ottenuto da una rotazione completa di un'ellisse intorno al suo asse minore (*Figura 1.2*). Si ottiene quindi un corpo geometricamente ben definito, per il quale ogni intersezione della sua superficie con i piani contenenti l'asse di rotazione è detta **elisse meridiana** e ogni retta perpendicolare alla sua superficie è detta **normale** (*normal*).

Si chiama **sezione normale** ogni curva ottenuta sull'elissoide come intersezione della sua superficie con un piano contenente la normale in un generico punto, mentre si parla di **sezione obliqua** se esso non contiene la normale (es. i paralleli): per due punti generici non esiste un piano che contenga le normali di entrambi, ma tra essi esiste una traiettoria tale che in tutti i punti la normale alla curva coincida con la normale alla superficie ellissoidica. Essa rappresenta il percorso più breve tra questi punti, è una curva gobba e viene chiamata **geodetica** (*geodesic*).

Un **datum** permette di stabilire una corrispondenza biunivoca tra la posizione di un punto sulla Terra reale e un punto sull'elissoide, attraverso la definizione di un set di tre coordinate (X, Y, Z), definite attraverso una terna cartesiana detta **ECEF** (*Earth Centered Earth Fixed*). Il centro coincide con il baricentro terrestre, l'asse z con l'asse di rotazione, l'asse x verso il piede del meridiano di Greenwich e l'asse y levogiro (ruotato verso sinistra rispetto a x per un osservatore che guarda dal Polo Nord) (*Figura 1.3*).



Figura 1.1 - Geoide

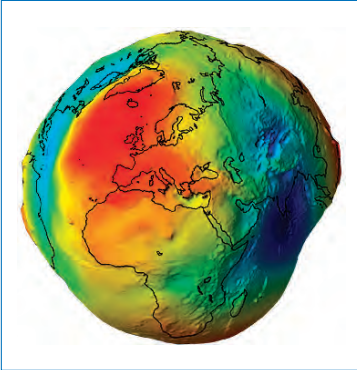


Figura 1.2 - Elissoide

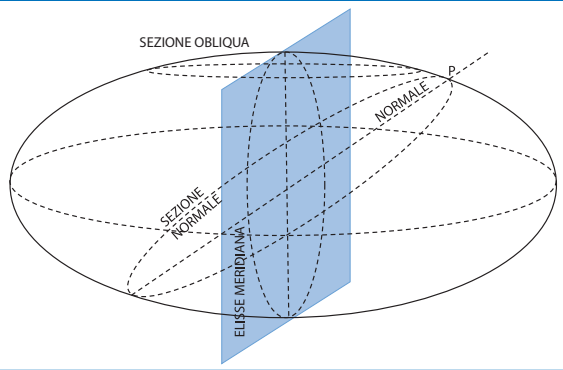


Figura 1.3 - ECEF

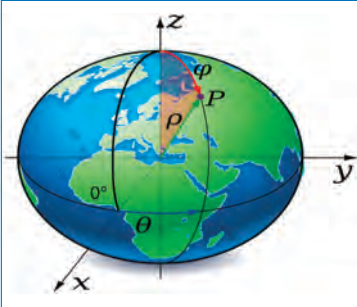
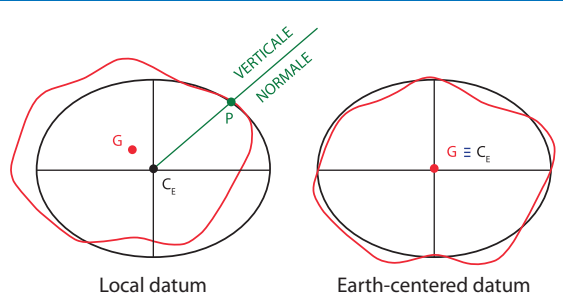


Figura 1.4 - Datum globale e locale



Per far sì che esista questa corrispondenza biunivoca, servono regole per vincolare fra loro le due superfici. Occorre definire le **dimensioni** e l'**orientamento**. Per quanto riguarda le **dimensioni**, ad oggi si utilizza l'**elissoide di Hayford del 1909** come elissoide internazionale avente semiasse maggiore di lunghezza pari a 6.378.388 m. A seconda dell'**orientamento**, invece, si definiscono **datum globali** quelli per i quali è stata imposta la coincidenza del loro asse di rotazione con quello del geoide ed approssimano la superficie del geoide in ogni suo punto. Mentre i **datum locali** sono gli ellipsoidi ai quali è stata imposta, solo in un punto, la coincidenza della normale con la verticale; essi approssimano con grandissima accuratezza la zona circostante il punto di tangenza tra geoide ed elissoide, ma potenzialmente molto male le altre zone terrestri. Esempi di datum globale sono il WGS 84, utilizzato dal GPS, quelli utilizzati dagli altri **GNSS (Global Navigation Satellite System)** o il Cospas-Sarsat. Esempio di datum locale è il **Roma 40** (Figura 1.4).

Per gli usi della navigazione, l'elissoide viene approssimato ad una sfera, per permettere i calcoli di trigonometria sferica (più semplici di quella ellissoidica).

La **sfera terrestre (terrestrial sphere)** è ottenuta a partire dalle dimensioni dell'elissoide, con modalità differenti (Figura 1.5):

- ▶ Ugual volume dell'elissoide
- ▶ Ugual superficie dell'elissoide
- ▶ Media delle dimensioni principali dell'elissoide ($R^2 = \rho N$)



Le differenze tra i valori del raggio ottenuti con questi tre diversi metodi sono dell'ordine dei 6 metri al massimo, quindi trascurabili; approssimando alla decina di metri e utilizzando le dimensioni dell'ellissoide internazionale si può dire che in tutti i casi si ottiene una sfera avente raggio $R=6371,22$ Km.

Un **circolo massimo** si definisce come la circonferenza ottenuta dall'intersezione della superficie sferica con un piano passante per il centro della sfera stessa (equivale alla geodetica sull'ellissoide, quindi rappresenta il percorso più breve fra due punti). Sulla sfera terrestre sono circoli massimi l'equatore e i meridiani; i paralleli, invece, sono circoli minori (paralleli all'equatore).

1.1.2 COORDINATE TERRESTRI

La **latitudine φ (latitude)** di un punto è l'arco di meridiano, minore di 90° , compreso fra l'equatore e il punto considerato. Se il punto è a Nord dell'equatore, ha segno positivo; se è a Sud, ha segno negativo.

La **longitudine λ (longitude)** di un punto è, invece, l'arco di equatore, minore di 180° , compreso tra il meridiano fondamentale di Greenwich e il meridiano passante per il punto. Se il punto è ad Est del meridiano di Greenwich ha segno positivo; se è ad Ovest, ha segno negativo¹ (Figura 1.6). Si definisce **differenza di latitudine, $\Delta\varphi$** l'arco di meridiano compreso tra i paralleli di A e di B. Si conta da 0 a 180° N/S.

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A \quad (\text{algebraica})$$

Si definisce **differenza di longitudine, $\Delta\lambda$** l'arco di equatore compreso tra i meridiani di A e di B. Si conta da 0 a 180° E/W. In caso di valori superiori di 180° si calcola l'esplemento (al valore calcolato si tolgono o si sommano 360°) e si cambia segno!

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A \quad (\text{algebraica})$$

Esempio: calcolare la differenza tra il punto A (φ_A $43^\circ 48.2'N$ – λ_A $108^\circ 23.1'E$) e il punto B (φ_B $58^\circ 43.3'N$ – λ_B $133^\circ 43.9'W$). Applicando:

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_B - \varphi_A = +58^\circ 43.3' - 43^\circ 48.2' = 14^\circ 55.11' N \\ \Delta\lambda &= \lambda_B - \lambda_A = -133^\circ 43.9' - 108^\circ 23.1' = 242^\circ 07' W\end{aligned}$$

Facendo l'esplemento, risulta: $\Delta\lambda = -242^\circ 07' + 360^\circ = 117^\circ 53' E$

1.1.3 IL MIGLIO MARINO

In mare, l'unità di misura delle **distanze o cammini (distances)** è il miglio marino, o nautico (**nautical mile**), uguale alla lunghezza di un primo d'arco di circolo massimo. Data la forma pressoché ellissoidica della Terra, il miglio presenta l'inconveniente di avere lunghezza

¹ Latitudine, longitudine e relative differenze si misurano in gradi, primi e secondi sessagesimali ($^\circ, ', ''$).



Figura 1.5 - Sfera terrestre

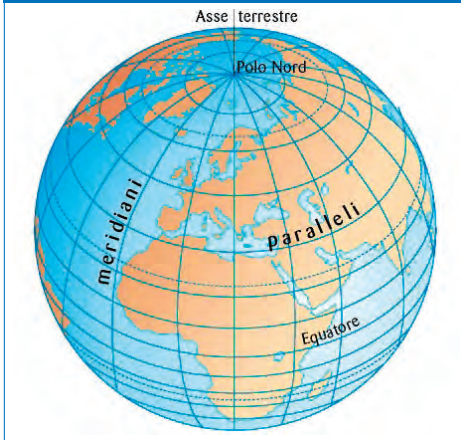
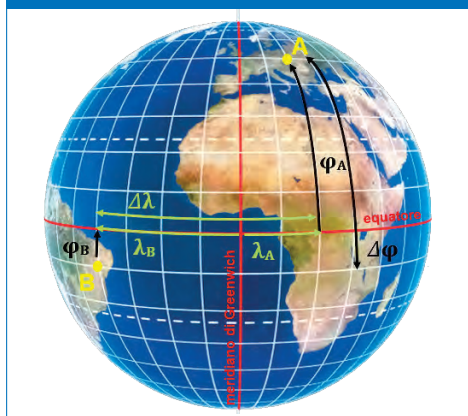


Figura 1.6 - Latitudine e Longitudine e relative differenze



variabile al variare della latitudine e aumenta in lunghezza man mano che ci si sposta dall'equatore al Polo, perché in tal senso aumenta la lunghezza del raggio di curvatura del meridiano e, quindi, quella dell'arco di meridiano (Figura 1.7).

Per ovviare a questo problema è stato adottato il **Miglio Nautico Internazionale** di lunghezza costante, uguale a **1.852 m**, misurato alla latitudine $\varphi=44^{\circ}20'$ e sotteso da un angolo pari a $1'$. L'unità di misura della velocità in navigazione è il **nodo (knot)**. Corrisponde alla velocità di un miglio in un'ora.

35

1.1.3.1 Conversioni

Per trasformare i gradi in ore occorre dividere per 15 (infatti $360^{\circ}/24=15^{\circ}$); per trasformare le ore in gradi, invece, si deve moltiplicare per 15. Per i minuti: $15^{\circ}/60=\frac{1}{4}=15'$ Per i secondi: $15'/60=1'/4=15''$. Per trasformare i primi (miglia) in gradi si divide per 60; viceversa per trasformare i gradi in primi (miglia), si moltiplica per 60.

1.1.4 CASI PARTICOLARI DI NAVIGAZIONE

In Figura 1.8 si riportano i casi particolari di navigazione, che rappresentano delle **lossodromie degeneri** (questo argomento sarà ripreso nel capitolo 15 di questo manuale).

Navigazione per meridiano: la differenza di latitudine, espressa in primi, corrisponde al cammino (m) in miglia.

$$m = |\Delta\varphi| \times 60$$

Il $\Delta\lambda$ è pari a 0° e la Rotta può essere 000° (se si naviga verso N) o 180° (se si naviga verso S).

Navigazione per parallelo: la lunghezza di un arco di parallelo è nota come **allontanamento μ (departure)** e rappresenta il cammino percorso sul parallelo. Esso è pari a:

$$\mu = |\Delta\lambda| \times \cos\varphi \quad \text{per ottenerlo in miglia si moltiplica per 60}$$

Figura 1.7 - Il miglio marino

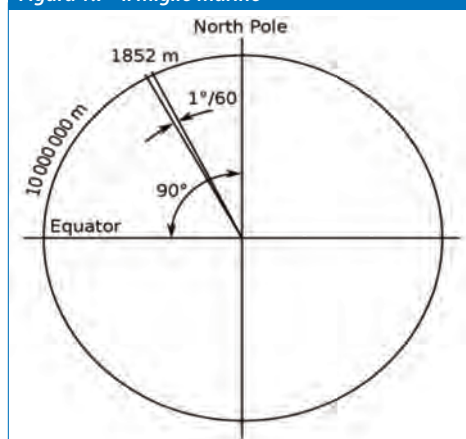
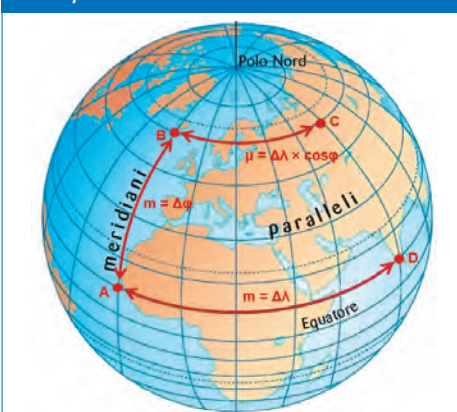


Figura 1.8 - Cammino sul meridiano, sul parallelo e sull'equatore



Navigando all'equatore, invece la differenza di longitudine, espressa in primi, corrisponde al cammino (m) in miglia:

$$m = |\Delta\lambda| \times 60$$

solo all'equatore 1' di ϕ corrisponde ad 1' di λ .

Il $\Delta\phi$ è pari a 0° e la Rotta può essere 090° (se si naviga verso E) o 270° (se si naviga verso W).

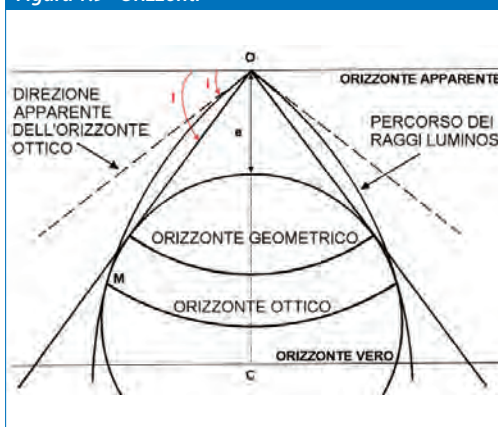
Il **cammino**, **m** si indica in "mg" o "nm".

1.1.5 ORIZZONTE

Siano «O» l'**occhio dell'osservatore** ed «e» l'**elevazione dell'occhio sul livello del mare**. Si hanno le seguenti definizioni (Figura 1.9):

- ▶ **Orizzonte apparente del punto O** è il piano tangente nel punto O e perpendicolare alla verticale V.
- ▶ **Orizzonte astronomico o vero del punto O** è il piano parallelo all'orizzonte apparente e passante per il centro della Terra C.
- ▶ **Orizzonte geometrico del punto O** è la base del cono che ha per vertice l'occhio dell'osservatore e per generatrici, le tangenti condotte da tale punto alla superficie terrestre.
- ▶ **Orizzonte marino** Per effetto della rifrazione della luce, i raggi luminosi non si propagano in linea retta, ma descrivono una traiettoria curvilinea, la cui concavità è diretta verso la Terra. Tale fenomeno aumenta il limite di visibilità dell'orizzonte e consente ai raggi ottici di estendersi fino al punto M, oltre l'orizzonte geometrico. L'andamento della curva

Figura 1.9 - Orizzonti





di **rifrazione geodetica** dipende dalla densità e dalla temperatura degli strati d'aria che sovrastano la superficie terrestre, per cui l'orizzonte marino non ha un raggio fisso come quello geometrico, ma variabile a seconda della direzione azimutale.

L'angolo «**i**» compreso fra l'orizzonte apparente e l'orizzonte geometrico prende il nome di **depressione vera** mentre l'angolo «**i**» compreso fra l'orizzonte apparente e la tangente condotta all'ultimo tratto della curva di rifrazione geodetica nel punto O, viene chiamato **depressione apparente dell'orizzonte**. Per condizioni normali dell'atmosfera, la depressione apparente media dell'orizzonte è data, con sufficiente approssimazione, dalla formula:

$$i = 1.80 \times \sqrt{e}$$

La **Tavola n. 21** del volume «Tavole Nautiche» dell'Istituto Idrografico della Marina fornisce il valore «**i**» in funzione di «**e**», considerando una temperatura di 10°C e una pressione atmosferica di 760 mm di mercurio. La **Tavola Nautica n.6** fornisce direttamente la distanza dell'orizzonte marino, in miglia, in funzione dell'elevazione «**e**», espressa in metri:

$$D = 2,08 \times \sqrt{e}$$

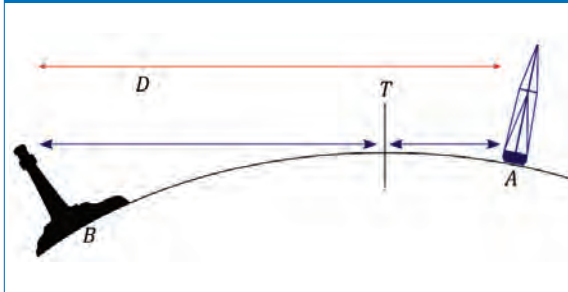
1.1.5.1 Portata geografica

Dalla *Figura 1.10* si ha: $AT = 2,08 \times \sqrt{e}$ e $TB = 2,08 \times \sqrt{h}$

La distanza **D**, detta **portata geografica (rising and dipping range)**, è data dalla formula:

$$D = 2,08 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h})$$

Figura 1.10 - Portata geografica di un oggetto



In cui «**e**» è l'elevazione dell'occhio dell'osservatore, in metri e «**h**» l'elevazione dell'oggetto sul livello medio del mare (dedotta dal portolano o dalla carta nautica), sempre in metri. Rappresenta, in pratica, la somma degli orizzonti marini dei due oggetti. La **Tavola Nautica n. 7** dell'I.I. fornisce la portata geografica

con l'uso di una formula poco dissimile da quella sopra riportata. Il fattore 2.08 viene ridotto a 2.04 per tenere conto del fatto che l'oggetto sarà visibile sull'orizzonte quando avrà una piccola elevazione rispetto al livello del mare.

$$D = 2,04 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h})$$

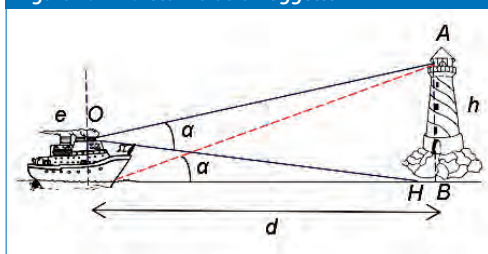
1.1.5.2 Distanza da un oggetto di elevazione nota situato entro l'orizzonte

Con l'ausilio della **Tavola nautica n.8** dell'I.I. è possibile calcolare la distanza (in miglia) con la misura di un angolo verticale. La formula da utilizzare è la seguente:

$$d = \frac{h}{1852} \times \cot \alpha$$

In cui "h" è l'elevazione dell'oggetto sul livello del mare, in metri e "α" l'angolo verticale sotteso (misurato col sestante); "e" si suppone uguale a zero; il triangolo OAB è rettangolo, essendo i punti H e B coincidenti (Figura 1.11).

Figura 1.11 - Distanza da un oggetto



1.1.6 LINEA MERIDIANA

A livello locale la definizione degli angoli di riferimento si può ricondurre ad un piano tangente alla sfera terrestre nel punto occupato dall'osservatore, cioè il piano orizzontale: la direzione rispetto a cui contare gli angoli sarà la retta ottenuta come intersezione del piano orizzontale con il piano del meridiano dell'osservatore, detta **linea meridiana (true meridian)**. Pensando a noi stessi come osservatori, la linea meridiana va immaginata sul pavimento, passante per i nostri piedi, orientata nel verso della stella polare. La linea meridiana permette di definire tutte le direzioni cardinali sul piano orizzontale e divide l'orizzonte in quattro quadranti (Figura 1.12).

1.1.7 ROSA DEI VENTI

L'insieme delle direzioni nell'orizzonte viene chiamato **rosa dei venti (wind rose)**. La direzione di un vento è quella del punto dell'orizzonte dal quale spira. Gli estremi delle linee N-S ed E-W si chiamano **punti cardinali**. I punti cardinali vengono chiamati rispettivamente: **Nord, Tramontana o Borea; Est o Levante; Sud, Mezzogiorno od Ostro; Ovest o Ponente**. Tra due punti cardinali consecutivi, ad eguale distanza angolare da essi, vi è sempre un **punto intercardinale** (Figura 1.13).

1.1.8 ROTTA E PRORA

L'angolo formato tra la direzione del meridiano geografico con quella della tangente alla traiettoria (rispetto al fondo del mare) nel punto considerato, si chiama **Rotta vera, R_v (True Course)**. Si conta circolarmente, in senso orario, a partire dalla direzione del Nord geografico, da 0° a 360°. Il valore 0° si ha quando la tangente alla traiettoria coincide con la direzione del meridiano geografico e la nave dirige verso Nord (Figura 1.14).

La rotta rappresenta, come detto, il moto reale della nave, cioè quello rilevato rispetto a riferimenti solidali con il datum terrestre; è per questo che in inglese si indica più frequentemente con la sigla **COG (Course Over Ground)** o *Course Made Good*.

La **Prora Vera, P_v (Heading, HDG)** è l'angolo orizzontale delimitato dalla direzione del



Nord geografico passante per quel punto e dall'asse longitudinale della nave. Si conta in senso orario, a partire dalla direzione del meridiano, da 0° a 360° (Figura 1.15).

La Prora, a causa del vento e della corrente (*drift*), non coinciderà quasi mai con la Rotta: rappresenta infatti la direzione da assumere per contrastare la forza esterna che allontana la nave dalla traiettoria seguita. La Prora può essere **magnetica, bussola, giroscopica** a seconda del meridiano considerato (magnetico, bussola, giroscopico). Gli angoli di rotta, talvolta, si contano da 0° a 180° (**sistema semicircolare**), o da 0° a 90° (**sistema quadrantale**). In tal caso gli angoli sono preceduti dal nome del cardine dell'orizzonte da cui si inizia a contare (**prefisso**) e seguiti dal nome del cardine verso cui si procede (**suffisso**) (Figura 1.16).

Per la rotta quadrantale r_v :

<i>I Quadrante N-E</i>	$r_v=N\ 45^\circ\ E$	$R_v=045^\circ$	$R_v=r_v$	$r_v=R_v$
<i>II Quadrante S-E</i>	$r_v=S\ 45^\circ\ E$	$R_v=135^\circ$	$R_v=180^\circ-r_v$	$r_v=180^\circ-R_v$
<i>III Quadrante S-W</i>	$r_v=S\ 45^\circ\ W$	$R_v=225^\circ$	$R_v=180^\circ+r_v$	$r_v=R_v-180^\circ$
<i>IV Quadrante N-W</i>	$r_v=N\ 45^\circ\ W$	$R_v=315^\circ$	$R_v=360^\circ-r_v$	$r_v=360^\circ-R_v$

Per la Rotta semicircolare R_s , che si conta sempre dal cardine Nord, la conversione si esegue in base al suffisso:

se «E»	→	$R_v=R_s$
se «W»	→	$R_v=360^\circ-R_s$

1.1.9 SEMIRETTA DI RILEVAMENTO

Vanno sotto il nome di **traguardi** quegli strumenti di bordo atti a misurare angoli orizzontali (rilevamenti), ovvero i **cerchi azimutali delle bussole** e i cosiddetti **grafometri**, appartenenti al passato (Figura 1.17). Con l'apparecchio azimutale si ricerca l'allineamento tra l'oggetto costiero e un sottile filo metallico verticale posto sullo strumento, da osservare attraverso una feritoia fissata nel punto diametralmente opposto rispetto ad esso; una volta rilevato l'oggetto se ne può leggere il valore grazie ad un prisma ottico che riflette verso l'occhio dell'osservatore il valore della rosa corrispondente alla direzione dell'allineamento descritto.

La **semiretta di Rilevamento vero (Ril_v), o azimut (*True Bearing*)**, è l'angolo dell'orizzonte compreso fra la direzione del Nord e la congiungente nave-oggetto rilevato. Esso si conta in senso orario, a partire dal Nord vero, da 0° a 360°.

Dicasi invece, **Rilevamento polare (*Relative Bearing*)**, l'angolo orizzontale compreso fra il piano longitudinale della nave e la congiungente nave-oggetto rilevato. Si conta in senso semicircolare, da 0° a 180°, verso dritta o verso sinistra dell'osservatore che guarda la prua della nave. Esso si indica con **p** (rò) ed è positivo (+) se è contato verso dritta, negativo (–) se contato verso sinistra (Figura 1.18).

1.1.9.1 Relazioni

Le principali relazioni che legano rilevamenti e prora sono algebriche:

$$Ril_v = P_v + (\pm) \rho$$

$$P_v = Ril_v - (\pm) \rho$$

$$\rho = Ril_v - P_v$$

Quando si prendono due rilevamenti è utile che la loro intersezione sia il più possibile a 90° e che siano relativi a oggetti vicini. L'oggetto più vicino è quello al traverso e quindi conviene sempre rilevare un oggetto con 90° di Ril_v rispetto alla R_v . In tal caso, però, il Ril_v al traverso deve essere preso per ultimo rispetto a quelli di prua e di poppa per evitare un errore sul trasporto. Il Ril_v al traverso cambia velocemente con il passare del tempo e quindi, rilevandolo per ultimo, non lo si deve trasportare.

Figura 1.12 - Linea meridiana

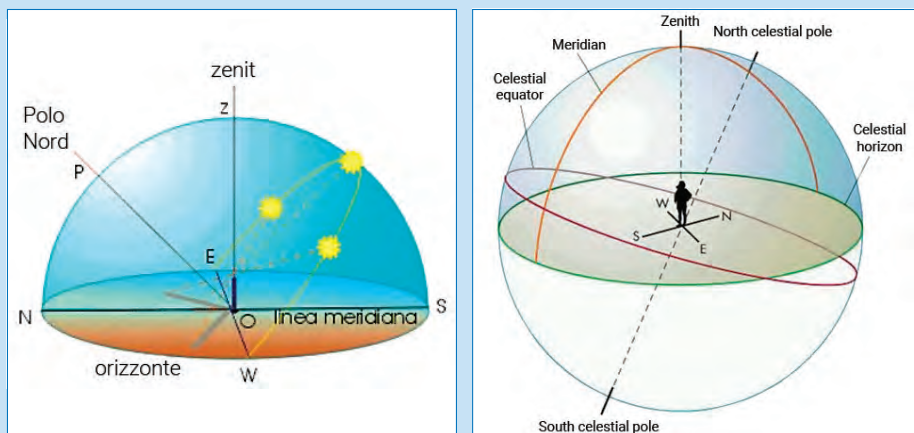


Figura 1.13 - Rosa dei venti

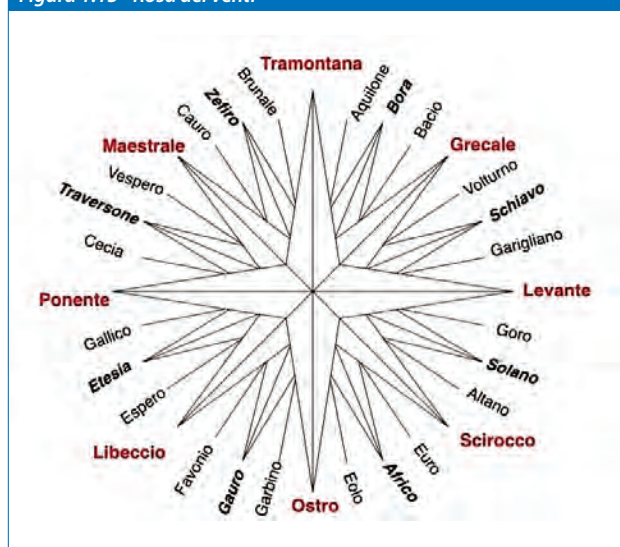


Figura 1.16 - Rotta quadrante, semicircolare e circolare

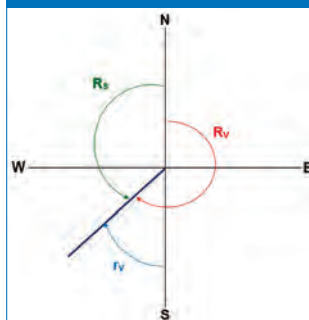


Figura 1.17 - Cerchio azimutale





Figura 1.14 - Rotta vera

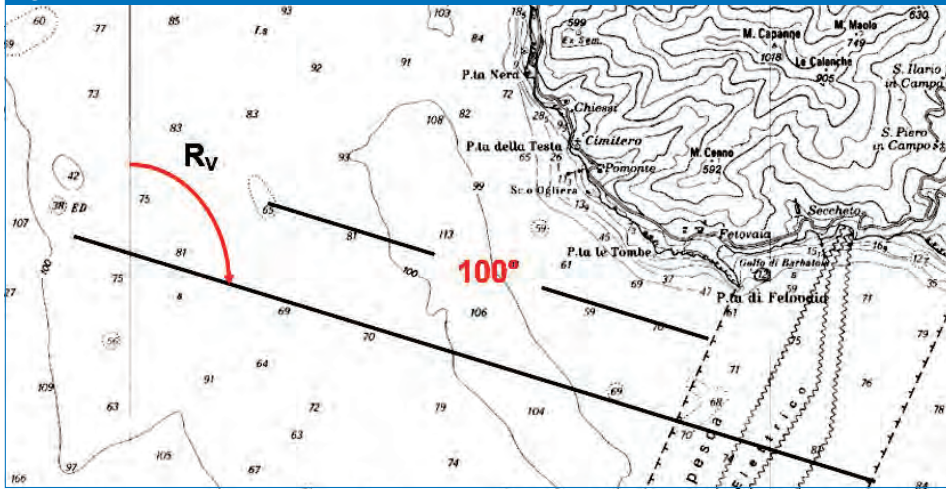


Figura 1.15 - Prora vera

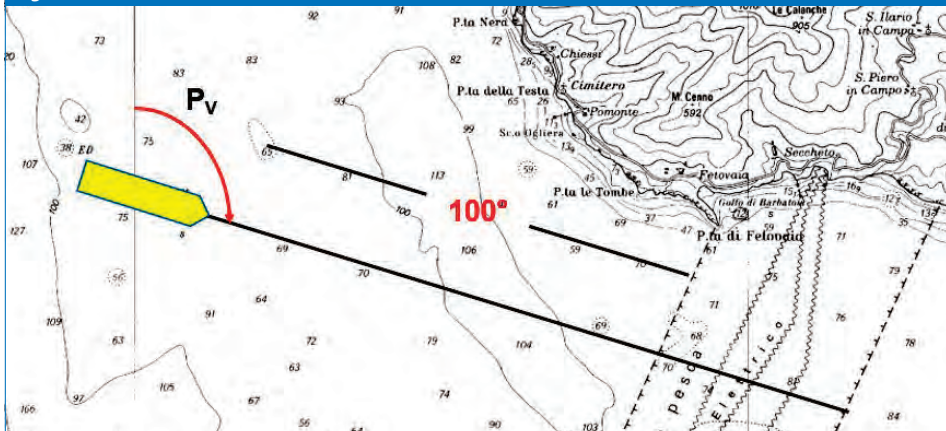
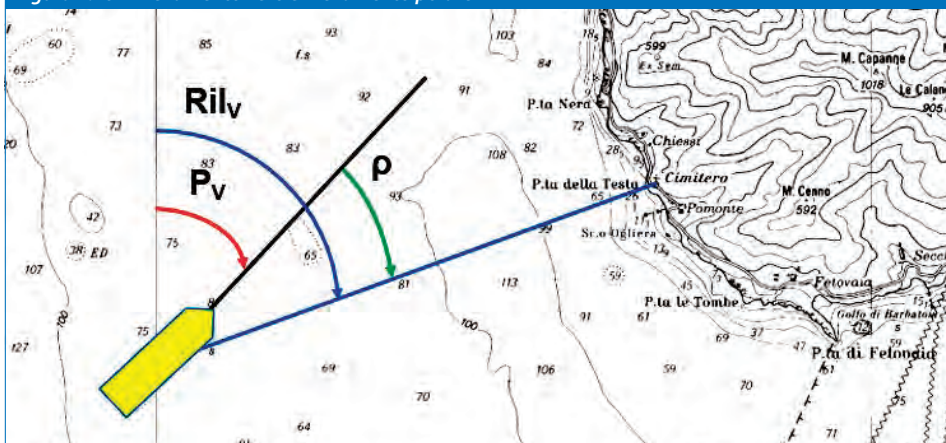


Figura 1.18 - Rilevamento vero e rilevamento polare





1.2 NAVIGAZIONE STIMATA

La conoscenza della velocità della nave è molto importante. Essa fornisce il cammino percorso in un intervallo di tempo che, assieme alla Rotta (direzione), consente la determinazione della posizione stimata lungo la traiettoria prescelta.

$$m = V \times \Delta t$$

m = cammino V = velocità Δt = intervallo di tempo tra due punti

Pertanto, la bussola (magnetica o giroscopica) e il solcometro (o il tachimetro), permettono di ottenere il **punto stimato, P_s (DR – dead reckoning position)**. Essi sono gli strumenti indispensabili per condurre una **navigazione stimata (estimated navigation)**.

1.2.1 MISURA DELLA VELOCITÀ

Gli strumenti che forniscono la misura della velocità della nave sono chiamati, in generale **solcometri**. Più precisamente, il **solcometro (speed-log)** è lo strumento col quale si misura il cammino percorso dalla nave. È necessario porre attenzione al tipo di dato che viene fornito dallo strumento in quanto i modelli più semplici e tradizionali forniscono la velocità rispetto all'acqua, indicata con la sigla **STW (Speed Through the Water)**, che può differire da quella riferita al datum terrestre, cioè al fondo marino, a causa dell'influenza degli elementi meteomarinari. I solcometri che misurano la STW sono:

- ▶ **Solcometro ad elica** La velocità è restituita come valore proporzionale al numero di giri nell'unità di tempo di un'elichetta posta sulla carena (utilizzato essenzialmente su imbarcazioni piccole).
- ▶ **Solcometro elettromagnetico** La velocità è restituita come valore proporzionale ad una forza elettromotrice indotta da parte dell'acqua di mare, intesa come mezzo conduttore, su un avvolgimento che genera un campo magnetico (statico a nave ferma).
- ▶ **Solcometro a tubo di Pitot.**

La velocità reale è fornita dal GPS, che determina lo spostamento lungo un arco di geodetica confrontando continuamente le successive posizioni della nave, e in tal caso si parla di **SOG (Speed Over Ground)**. Altro strumento che fornisce la SOG è il **Solcometro Doppler**.

1.2.1.1 Tachimetro e solcometro a pressione idraulica (a tubo di Pitot)

Tale tachimetro si basa sul principio del **tubo di Pitot**. Questo è costituito da due prese d'acqua (tubi), di cui una statica ed una dinamica. La presa dinamica è realizzata con un tubo sporgente dallo scafo e collocato sotto la chiglia, con l'apertura rivolta dalla parte della prua. In questo tubo l'acqua sale per effetto della pressione dinamica (dovuta alla velocità dei filetti fluidi spostati dalla nave), che è data:



$$\rho_d = \rho_s + \frac{1}{2} \times \omega \times V^2$$

in cui ρ_s è la pressione statica (idrostatica), ω la densità dell'acqua di mare e V è la velocità della nave. I due tubi mandano l'acqua dalle parti opposte di un diaframma elastico di un manometro differenziale. I valori di V si ottengono dalla differenza tra le due pressioni (statica e dinamica) e vengono poi trasmessi elettricamente a speciali quadranti che indicano continuamente la velocità e il cammino della nave.

1.2.1.2 Solcometro Doppler

Dal principio fisico che definisce la variazione di frequenza (Δf), subita da un'onda a causa del moto relativo dell'emittente o del ricevente o di entrambe, si risale alla determinazione della velocità della nave (**effetto Doppler**). Due trasduttori sporgenti sotto la chiglia emettono dei segnali ultrasonori alla frequenza f_0 . I segnali raggiungono il fondo e subiscono un primo effetto Doppler, perché esiste un moto relativo tra questo e la nave (sorgente) (Figura 2.1). I segnali vengono riflessi e ritornano ai trasduttori ove subiscono, sempre per il moto relativo, un nuovo effetto Doppler. Complessivamente il segnale ricevuto ha subito un effetto Doppler (variazione della frequenza) pari a:

$$\Delta f = 2f_0 \times \frac{V}{u}$$

u è la velocità delle onde ultrasonore in acqua di mare pari a circa 1500 m/s.

La misura della velocità sino a 600 m di profondità è calcolata dal solcometro tramite la funzione «**bottom track**». Se la profondità del fondale superano i 600 m, il Sonar Doppler calcola la Velocità relativa (rispetto alla superficie), sfruttando il riverbero dall'acqua (funzione «**water track**») (Figura 2.2).

Figura 2.1 - Solcometro Doppler

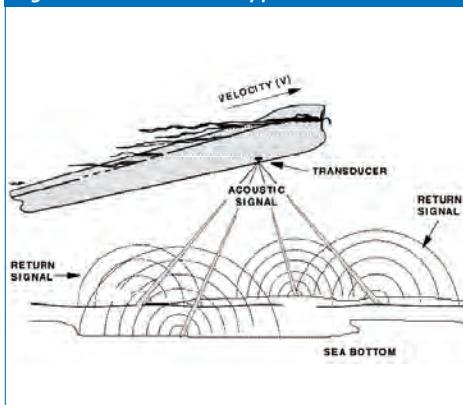
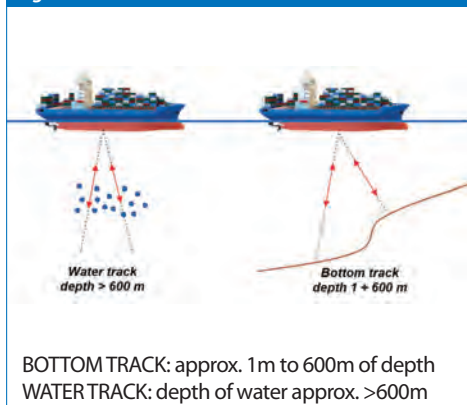


Figura 2.2 - Bottom & water track

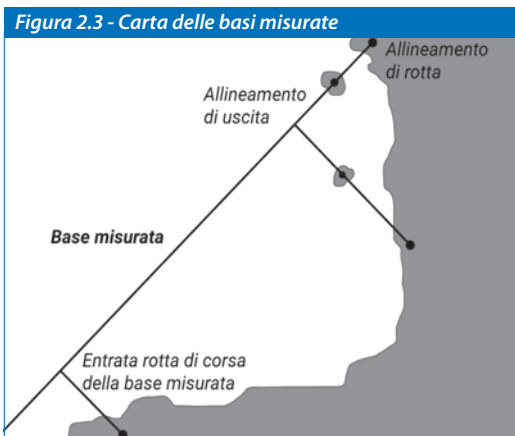


Grazie all'utilizzo di più trasduttori in diverse posizioni sguardati simmetricamente rispetto al piano diametrale (ad esempio due a prua e quattro a poppa), il doppler riesce a

fornire anche la velocità trasversale della sola poppa o della sola prua; questo lo rende utilissimo in fase di manovra perché permette di valutare immediatamente la rotazione della nave, e in navigazione consente di apprezzare gli effetti disturbanti di vento e corrente.

Per calibrare i solcometri si effettua, con la nave, un percorso di lunghezza noto. Dovendo risolvere la formula « $V=m/d_t$ » è necessario conoscere il percorso « m » ed il tempo impiegato « d_t ». È possibile, quindi, per confronto, verificare le indicazioni fornite dai solcometri alle varie andature e ricavare eventuali correzioni. I cammini noti che la nave può percorrere sono forniti dalle **basi misurate**, segnate su alcune carte o Pubblicazioni nautiche (Pubblicazione I.I.M. 3045 - Ed. 1987) (Figura 2.3).

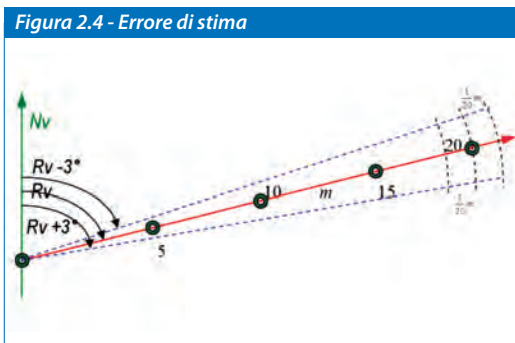
Una base misurata è delineata da alcuni allineamenti facilmente individuabili, in modo che il percorso sia univocamente individuato. La base viene percorsa nel doppio senso per eliminare gli effetti di correnti. Si assume per velocità effettiva la media ottenuta su due tratti.



1.2.2 ERRORE DI STIMA

Come detto precedentemente, il punto stimato « P_s » è quello ottenuto stimando la rotta e la velocità. Il calcolo « $m = V \times \Delta t$ » è quello più semplice e risolutivo. L'errore che generalmente viene commesso sulla rotta varia tra $+2^\circ$ e $+4^\circ$, mentre sul cammino si commette un errore tra $\pm 1/10$ mg e $\pm 1/20$ mg (Figura 2.4). La somma degli errori su rotta e cammino, comporta un **errore sul punto**

stimato (e_s) di circa **1/17mg**, che aumenta con l'aumentare del cammino percorso. In altre parole, la nave si trova con molta probabilità in un cerchio avente per centro il P_s e per raggio l'errore di stima (massimo valore 40 mg).

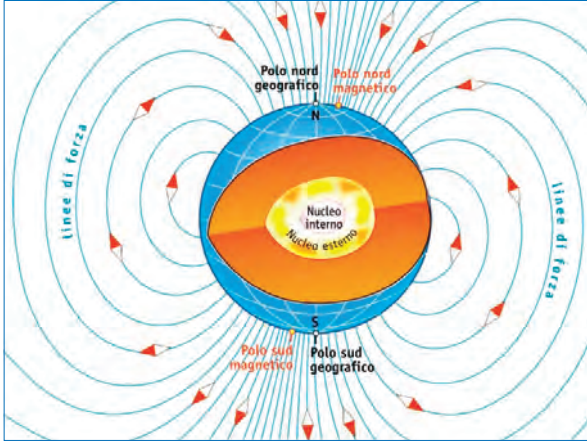




1.3 MAGNETISMO E BUSSOLA MAGNETICA

1.3.1 CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Figura 3.1 - Campo magnetico terrestre

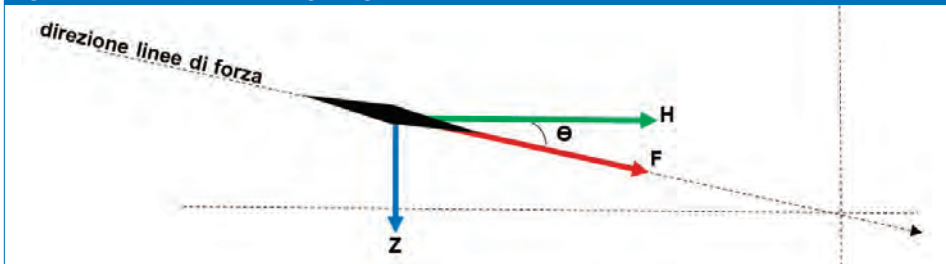


La Terra è sede di un campo magnetico, la cui natura non è completamente nota (Figura 3.1). Le caratteristiche del **campo magnetico terrestre, c.m.t. (earth magnetic field)** sono assimilabili a quelle di un dipolo magnetico, le cui linee di forza si esercitano dal polo magnetico Nord al Polo magnetico Sud.

I poli magnetici terrestri non sono molto lontani da quelli geografici, (circa 1.000 miglia). Un ago magnetico,

sospeso per il suo baricentro, si dispone lungo il **vettore intensità di campo F (forza magnetica)**, tangente alle linee di forze, che forma col piano orizzontale un angolo « θ », detto **inclinazione magnetica (magnetic dip)**. La direzione dell'intensità di campo totale « F » (convenzionalmente rivolto verso il Polo Nord Magnetico) forma con la verticale del luogo il piano meridiano magnetico. Se si scompone F lungo la verticale e nel piano orizzontale si ottengono la componente verticale « Z » del c.m.t. e la componente orizzontale « H » del c.m.t. (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Orientamento di un ago magnetico



All'equatore magnetico, che coincide all'incirca con l'equatore geografico, risulta $\theta=0^\circ$ e quindi $Z=0$ e H massimo. Ai Poli magnetici risulta $H=0$ e Z massimo. Il vettore F risulta depresso nell'emisfero magnetico nord ed elevato sull'orizzonte nell'emisfero magnetico sud. Pertanto, θ varia da 90° sotto l'orizzonte a 90° sopra l'orizzonte. Gli aghi magnetici installati sulla rosa della bussola non sono liberi di assumere qualsiasi giacitura nello spazio, bensì sono vincolati al piano orizzontale: questo significa che la loro forza direttiva è

rappresentata dalla sola componente orizzontale H della forza magnetica, che risulta via via minore man mano che ci si avvicina ai poli magnetici, cioè man mano che F tende a diventare verticale. Per questo motivo, ai Poli, la bussola magnetica non può essere utilizzata.

1.3.2 BUSSOLA MAGNETICA

La **bussola magnetica** (*magnetic compass*) è la bussola che indica il **Nord magnetico**, **Nm** (*Magnetic North*), discostato dal **Nord vero**, o **geografico**, **Nv** (*True North*) dell'angolo di **declinazione magnetica**, **d** (*magnetic variation*).

L'elemento sensibile è rappresentato da aghi magnetici, che compensano l'azione del campo magnetico costante, prodotto dai ferri duri della nave (*Figura 3.3*). Per effetto della presenza dei ferri di bordo, sulle navi in metallo, la bussola magnetica indicherà il **Nord bussola**, **Nb** (*Compass North*), discostato dal Nm dell'angolo di **deviazione magnetica**, **δ** (*deviation*). Sia la declinazione che la deviazione possono essere E (+) o W (-). La declinazione varia da 0 a 180°. Entrambe variano da luogo a luogo e con il tempo; la deviazione varia anche con la prora della nave. L'**errore totale della bussola** (*compass error*) è la **Variazione Magnetica**, somma algebrica tra la deviazione e la declinazione:

Figura 3.3 - Bussola magnetica



$$V = d + \delta$$

1.3.2.1 Ferri dolci e ferri duri

I metalli dello scafo, sotto l'influenza del campo magnetico terrestre, nel periodo in cui la nave è sullo scalo di costruzione, durante l'allestimento e durante l'esercizio, si magnetizzano con polarità nord - sud. Il comportamento dei vari ferri di bordo, rispetto alla magnetizzazione dovuta al campo magnetico terrestre, non è lo stesso, dipendendo dalla percentuale di carbonio contenuto nel ferro stesso.

Bisogna distinguere i **ferri dolci** (*mild steel*), privi di carbonio (< 0,25%), dai **ferri duri** (*high carbon steel*), ovvero gli **acciai**, con grande percentuale di carbonio (> 0,25%). I ferri dolci, se immersi in un campo magnetico, si magnetizzano e restano magnetizzati finché restano nel campo. Se varia l'orientamento, cambiano polarità; se vengono allontanati dal campo, si smagnetizzano. Poiché gli elementi del campo magnetico terrestre variano da punto a punto della Terra, variando il campo induttore (campo magnetico terrestre), col variare della posizione della nave sulla Terra, varierà il campo indotto nei ferri dolci di bordo. Il campo magnetico dei ferri dolci di bordo si chiama anche **campo magnetico temporaneo di bordo**. Questo viene compensato da altri ferri dolci (sfere di Thomson e sbarra di Flinders).

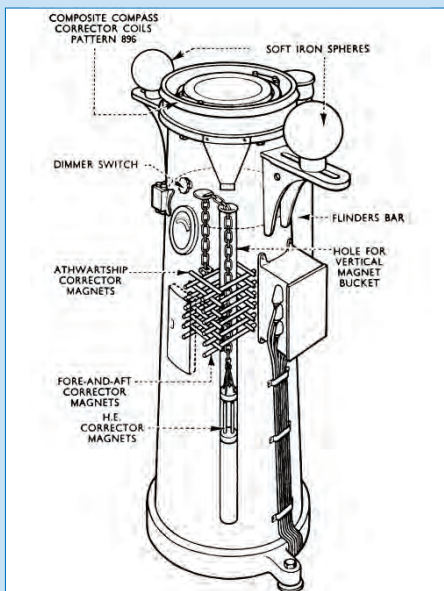


Il campo magnetico indotto nei ferri duri di bordo, il quale nasce durante la costruzione e l'allestimento della nave e che può modificarsi leggermente durante i primi anni di vita della nave, acquista sede e intensità costante, per cui viene chiamato **campo permanente di bordo** (*ship's magnetic field*). Questo viene compensato mediante appositi magneti.

1.3.2.2 Parti di una bussola magnetica

La bussola magnetica è costituita essenzialmente da due o più aghi paralleli che portano la **rosa dei venti o quadrante** (*compass card*), solidale ad essi. L'origine della gradazione della rosa coincide col polo nord degli aghi. Rosa ed aghi poggiano su un piccolo telaio di materiale amagnetico, al centro del quale è ricavato un **cappelletto** nel cui interno è posta una pietra dura (rubino, agata). L'insieme di queste parti costituisce l'**equipaggio magnetico** della bussola. Il cappelletto poggia su un perno dalla punta dura (acciaio, iridio), fissato al centro del **mortaio o bossolo** (*compass bowl*), il quale è appesantito di zavorra nella parte inferiore e poggia, mediante una sospensione cardanica, sulla **chiesuola** (*bin-nacle*), montata nel piano longitudinale della nave (colonnina, di materiale amagnetico, che sostiene la bussola e la tiene saldamente fissata al ponte). All'interno del mortaio, in corrispondenza dell'asse longitudinale della nave, è sistemata la **linea di fede** (*lubber line*), che consente la lettura della Prora. La chiesuola ha due mensole per sostenere le **sfere di Thomson** (*Kelvin's balls*), due semplici sfere o cilindri di ferro. Vi è inoltre un astuccio cilindrico, la **sbarra di Flinders** (*Flinders' bar*), che contiene pezzi di ferro dolce per la compensazione. All'interno della chiesuola è altresì presente un **canestrello**, collegato ad una catenella, contenente appositi aghi magnetici con lo scopo di compensare le oscillazioni della rosa, dovute ai movimenti della nave (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Elementi di una bussola magnetica



Le bussole magnetiche vengono installate, a bordo, in controplancia; grazie ad un sistema di specchi e lenti (tubo ottico), l'immagine della rosa è riprodotta su un visore, montato nella postazione del timoniere, in plancia. La lettura del rilevamento è resa possibile grazie all'utilizzo dell'**apparecchio azimutale (azimuth device)**, una corona metallica o un semplice elemento diametrale, da installare sul mortaio, che può essere ruotato per mirare oggetti costieri determinandone così il rilevamento bussola (è utilizzato anche per le girobussole). Il suo funzionamento è già stato trattato precedentemente, nel *capitolo 1* di questo manuale.

1.3.2.3 Determinazione della declinazione magnetica

Su ogni carta nautica è riportato il valore della declinazione magnetica locale, per l'epoca in cui è stata stampata e la sua variazione annuale.

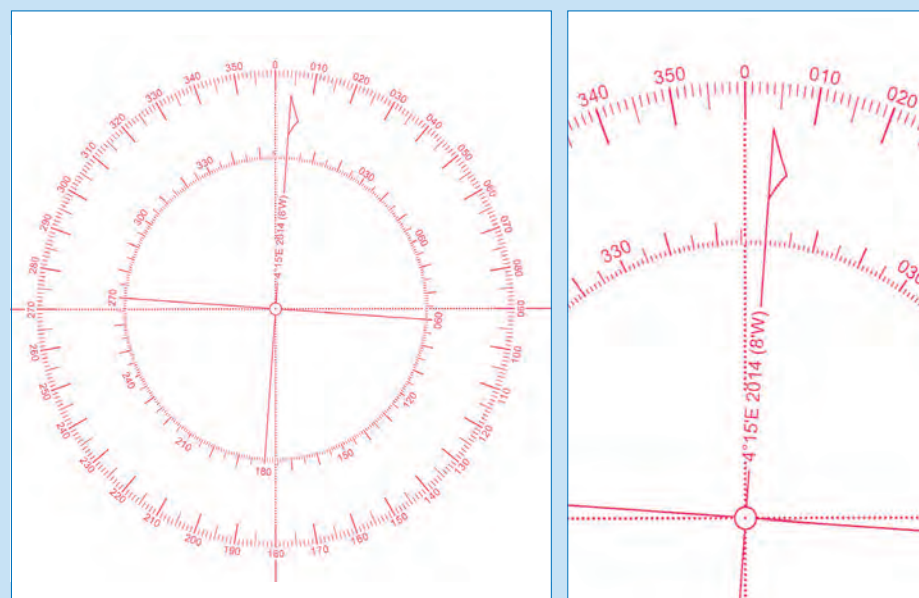
Nell'esempio riportato in *Figura 3.5*: $d=4^{\circ}15' E$ nel 2014 (8'W). Il suo valore nel 2021 risulta:

$$d_{2021} = 04^{\circ}15' - (8' \times 7) = 03^{\circ}19' E$$

In questo caso - con declinazione E - la variazione della declinazione, avvenendo verso W, va sottratta al valore di partenza. Se la variazione fosse avvenuta verso E, si sarebbe sommata al valore di partenza. In caso di declinazione W avviene l'esatto contrario.

La variazione della declinazione può essere intesa anche come un aumento o una diminuzione annuale: in tal caso occorrerà sommare o sottrarre il valore calcolato in relazione all'intervallo di anni considerati al valore di partenza.

Figura 3.5 - Rosa di declinazione su una carta tradizionale





1.3.2.4 Determinazione della deviazione magnetica

L'ago della bussola magnetica, sottoposto all'azione dei campi magnetici terrestri, temporaneo e permanente, si orienterà secondo la risultante delle dette forze, dirigendosi non più verso il Nord magnetico, come a terra, ma verso una nuova direzione, che varia al variare della prora della nave, e che si chiama Nord deviato o Nord bussola. L'angolo tra il Nord magnetico e il Nord bussola si definisce deviazione, « δ ».

1.3.2.5 Compensazione

Analizzando l'influenza dei tre campi magnetici su tutti i ferri di bordo (scafo, sovrastrutture, alberatura, macchine e caldaie, ecc.) si riesce, dopo una grande quantità di sviluppi analitici, a stabilire l'**equazione della deviazione** (equazione di Fourier, nota come formula approssimata della deviazione di Smith):

$$\delta = A^\circ + B^\circ \times \text{sen } Pb + C^\circ \times \text{cos } Pb + D^\circ \times \text{sen } 2Pb + E^\circ \times \text{cos } 2Pb$$

La compensazione è un'operazione effettuata periodicamente da tecnici appositi, i **periti compensatori (compass adjuster)**. A° , B° , C° , D° , E° sono **fattori approssimati** (Figura 3.6).

- ▶ A° rappresenta la deviazione costante, detta «apparente», spesso dovuta ad errori sistematici (es. non perfetto allineamento della linea di fede). È trascurabile.
- ▶ B° rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri duri longitudinali. Si compensa utilizzando magneti longitudinali. Dipendendo dal «sen» della Pb , B° è massimo per valori E/W. Il compensatore, pertanto, dopo aver inserito i magneti, verificherà che il valore della deviazione per Pb 090° e 270° sia piccolo.
- ▶ C° rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri duri trasversali. Dipendendo dal «cos» della Pb , C° è massimo per Pb N/S. Il compensatore, pertanto, dopo aver inserito i magneti, verificherà che il valore della deviazione per Pb 000° e 180° sia piccolo.

I magneti per compensare i ferri duri vengono inseriti dal compensatore all'interno della chiesuola. D° rappresenta la deviazione massima provocata dai ferri dolci orizzontali simmetrici di bordo.

- ▶ D° si compensa con una coppia di sfere (di Thomson) o cilindri di ferro dolce, posta a dritta e a sinistra della bussola (correttori). Dipendendo dal «sen» di $2Pb$, D° è massima per Pb $045^\circ/225^\circ/135^\circ/315^\circ$ (valori intercardinali). Il compensatore, quindi, verificherà il valore di deviazione per i valori di Pb sopracitati.
- ▶ E° rappresenta la deviazione massima prodotta dai ferri dolci orizzontali asimmetrici di bordo. Generalmente, essendo difficile (impossibile) applicare correttori asimmetricamente intorno alla bussola, non si possono compensare. Tuttavia, se le compensazioni degli altri fattori di

La deviazione prodotta dal ferro dolce verticale di bordo può essere compensata con la sbarra di Flinders, la quale viene introdotta dentro un astuccio di ottone, che è disposto a proravia o a poppavia della rosa della bussola e arriva ad un'altezza di circa 2 cm sulla rosa. La barra di Flinders è costituita da una serie di cilindretti di ferro dolce.

deviazione (A° , B° , C° , D°) è andata a buon fine, il valore di E° non dovrebbe essere alto. Il compensatore, quindi, verificherà il valore della deviazione per Pb $000^\circ/180^\circ/090^\circ/270^\circ$.

Figura 3.6 - Fattori approssimati della compensazione

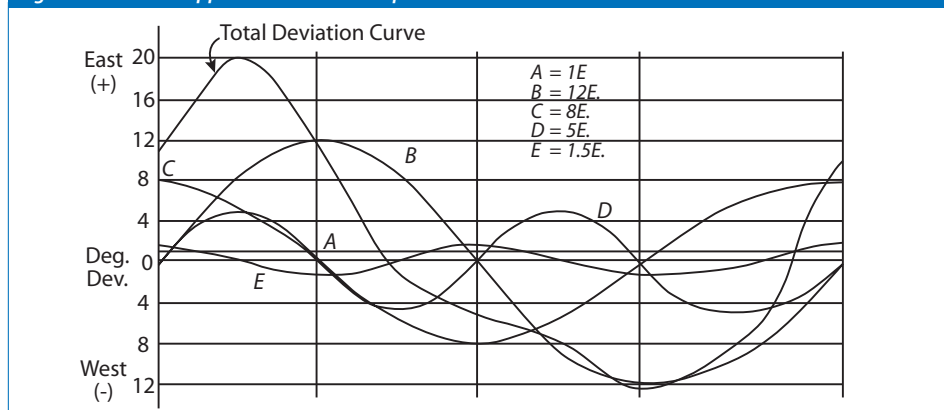
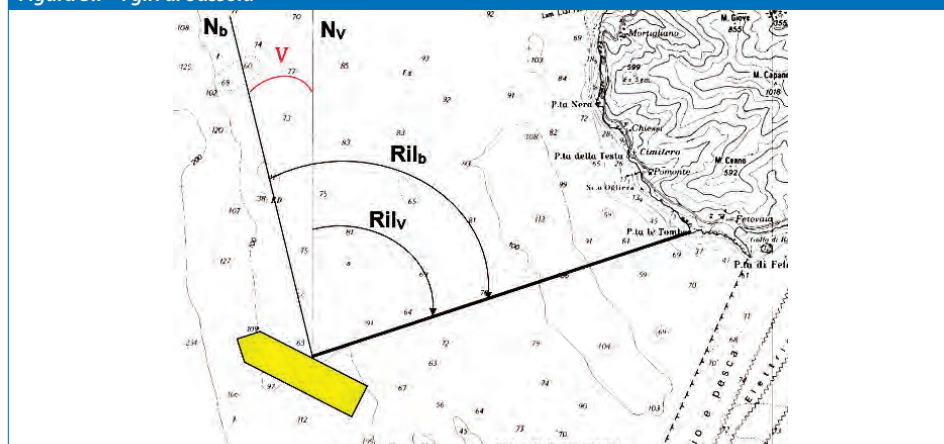


Figura 3.7 - I giri di bussola



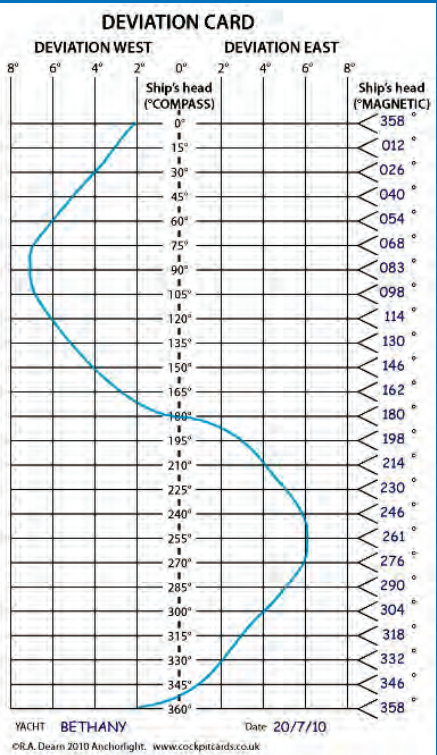
La determinazione delle deviazioni viene effettuata confrontando, per un certo numero di Prore (ogni 15°), i Rilevamenti letti alla bussola (Ril_b) di un punto notevole costiero con quelli magnetici, ($Ril_m = Ril_v - d$). L'operazione è detta **giri di bussola** (Figura 3.7) perché implica uno o più giri completi d'orizzonte della nave (almeno due). Per ogni prora assunta della nave, risulta:

$$\delta = Ril_m - Ril_b$$

Dopo aver effettuato la compensazione, le **deviazioni** vengono ridotte a valori esigui (dell'ordine del grado) e segnate sulla **Tabella delle deviazioni (Deviation Card)**, redatta annualmente (Figure 3.8 e 3.9). Si parla di **deviazioni residue**, in quanto la deviazione non può essere annullata totalmente, ma solo ridotta. Essendo la deviazione un valore che varia in funzione del magnetismo dei ferri di bordo (collegato al c.m.t. e, quindi alla declinazione), la Tabella delle Deviazioni dovrebbe essere redatta ogni volta che la nave cambia drasticamente itinerario.



Figura 3.8 - Curva di deviazione magnetica



Interpolazione dei dati della tabella delle deviazioni:

- calcolare la differenza tra i valori di deviazione corrispondenti alle prore tabulate che "contengono" quella per cui si cerca la deviazione;
- dividere tale differenza per il numero di gradi che separa le due prore tabulate, ottenendo così la variazione di deviazione per ogni grado di quell'intervallo;
- moltiplicare questo valore per il numero di gradi che separa una delle prore tabulate da quella per cui si cerca la deviazione;
- sommare o sottrarre il dato ottenuto alla deviazione corrispondente alla prore tabulate considerata.

Figura 3.9 - Tabella delle deviazioni residue

TABELLA DELLE DEVIAZIONI RESIDUE
IMBARCAZIONE "PALMARIA"

Prora Magnetica	Deviazione	Prora Bussola
000°	+ 2°,8	357°,2
005°	+ 3°,3	001°,7
010°	+ 3°,9	006°,1
015°	+ 4°,2	010°,8
020°	+ 4°,8	015°,2
025°	+ 5°,3	019°,7
030°	+ 5°,7	024°,3
035°	+ 6°,0	029°
040°	+ 6°,4	033°,6
045°	+ 6°,7	038°,3
050°	+ 6°,9	043°1

Prora Magnetica	Deviazione	Prora Bussola
185°	- 6°,7	191°,7
190°	- 7°,1	197°,1
195°	- 7°,4	202°,4
200°	- 7°,8	207°,8
205°	- 8°,1	213°,1
210°	- 8°,4	218°,4
215°	- 8°,6	223°,6
220°	- 8°,7	228°,7
225°	- 8°,8	233°,8
230°	- 8°,8	238°,8
235°	- 8°,7	243°,7



1.3.2.6 Conversione e correzione di prore e rilevamenti

Per quanto detto, la bussola fornisce la direzione dell'asse longitudinale della nave rispetto a quello del campo magnetico di bordo. Se ci riferiamo al meridiano geografico, a quello magnetico o a quello deviato (bussola) si hanno rispettivamente la **Prora vera, Pv (True Heading)**, la **Prora magnetica, Pm (Magnetic Heading)** o la **Prora bussola, Pb (Compass Heading)**.

Analoghe relazioni si stabiliscono facilmente con i rilevamenti veri, magnetici e bussola di un oggetto costiero². Il passaggio da una Prora bussola, Pb (o Rilevamento bussola, Rilb), alle corrispondenti prora magnetica o vera si dice che si opera una **correzione di prore (o di rilevamenti)**. Se invece si effettua l'operazione inversa, se cioè si trasforma una prora vera (o un rilevamento vero) nelle corrispondenti magnetica e bussola, si dice che si opera una **conversione di prore (o di rilevamenti)** (Figura 3.10).

CORREZIONE

$$\begin{array}{lll} P_v = P_b + (\pm) \delta + (\pm) d & P_m = P_b + (\pm) \delta & P_v = P_m + (\pm) d \\ R_{il_v} = R_{il_b} + (\pm) \delta + (\pm) d & R_{il_m} = R_{il_b} + (\pm) \delta & R_{il_v} = R_{il_m} + (\pm) d \end{array}$$

CONVERSIONE

$$\begin{array}{lll} P_b = P_v - (\pm) d - (\pm) \delta & P_m = P_v - (\pm) d & P_b = P_m - (\pm) \delta \\ R_{il_b} = R_{il_v} - (\pm) d - (\pm) \delta & R_{il_m} = R_{il_v} - (\pm) d & R_{il_b} = R_{il_m} - (\pm) \delta \end{array}$$

1.3.2.7 Caratteristiche della bussola magnetica

La bussola magnetica, per un buon funzionamento, deve possedere determinati requisiti, dei quali i più importanti sono:

- ▶ **L'orizzontalità della rosa** si ottiene dando all'equipaggio magnetico una sospensione pendolare. In tal modo, la componente verticale Z tende ad inclinare la rosa, spostandone il baricentro dalla verticale del punto di sospensione. Nasce così una coppia raddrizzante che contrasta l'azione inclinante. Si raggiunge l'equilibrio quando le due coppie sono uguali e ciò può ottenersi, in sede di progetto, anche con un angolo di inclinazione della rosa di circa 1°, sufficiente per ritenerla orizzontale.
- ▶ La **stabilità di una rosa** è la sua proprietà a mantenere l'orizzontalità e la direttività anche in presenza di disturbi esterni quali vibrazioni, movimenti di rollio e beccheggio.
- ▶ **L'accuratezza di una bussola** è la capacità di fornire una misura il più possibile vicina al valore vero. Essa dipende dall'orizzontalità della rosa, dalla gradazione della stessa, dalla posizione della linea di fede, dalle oscillazioni, dalla conoscenza degli errori dovuti al campo magnetico prodotto dai ferri di bordo. Ogni occasione è buona per controllare l'accuratezza della bussola che tra l'altro dipende dalla prora della nave, dalla località e dal tipo di carico. Il Regolamento per la sicurezza della navigazione prescrive il controllo

² Nelle operazioni di correzione/conversione di rilevamenti, l'elemento di entrata nella Tabella delle deviazioni è la Prora bussola o la Prora magnetica

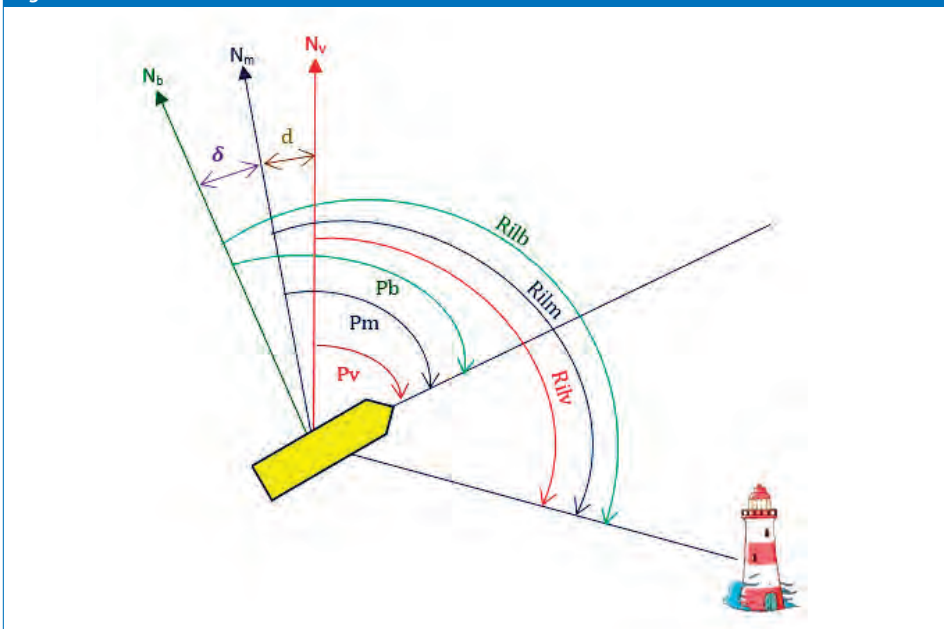


della bussola al sorgere ed al tramonto del sole.

- La **sensibilità di una bussola** esprime la capacità di rilevare le più piccole accostate della nave. Quando la nave accosta, l'attrito esistente tra perno e cappelletto tende a trascinare la rosa e quindi a portare gli aghi fuori dalle linee di forza di un piccolo angolo. Nasce perciò una coppia direttiva, la quale, se vince l'attrito, riporta gli aghi lungo le linee di forza. Per le buone bussole tale angolo si aggira sul mezzo grado. Una buona sensibilità richiede un elevato momento magnetico della rosa e questo può verificarsi solo con aghi grossi e quindi pesanti. Ciò costituirebbe un inconveniente in quanto aumenterebbe l'attrito tra perno e cappelletto, con rapida usura delle parti. A tale inconveniente si può ovviare con le bussole a liquido, che trasmettendo alla rosa (munita di adatto galleggiante), l'adeguata spinta idrostatica, riduce la reazione tra le parti mobili, e quindi l'attrito e l'usura. Una bussola poco sensibile è pigra, cioè stenta ad orientarsi. Ciò costituisce un grave inconveniente soprattutto nelle accostate. Il liquido è una **miscela di acqua (70%) ed alcool (30%)**, per abbassare il punto di gelo se si naviga in zone fredde (fino a temperature di -30°C) e per smorzare rapidamente le oscillazioni della rosa.
- L'**affidabilità di una bussola** indica la proprietà che essa non sia soggetta ad avarie. La bussola magnetica è uno strumento per sua natura molto affidabile se si rispettano le normali ed elementari precauzioni per la sua manutenzione, come evitare urti, protezione dai raggi solari, controllo del liquido, dello stato della rosa, dell'usura del perno, dello stato delle guarnizioni.

La bussola magnetica è trattata nella **SOLAS al cap. V reg. 19**; il suo posizionamento a bordo è definito nella **Risoluzione IMO A.832(X)**.

Figura 3.10 - Conversioni e correzioni di Prore e Rilevamenti





1.4 LA GIROBUSSOLA

La girobussola (**gyroscopic compass**) è uno strumento che indica il **Nord gyro (Ng)**, discostato dal **Nv** dell'angolo di **deviazione giroscopica, δg (gyroscopic deviation)**. È trattata al **capitolo V reg. 19** della SOLAS e nella **IMO Res. A.424 (XI)**. La girobussola sfrutta la proprietà della **rotazione terrestre** e della precessione forzata di un girostato. La Terra ha un moto di rotazione antioraria intorno al suo asse (asse polare). Il vettore di **velocità angolare** è diretto lungo l'asse polare, perpendicolarmente al verso di rotazione terrestre (Figura 4.1). In un punto qualsiasi della terra, si scompone in due componenti:

- ▶ una lungo la verticale dell'osservatore, che fa ruotare l'orizzonte verso W ed è responsabile del **moto in altezza degli astri**;
- ▶ una lungo il meridiano, responsabile del **moto in azimuth degli astri** (fa innalzare l'ovest ed abbassare l'est) (Figura 4.2).

$$\omega_O = \omega_T \times \cos \varphi$$

$$\omega_V = \omega_T \times \sin \varphi$$

ω_O è responsabile dell'orientamento della girobussola. È nulla ai poli ($\cos 90^\circ=0$) e pressoché nulla nelle zone polari.

1.4.1 GIROSTATO E GIROSCOPIO

Il **girostat** è un corpo rigido (disco) ruotante ad alta velocità angolare intorno al suo **asse di simmetria (asse di spin)**.

Il disco è a forma di ciambella (toroide), con la massa distribuita alle estremità, al fine di garantire un elevato momento di inerzia (dipendendo questo dalla massa e dal quadrato della distanza tra la massa e l'asse). Nelle girobussole il girostato è un rotore di un motore elettrico asincrono con un elevato numero di giri.

Il **giroscopio** è un girostato montato su di una sospensione cardanica (due anelli: uno verticale ed uno orizzontale) che gli permette di assumere qualsiasi direzione nello spazio (x, y, z). In tal caso si parlerà di giroscopio a tre gradi di libertà (Figura 4.3).

1.4.1.1 Inerzia giroscopica

L'**inerzia giroscopica** è la capacità del giroscopio, a tre gradi di libertà e ad elevata velocità angolare, di mantenere il proprio asse di spin – a livello inerziale (ovvero a prescindere dalla rotazione terrestre) – orientato verso un punto fisso nello spazio (Figura 4.4).



Figura 4.1 - Rotazione terrestre

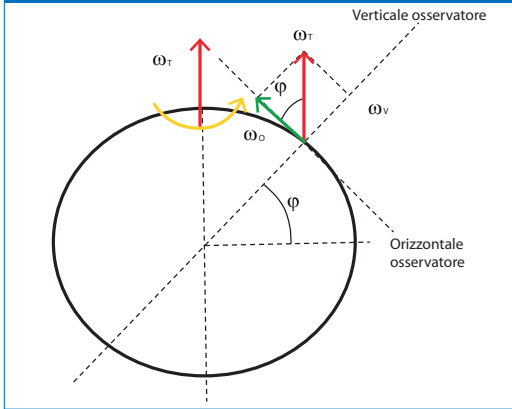


Figura 4.2 - Le componenti della forza di rotazione terrestre

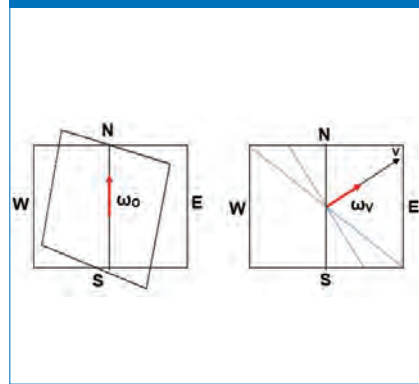


Figura 4.3 - Giroscopio



Figura 4.4 - Inerzia giroscopica



1.4.1.2 Precessione

Al giroscopio a 3 gradi di libertà, viene applicato un peso (p), ad una certa distanza dal suo baricentro. Si crea una coppia, C , diretta perpendicolarmente al peso applicato (quindi nel piano orizzontale). Se il giroscopio è fermo, l'asse di spin si abbatte nel piano verticale (dove agisce il peso). Se il giroscopio è in movimento, esso reagisce all'azione perturbatrice muovendosi nel piano perpendicolare (orizzontale) a quello in cui agisce il peso (verticale). Tale moto è detto **precessione libera**: in pratica l'asse di spin inseguirà la direzione della coppia, cercando di raggiungerla (Figura 4.5, sinistra).

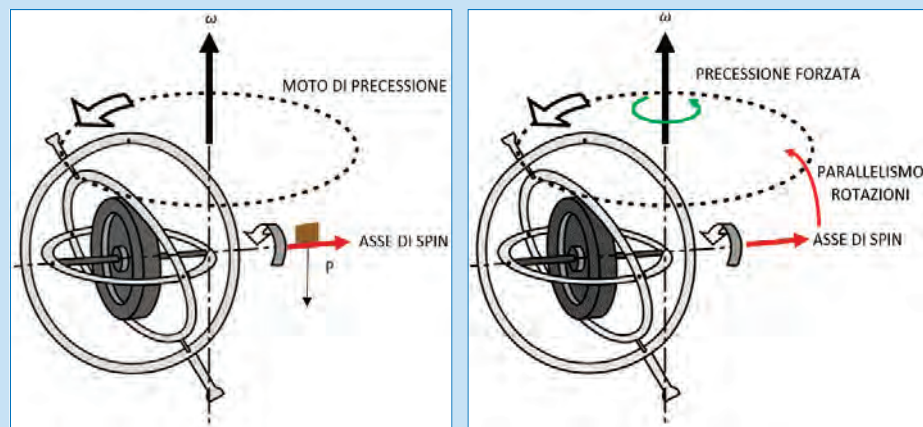
La velocità di precessione libera, rappresentata dal vettore ω si esprime con la formula:

$$\omega = \frac{C}{I \times \Omega}$$

dove C è la coppia applicata, I è il momento di inerzia e Ω è la velocità angolare del giroscopio.³

³ Il prodotto $I \times \Omega$ rappresenta il momento di quantità del moto.

Figura 4.5 - Precessione di un giroscopio: libera (a sinistra), forzata (a destra)



Se, invece, applichiamo al giroscopio una certa velocità di rotazione ω , l'asse di spin reagirà muovendosi in modo da ricercare la direzione della rotazione imposta. La rotazione ω si può considerare un moto di precessione provocato forzatamente dall'esterno (**precessione forzata**): il movimento dell'asse di spin corrisponde quindi all'effetto di una coppia uguale e contraria ($-C$) a quella che ha provocato la rotazione iniziale; agendo questa nel piano orizzontale, la tendenza dello spin sarà quella di disporsi verticalmente, cioè tenderà a sovrapporsi a ω (Figura 4.5, destra). Tale fenomeno prende il nome di **parallelismo delle rotazioni**.

1.4.2 ORIENTAMENTO DEL GIROSCOPIO

Il giroscopio è **vincolato** al piano orizzontale, impedendo il suo movimento in quello verticale. Il movimento in altezza del piano orizzontale per mezzo della componente della rotazione terrestre, viene accusato dal giroscopio come una rotazione esterna, avente come asse di rotazione il meridiano. Pertanto, l'asse di spin del giroscopio è indotto ad una precessione forzata e per il parallelismo delle rotazioni, tenderà a disporsi parallelo al piano orizzontale in cui agisce la rotazione e, quindi, in meridiano. Il momento della coppia direttrice secondo la quale l'asse di spin del giroscopio si orienterà in meridiano è pari a:

$$C = I \cdot \Omega \cdot \omega \cos \varphi \cdot \sin \alpha$$

I Momento d'inerzia del giroscopio rispetto all'asse di rotazione

Ω Velocità di rotazione del giroscopio

ω Velocità di rotazione della Terra

φ Latitudine

α Angolo d'inclinazione fra l'asse di rotazione del giroscopio ed il meridiano

Il modulo del momento è nullo quando l'asse di spin sarà orientato in meridiano ($\alpha=0$).



1.4.2.1 Sospensione e zavorramento del giroscopio

Nella pratica il giroscopio non si vincola direttamente al piano dell'orizzonte, perché bisognerebbe vincolarlo parallelo a sé stesso, ma lo si vincola alla sua **verticale**. In questo modo il **giroscopio è sospeso** e l'asse di rotazione è parallelo al piano dell'orizzonte (ma non vincolato in maniera rigida), permettendo così all'asse di rotazione di potersi sollevare. A bordo il giroscopio è sospeso sia per creare un piano orizzontale stabile, sia per fargli accusare meno le oscillazioni dovute al moto della nave e al mare. Per far sì che risenta dell'azione della rotazione dell'orizzonte viene inserito in una cassa opportunamente zavorrata, cioè con baricentro più basso rispetto al punto di sospensione (**giroscopio zavorrato**). Il giroscopio, prima di orientarsi in meridiano, descrive un'**ellisse**, il cui asse maggiore è parallelo all'orizzonte e l'asse minore è parallelo al piano del meridiano (Figura 4.6). Per ridurre il tempo di allineamento i costruttori realizzano delle **coppie di smorzamento** che schiacciano la spirale di oscillazione nei piani orizzontale e verticale.

Il **periodo di oscillazione** che impiega l'asse del giroscopio per allinearsi in meridiano è espresso dalla formula:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{I\Omega}{PI\omega \cos \varphi}}$$

Ai Poli, essendo $\cos 90^\circ = 0$, il periodo di oscillazione è infinito. Il limite di utilizzo della girobussola è 80° N/S. Si definisce **fattore di smorzamento (damping ratio)** il rapporto tra la semioscillazione precedente e la semioscillazione successiva (Figura 4.7). Generalmente è intorno a 3. Considerando una gyro avente periodo di oscillazione $T=90'$ con asse a 90° , essa impiegherà circa 3h 00m per disporsi in meridiano.

Per tale motivo la girobussola non viene spenta se la nave sosta in porto per meno di 24 ore e, in ogni caso, viene messa in moto almeno 3 ore prima della partenza. La gyro, comunque, si può considerare allineata quando l'asse è a circa 1° dal meridiano.

$90^\circ \text{ E} / 3$	$\rightarrow$	$30^\circ \text{ W} / 3$
$10^\circ \text{ E} / 3$	$\rightarrow$	$3.3^\circ \text{ W} / 3$
$1.1^\circ \text{ E} / 3$	$\rightarrow$	0.4° W

La IMO Resolution A.424(XI), che riguarda le girobussole, definisce orientata (*settled*) una girobussola se tre letture fatte ad intervalli di 30 minuti rientrano in un intervallo non superiore a 0.7° , inoltre impone che debba orientarsi entro 6 ore.

Il periodo della girobussola in realtà si sceglie di **84,4 minuti**, uguale cioè al **periodo di Schuler**⁴, perché si dimostra essere quello che rende trascurabili gli errori introdotti sul giroscopio dalle accelerazioni e dai moti oscillatori della nave. Esso è espresso dalla seguente formula, che tiene in considerazione il raggio terrestre, R e l'accelerazione di gravità, g:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{R}{g}}$$

⁴ Il periodo di Schuler è quello che avrebbe un pendolo con lunghezza pari al raggio terrestre.

Figura 4.6 - Oscillazione dell'asse giroscopico

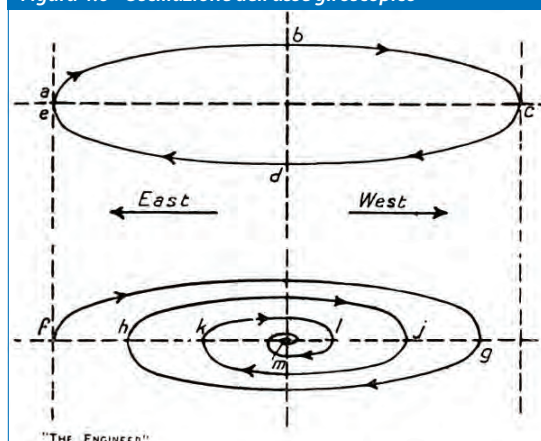
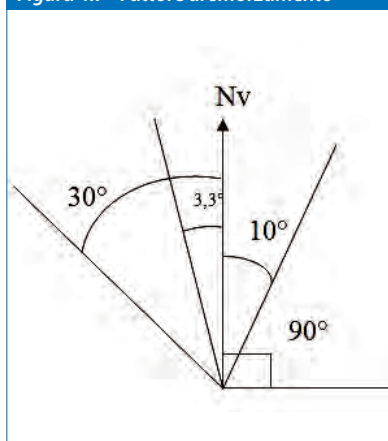


Figura 4.7 - Fattore di smorzamento



1.4.3 DEVIAZIONI DELLA GIROBUSSOLA

Le **deviazioni balistiche** sono dovute alle accostate, alle variazioni di velocità, ai movimenti di rollio e di beccheggio e fanno spostare l'asse di spin dal Nord. Tali deviazioni vengono annullate dal costruttore in fase di progetto:

- Distribuendo le masse intorno all'elemento sensibile (girosfera), nel modo più uniforme possibile.
- Conferendo al girostato come **periodo di oscillazione**, il periodo di Schuler, definito precedentemente.

Le deviazioni più rilevanti sono quelle dovute al moto della nave e dipendono dalla prora, dalla velocità e dalla latitudine alla quale si naviga.

Se la nave è ferma l'asse della girobussola si orienta per il N_v , perpendicolarmente alla **velocità di rotazione della terra** ($V_T = 900' \cos \varphi$) che è diretta per parallelo. All'Equatore, essendo $\cos 0^\circ = 1$, il vettore di velocità della terra è pari a 900'.

Se la nave è in movimento, oltre alla **velocità di rotazione della Terra** agisce la **velocità della nave**, V_N e l'asse di spin si orienterà perpendicolarmente alla **velocità risultante** $V_N + V_T$ (**moto nave + moto terrestre**), discostandosi dal N_v di un angolo δg ed indicando il N_g (Figura 4.8). Il valore della **deviazione giroscopica**, δg si ricava dalle Tavole Nautiche n.11.

$$\delta g = \tan^{-1} \left(-\frac{V \times \cos P v}{900 \times \cos \varphi} \right)$$

È «0» per $V=0$ e per $Pv=90^\circ/270^\circ$

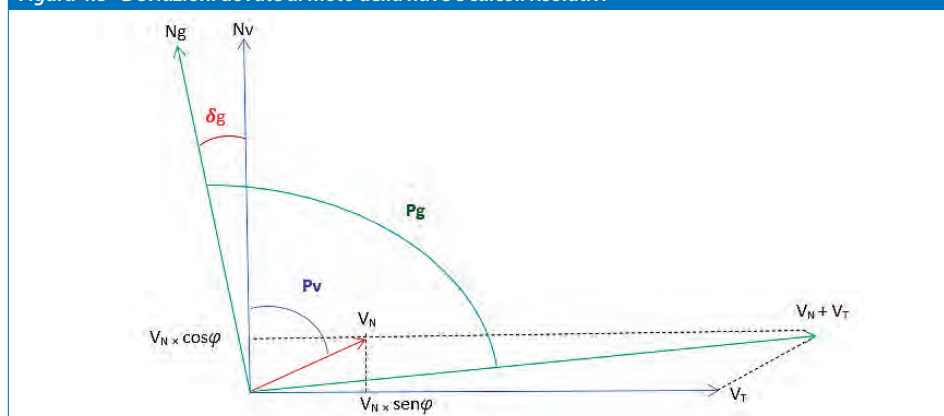
È «max» per $Pv 000/180^\circ$

Ai Poli è infinita.

Il segno della deviazione giroscopica sarà «+» (E) o «-» (W).



Figura 4.8 - Deviazioni dovute al moto della nave e calcoli risolutivi



Tali deviazioni sono automaticamente corrette da appositi **correttori automatici** all'interno delle girobussole. Nelle navi più vecchie tali strumenti sono separati (DOLOG) e permettono di apportare la correzione selezionando manualmente la latitudine della nave. Riferendosi a quanto riportato in *Figura 4.8* è facile desumere le seguenti relazioni:

$$P_g = P_v + \delta_g$$

$$P_v = P_g - \delta_g$$

Esistono diversi metodi a bordo per determinare l'errore della girobussola e quindi la corrispondente correzione da apportare alla lettura di prora, definita **correzione gyro, C_g** .

Oltre i metodi astronomici, affrontati al *capitolo 22* di questo manuale, ve n'è uno classico che consiste nell'allineamento, cioè rilevare con la ripetitrice un oggetto costiero nel momento in cui esso risulta esattamente allineato con un secondo oggetto; dalla carta si può facilmente misurare l'orientamento di tale allineamento, disponendo così di un dato «vero», cioè un Ril_v .

Sottraendo ad esso il valore del rilevamento effettuato nello stesso istante con la girobussola, cioè un Ril_g si avrà direttamente il valore della correzione gyro da apportare successivamente ad ogni lettura:

$$C_g = Ril_v - Ril_g$$

Per le girobussole sprovviste di correttori automatici, è necessario effettuare il confronto tra la deviazione e la correzione, per valutare il corretto funzionamento della bussola. Differenze maggiori di 1° evidenziano problemi allo strumento.

1.4.3.1 Parti di una girobussola

La girobussola si compone delle seguenti parti (*Figura 4.9*):

► **girobussola madre**, che si compone a sua volta in:

- **elemento sensibile o girocamera** contiene il giroscopio (o i giroscopi, a seconda del modello);
- **elemento fantasma** è il mortaio che contiene la parte sensibile, la rosa dei venti e quella d'azimut;

- **sostegno** parte strutturale connessa alla nave che comprende i supporti cardanici e la linea di fede. Opportuni sensori interni alla girobussola, 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;
- **dispositivo di smorzamento** parte di elemento sensibile che serve per lo smorzamento delle oscillazioni.

Generalmente a bordo sono installate **due girobussole** in un locale adiacente la plancia: prima della partenza e dell'arrivo della nave deve essere verificato il loro allineamento con le ripetitrici sul ponte di comando.

- **Sistema di allineamento e di inseguimento** parte che concorre all'allineamento tra elemento sensibile ed elemento fantasma.
- **Ripetitrici e autopilota** elementi che consentono il trasferimento dei dati, in forma digitale o analogica, alle ripetitrici, all'autopilota, al Radar ARPA.

Figura 4.9 - Parti di una girobussola Anshütz Standard 22: bussola madre, giosfera, pannello di controllo, ripetitrici. Per gentile concessione di Raytheon Anshütz.





1.5 BUSSOLE A FIBRE OTTICHE

Con le girobussole moderne l'impianto risulta più semplice e meno ingombrante di quello delle girobussole tradizionali (Figure 5.1a, 5.2b). Esse, infatti non hanno parti in movimento, ma **giroscopi a fibre ottiche (FOG, Fiber Optical Gyro)** costituiti da circuiti percorsi da un raggio luminoso. Sostanzialmente si tratta di sdoppiare un unico raggio luminoso in due diversi raggi, che viaggiano su un medesimo percorso ottico ad anello chiuso; ma in direzioni opposte: un raggio ruota in senso orario e l'altro in senso antiorario. Nei giroscopi FOG i raggi scorrono dentro un fascio di fibre ottiche lungo anche 5 km ed avvolte in spire del diametro di alcuni centimetri. Il fascio di luce viene diviso in due raggi da un apposito accoppiatore che ha anche il compito di ricombinare le onde di ritorno che hanno percorso il fascio di fibre ottiche in direzioni contrarie. La misura del segnale in uscita si effettua con un apposito fotodiodo (Figura 5.2). Per ottenere la funzione di orientamento si montano tre giroscopi disposti lungo una terna di assi cartesiani X, Y e Z che può coincidere con i tre assi della nave; per definire il piano orizzontale si impiegano inoltre due sensori di livello. La tecnologia utilizzata è nota come **strapdown**, ossia con i giroscopi montati rigidamente su un piano fisso rispetto alla nave e non su un piano mantenuto costantemente orientato e parallelo rispetto ad un piano di riferimento come nella navigazione inerziale di tipo tradizionale.

Figura 5.1a - Centralina di una girobussola FOG



Figura 5.2 - Principio di funzionamento di un giroscopio FOG

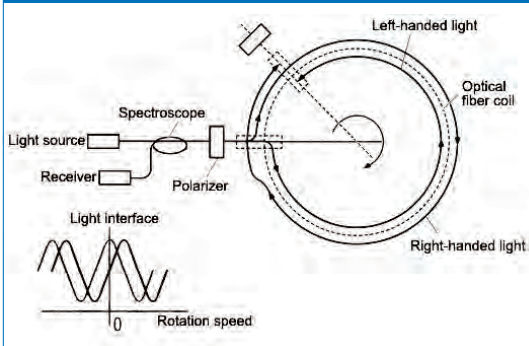
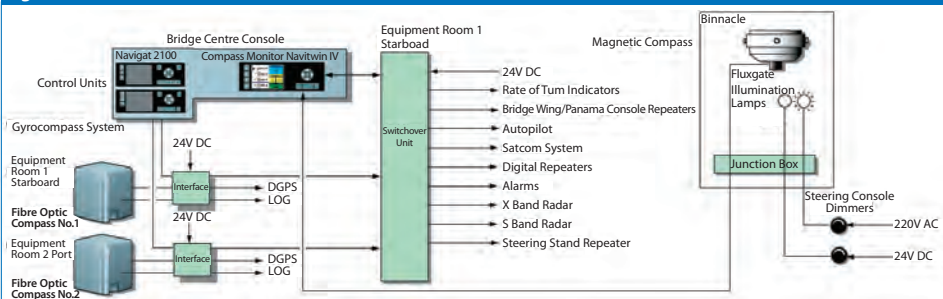


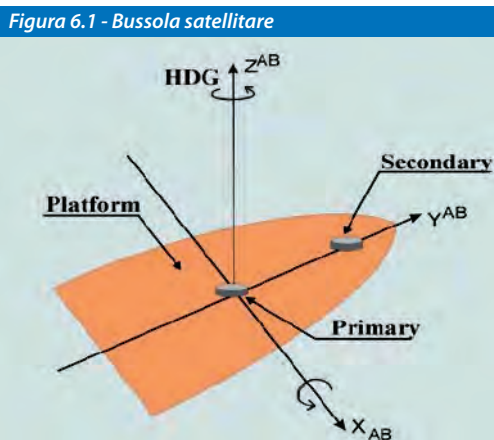
Figura 5.1b - Schema a blocchi



1.6 BUSSOLA SATELLITARE

La bussola satellitare è costituita da un'antenna, sistemata centralmente rispetto allo scafo e perfettamente allineata in modo ortogonale all'asse longitudinale dell'imbarcazione, all'interno della quale sono sistemati due ricevitori GPS allineati secondo l'asse trasversale della nave e un terzo ricevitore posto poco più verso prua degli altri due, sistemato lungo l'asse longitudinale (A, B e C).

Il funzionamento della bussola satellitare si basa sul calcolo, da parte di un microprocessore, della differenza di latitudine e longitudine di due ricevitori. Elaborando le varie posizioni dell'asse longitudinale, il microprocessore è in grado di stabilire con precisione l'angolo di prora dell'imbarcazione. L'errore di posizione assoluta del GPS è identico su tutti i ricevitori e, quindi, l'errore relativo è nullo (Figura 6.1).





1.7 CARTE NAUTICHE

La **carta nautica** (*nautical chart*) è una rappresentazione:

- ▶ **Approssimata** perché ogni qual volta viene rappresentata una parte della terra su di un piano si commettono delle deformazioni su angoli, distanze e aree. Si parla di carta **isogona** se non si effettuano deformazioni sugli angoli (modulo di deformazione angolare pari a «0»), **isometrica** se si conservano le distanze (modulo di deformazione lineare pari a 1), **equivalente** se si mantengono i rapporti tra le aree (modulo di deformazione superficiale pari a 1).
- ▶ **Ridotta** perché utilizzano una **scala di riduzione lineare**, rapporto tra l'elemento sulla carta e il numero di elementi rappresentativi sulla terra. Si hanno carte **generali** se la scala è piccola, oltre 1:1.000.000, carte **particolari** se la scala è compresa tra 1:250.000 e 1:100.000, piani nautici se la scala è grande, ad esempio 1:6.000.
- ▶ **Simbolica** perché vengono utilizzati simboli convenzionali per poter permettere al navigante una facile lettura della carta (es. fari, fanali, boe).

1.7.1 TIPI DI CARTE

I principali tipi di carte sono:

- ▶ le **proiezioni per sviluppo** (cilindriche e coniche); in base alla posizione del solido possono essere dirette/inverse/oblique;
- ▶ le **proiezioni prospettiche** (gnomica);
- ▶ le **matematiche** (carta di Mercatore);
- ▶ le **elettroniche** (raster e vettoriali).

63

1.7.1.1 Proiezione cilindrica centrale

Un cilindro, tangente all'equatore, in cui vengono proiettati tutti i punti della terra, viene aperto e sviluppato su di un piano (*Figura 7.1*). I meridiani sono rette parallele, equidistanti, perpendicolari all'equatore; i paralleli sono rette parallele all'equatore, sempre più distanziati fra loro man mano che ci si allontana dall'equatore. Le relazioni di corrispondenza tra la carta e ciò che rappresenta nella realtà sono:

$$X = \lambda \qquad Y = R \cdot \operatorname{tg} \phi$$

1.7.1.2 Conica centrale (di Lambert)

Utilizzata per la navigazione aerea e per le carte sinottiche delle zone temperate (*Figura 7.2*).

Figura 7.1 - Proiezione cilindrica centrale



Figura 7.2 - Proiezione conica



1.7.1.3 Proiezioni prospettiche

Le proiezioni prospettiche si ottengono proiettando su un piano tangente alla terra. Esse dipendono dal punto di vista «V» e si distinguono in:

- ▶ **gnomoniche o centrografiche** V al centro della terra;
- ▶ **stereografiche** V ai poli;
- ▶ **ortografiche** V all'infinito;
- ▶ **scenografiche** V né al centro, né ai poli, né all'infinito.

1.7.1.4 Carta gnomonica

La **carta gnomonica** (*gnomonic chart*) viene ottenuta proiettando, dal centro della Terra (punto di vista «V»), un'area della superficie terrestre su un piano ad essa tangente:

- ▶ al polo (si avrà la **carta gnomonica polare**);
- ▶ all'equatore (si avrà la **carta gnomonica meridiana**);
- ▶ ad un punto qualsiasi (si avrà la **carta orizzontale o azimutale o trasversale o obliqua**)



Figura 7.3 - Carte gnomoniche: polare, equatoriale, orizzontale



Su questa carta tutti i cerchi massimi vengono rappresentati con linee rette, in quanto l'intersezione tra due piani dà sempre luogo ad una retta. I piani in questione sono quello tangente alla Terra (sul quale viene

effettuata la proiezione gnomonica), e quello passante per il centro della Terra, da cui viene originata la proiezione e che per definizione contiene il cerchio massimo considerato (Figura 7.3). Nella carta gnomonica le deformazioni sono minime intorno al punto di tangenza, ma vanno via via crescendo allontanandosene. Nel punto di tangenza, terra e piano coincidono. Come detto in precedenza, l'Equatore, i meridiani, le ortodromie e i cerchi massimi sono rappresentati da linee rette. I paralleli sono rappresentati da coniche sotto forma di iperboli, parabole, ellissi o cerchi (Figura 7.4). Il **tipo di conica** dipende dalla colatitudine del punto di tangenza C_T del quadro e dalla latitudine del parallelo φ_T .

Precisamente, l'immagine del parallelo risulta:

- una circonferenza nella proiezione gnomonica polare;
- rami di iperboli nella gnomonica meridiana.
- Mentre nella proiezione gnomonica orizzontale:
 - un **arco di ellisse**, se la latitudine è maggiore della colatitudine del punto di tangenza $C_T = 90^\circ - \varphi_T$
 - un **arco di parabola**, se la latitudine è uguale a C_T
 - un **arco di iperbole**, se la latitudine è minore di C_T

L'utilità delle carte gnomoniche in navigazione riguarda:

- La **rettificazione dei percorsi ortodromici**, facilitando così lo studio programmatico delle grandi rotte oceaniche e permettere la risoluzione grafica dei problemi della navigazione ortodromica.
- La rappresentazione delle **aree ad alta latitudine**, oltre i cerchi polari artico ed antartico, ove la carta di Mercatore risulta inapplicabile a causa della grande dilatazione.
- Le **navigazioni oceaniche**, in quanto è possibile tracciare con semplici linee rette le rotte più brevi tra due punti distanti (ortodromie) (Figura 7.5).

1.7.1.5 Carte stereografiche

La più utilizzata è la **stereografica polare**, isogona, utilizzata in meteorologia (es. carta sinottica). In essa il quadro di tangenza è ad un polo, mentre il punto di vista V è a quello opposto. Anche queste case permettono di seguire una navigazione ortodromica (Figura 7.6 A).

1.7.1.6 Carte ortografiche

Né equivalenti, né isogone (Figura 7.6 B).

Figura 7.4 - Carte gnomoniche: A - polare, B - equatoriale, C - orizzontale

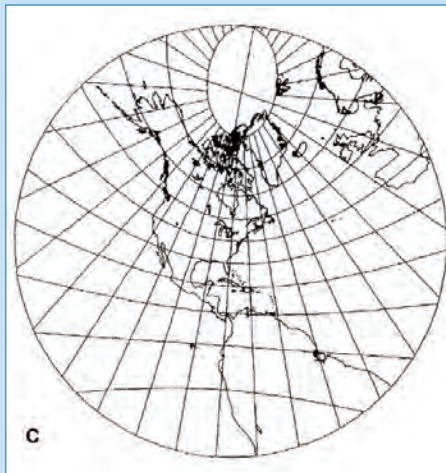
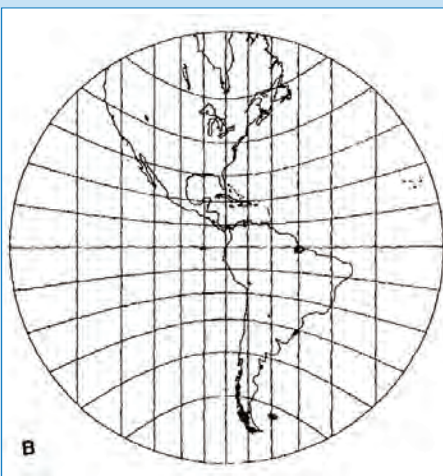
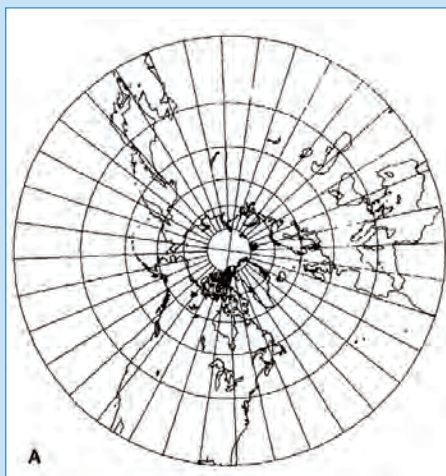


Figura 7.5 - Confronto tra una carta gnomonica e una di Mercatore per la navigazione ortodromica

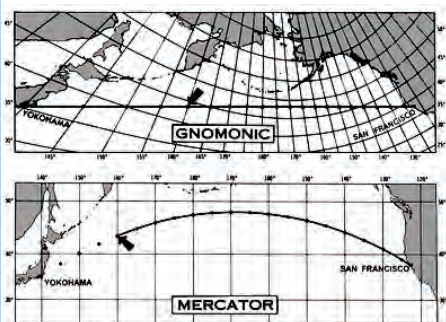
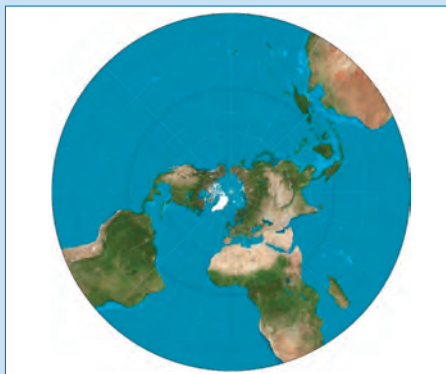


Figura 7.6 - Carta stereografica (a sinistra) e carta ortografica (a destra)





1.7.1.7 Carta di Mercatore

La **carta di Mercatore (Mercator projection)** è una carta che presenta due requisiti:

- è **isogona**, cioè conserva gli angoli della sfera, in ogni punto
- **rettifica le lossodromie**

Si può pensare derivata da una proiezione cilindrica centrale, cioè quella ottenuta proiettando la sfera terrestre rappresentativa, il cui punto di vista è situato al centro della sfera, su un quadro di proiezione che è una superficie sviluppabile in un piano, cioè un cilindro tangente alla sfera rappresentativa lungo l'equatore. Nell'ottenere la carta, Mercatore lascia inalterata la distribuzione dei meridiani e determina la legge di distribuzione dei paralleli in modo da rendere la carta **isogona**. I meridiani si proiettano sul cilindro secondo le generatrici cosicché, sviluppando il cilindro su un piano, essi risultano rappresentati da un fascio di rette parallele e per una prestabilita differenza di longitudine, equidistanti; i paralleli si proiettano pure sul cilindro secondo sezioni rette, le quali sviluppate sul piano costituiscono un altro fascio di rette parallele ortogonali ai meridiani. La distanza dei singoli paralleli dall'equatore proviene non da leggi proiettive ma da formule analitiche adatte ad ottenere una rappresentazione conforme e, quindi una carta isogona. Nel passaggio alla rappresentazione piana, gli archi di meridiano sono dilatati nello stesso modo in cui sono dilatati gli archi di parallelo secondo la «**secφ**», dove φ è la latitudine del parallelo in oggetto. La lunghezza del primo d'arco di meridiano (primo di latitudine) sulla carta di Mercatore è quindi tanto maggiore quanto più elevata è la latitudine, e diviene infinita al polo. I poli non sono quindi rappresentabili (Figure 7.7 e 7.8). Il limite pratico di utilizzo della carta di Mercatore è fissato generalmente oltre le latitudini 70° N e S. .

Figura 7.7 - Reticolato di Mercatore

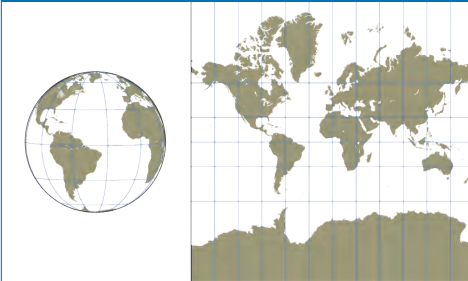


Figura 7.8 - Carta di Mercatore



$$\sec\varphi = \frac{1}{\cos\varphi}$$

Per definizione la secante di un angolo è il reciproco del coseno dello stesso angolo.

Per determinare sulla carta geografica la distanza o la latitudine di un parallelo qualsiasi rispetto all'Equatore, si divide il meridiano della sfera terrestre in parti infinitesimali di parallelo ($d\varphi$).

Ad esempio, alla lunghezza $0-1=d\varphi$ sulla terra, corrisponde sulla carta la misura: $0' - 1' = d\varphi \cdot \sec d\varphi$

Per cui si ricava la formula della **latitudine crescente**

$$\int \sec \phi \, d\phi = \ln\left(\tan \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

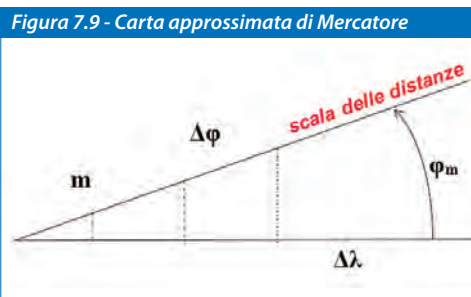
Nella navigazione per grandi distanze sferiche >500 miglia (o navigazione oceanica), gli ufficiali di coperta oltre all'ausilio delle carte nautiche di Mercatore, utilizzano come controprova la navigazione analitica, calcolando la distanza dal porto di partenza al porto d'arrivo, mediante l'utilizzo dell'apposita formula matematica per il calcolo della **latitudine crescente ϕ_c**

$$\phi_c = \frac{180}{\pi} \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

Fornita dalla tavola n.4 delle tavole nautiche (in funzione della latitudine ϕ). È proprio tracciando i paralleli di latitudine ϕ a distanza ϕ_c dall'equatore che la carta diventa isogona. Le relazioni di corrispondenza cioè le relazioni che legano le coordinate ϕ, λ di un punto della Terra con le coordinate corrispondenti x, y sulla carta (nella quale si è assunto come asse x la rappresentazione dell'equatore e come asse y la rappresentazione del meridiano di Greenwich) sono:

$$X = \lambda \quad Y = \phi_c$$

Un'applicazione pratica è la costruzione della carta approssimata di Mercatore (Figura 7.9). È utilizzata per rappresentare zone ristrette, solitamente intorno ad un punto dato, su un foglio qualsiasi. Occorre fissare un'apposita scala.



1.7.1.8 Piano nautico

Il **piano nautico** è una carta gnomonica particolare, a grande scala (es. 1/5.000) utilizzata per rappresentare aree particolari quali golfi, rade, porti, ecc (Figura 7.10). Visto che rappresenta una piccola zona, le deformazioni si possono trascurare e pertanto la carta è isogona, isometrica ed equivalente. Le distanze vengono misurate su di una scala etto metrica. Le relazioni di corrispondenza sono:

$$X = \lambda \quad Y = \frac{1}{\cos \phi}$$

1.7.1.9 Aggiornamento carte nautiche

L'aggiornamento avviene tramite "Notices to Mariners" (Avvisi ai Naviganti), ricevuti settimanalmente. L'aggiornamento si riporta in fondo alla carta come indicato in Figura 7.11.

È compito di un Ufficiale incaricato (detto Cartografo), la tenuta e l'aggiornamento del portfolio di carte nautiche conservate a bordo. È altresì compito suo l'ordine di nuove carte nautiche, necessarie per la navigazione: viene consultato un apposito catalogo, oggi digitale, l'**Admiralty Chart Catalogue**, che riporta la cartografia mondiale e le pubblicazioni nautiche (Figura 7.12). L'uso è molto intuitivo: per ogni zona della terra sono indicate le numerose carte nautiche in commercio; stesso discorso vale per le pubblicazioni, per le quali è indicata la zona di copertura. La cartografia elettronica sarà trattata nel capitolo 14 di questo manuale.



Figura 7.10 - Piano nautico

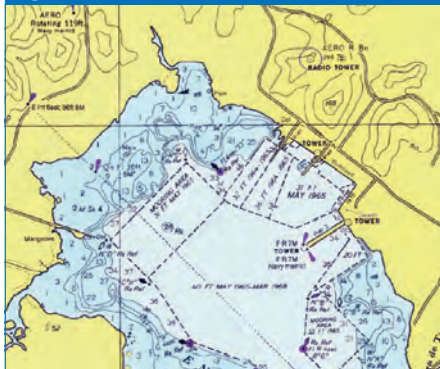


Figura 7.11 - Aggiornamento delle carte



Admiralty Chart Catalogue



Figura 7.12 - Catalogo Admiralty



1.8 PUBBLICAZIONI NAUTICHE ITALIANE

Le **pubblicazioni italiane** principali, edite dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM), sono:

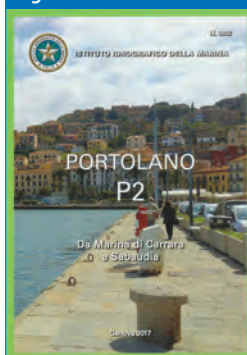
- ▶ portolani
- ▶ *Elenco dei fari e dei segnali da nebbia*
- ▶ *Radioservizi per la navigazione*
- ▶ 1111 INT 1 - *carta della serie internazionale dei simboli, abbreviazioni, termini in uso nelle carte nautiche*
- ▶ *carte delle linee di base*
- ▶ I.I. 3001 «*Catalogo Generale delle Carte e delle Pubblicazioni Nautiche*»
- ▶ *Tavole di Marea*
- ▶ *Effemeridi Nautiche*

1.8.1 PORTOLANI

Otto volumi che coprono tutta la penisola italiana con l'aggiunta di Malta e della Corsica (Figura 8.1). Il portolano ha lo scopo di completare le informazioni delle carte nautiche, fornendo informazioni:

- ▶ Relative ai porti, con la descrizione delle loro caratteristiche e dei servizi forniti (accessi e istruzioni per l'entrata, fari, zone e punti di fonda, servizi tecnici quali pilotaggio, rimorchio, bunkeraggio, VTS, dimensioni delle banchine, divieti e prescrizioni, cantieri, ecc.).
- ▶ Relative alla costa, con la descrizione del suo aspetto dal mare (anche per mezzo di foto) ed ogni info utile per l'atterraggio (punti cospicui, venti, correnti, ecc.).

Figura 8.1 - Portolano



1.8.2 ELENCO DEI FARI E DEI SEGNALI DA NEBBIA

Contiene la descrizione di ogni luce installata a terra utile per guidare la navigazione, dai fari più importanti a grande portata, fino ai piccoli fanali per l'ingresso in porto (Figura 8.2). Copre le coste italiane e quelle slave che si affacciano sul Mar Adriatico (Slovenia, Croazia, Montenegro, Albania).

Per **faro** si intende una costruzione che emette luce bianca con una portata nominale di almeno 15 mg (indica punti cospicui principali). Il **fanale**, invece, mostra luce che può essere di vario colore e ha portata inferiore alle 15 mg (indica punti costieri secondari).

Figura 8.2 - Elenco dei fari





Si definisce **portata nominale (nominal range)** la massima distanza alla quale è visto il faro supponendo una visibilità meteorologica di 10 mg. Si definisce **visibilità meteorologica** la visibilità che consente di vedere la luce di un faro di intensità luminosa di 1400 candele alla distanza massima di 10 mg. La **portata geografica, D** dipende dalla curvatura terrestre e dall'altezza del fanale e dell'osservatore secondo la formula già vista precedentemente:

$$D = 2,04 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h})$$

dove "h" = altezza fanale ed "e" = altezza osservatore.

La **portata luminosa (luminous range)** è la massima distanza alla quale si può vedere il faro in funzione solamente dell'intensità luminosa della sorgente e della visibilità meteorologica. La Pubblicazione riporta la tabella per convertire la portata nominale in portata luminosa (Figura 8.3). In Figura 8.4 si riportano invece i principali tipi di luce per fari e fanali.

In Figura 8.5 si riportano, invece, i **settori di visibilità** di fari e fanali, molto utili per la condotta della navigazione: sono definiti da rilevamenti veri presi dal largo in senso orario e che delimitano i settori stessi.

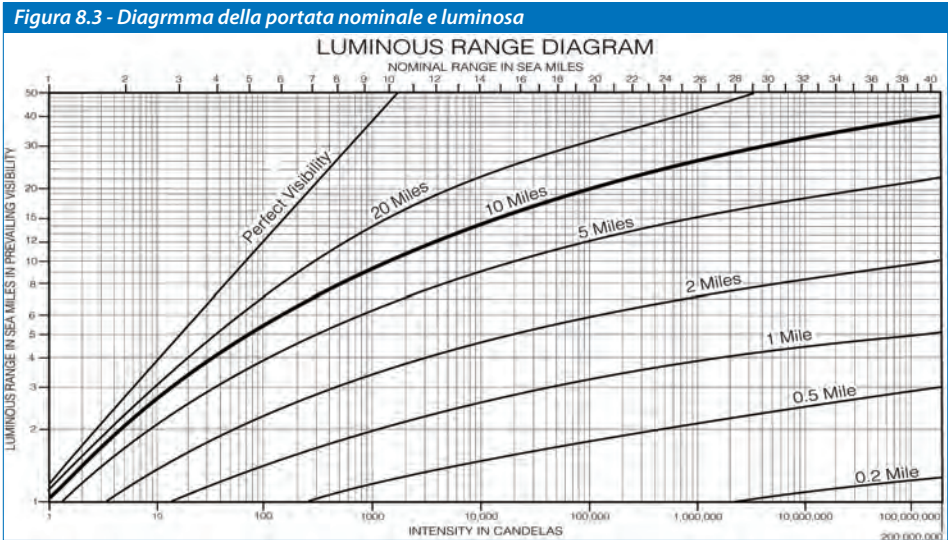
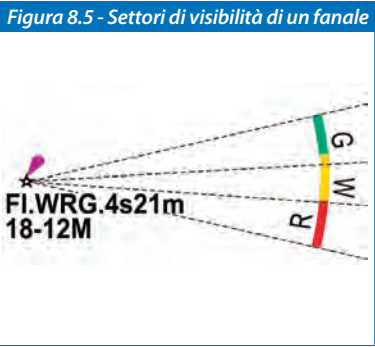


Figura 8.4 - Principali tipi di luce per fari e fanali

Description	Characteristic	Chart Abbreviation
Alternating		Alt. R.W.G.
Fixed		F.
Flashing		Fl.
Group flashing		Gp Fl.(2)
Occulting		Occ.
Group occulting		Gp Occ(3)
Quick flashing		Qk.Fl.
Very quick flashing		V.Qk.Fl.
Isophase		Iso.
Morse		Mo.(letter)



Esempio:

Dato un faro Lam. (3) b 15s 21m 15, nota $e = 18$ metri, determinare la portata geografica.

Di questo faro sappiamo che: emette 3 lampi in un ciclo completo, di colore bianco, in 15 secondi. L'altezza del faro è 21 metri e la portata luminosa è 15.

Quindi la portata geografica è: $D = 2,04 \times (\sqrt{e} + \sqrt{h}) = \text{circa } 18 \text{ mg.}$

1.8.3 RADIOSERVIZI PER LA NAVIGAZIONE

In due volumi, contiene tutte le informazioni necessarie per comunicare con le stazioni terrestri, con le altre navi e per usufruire dei servizi di informazione nautica via radio. Copre tutto il mar Mediterraneo (*Figura 8.6*).

La **Parte I** tratta le informazioni inerenti alla sicurezza di bordo. I primi 4 capitoli descrivono struttura e funzionamento dei sistemi di comunicazione esistenti (frequenze usate in mare, risponditori RADAR, GMDSS e servizio radio-mobile marittimo); i seguenti, invece, forniscono dati più operativi: Stazioni radio costiere – servizio radio-medico – avvisi ai naviganti – sistemi di radionavigazione – tempi in uso e radiosegnali orari – sistemi di controllo del traffico mercantile – servizi portuali.

La **Parte II** contiene informazioni di natura meteorologica. I primi 4 capitoli descrivono un'analisi delle tipologie dei messaggi meteorologici di interesse per i naviganti, sia in chiaro che in codice, dalla loro struttura al loro significato (compresi quelli mandati con NAVTEX e SafetyNET). Il capitolo V contiene invece l'elenco delle stazioni radio che emettono avvisi e bollettini meteo e le relative aree di previsione espresse anche in forma di carta geografica. Nel capitolo VI sono indicate le stazioni che effettuano diffusioni in radio facsimile, quindi che inviano carte meteo e immagini satellitari che possono essere ricevute e stampate a bordo.

Figura 8.6 - Radioservizi per la navigazione p. I e II





1.9 PUBBLICAZIONI NAUTICHE STRANIERE

Si riportano, di seguito, le principali **pubblicazioni nautiche straniere**, presenti oggigiorno a bordo di tutte le navi. Le principali sono edite dall'**Admiralty UKHO (United Kingdom Hydrographic Office)**

1.9.1 ADMIRALTY SAILING DIRECTIONS

Ogni pubblicazione (in totale sono 76) contiene informazioni relative ai rischi della navigazione, dati meteorologici, dettagli sul pilotaggio, regolamenti portuali, guide relative alle entrate nei maggiori porti (port facilities, ecc.) (*Figura 9.1*).

1.9.2 MARINERS HANDBOOK - NP 100

Contiene informazioni essenziali su carte, operazioni e regolamenti, correnti, maree, caratteristiche e stati del mare, meteorologia base, navigazione in presenza di ghiacci, pericoli e restrizioni per la navigazione (*Figura 9.2*).

1.9.3 GUIDE TO PORT ENTRIES

Editati dalla *Shipping Guides LTD* (*Figura 9.3*) contengono informazioni dettagliate su oltre 9.000 porti del mondo (pilotaggio, banchine e port facilities, contatti Agenzie, servizi portuali, ecc.)

1.9.4 ADMIRALTY LIST OF LIGHT AND FOG SIGNALS (ALL)

Sono 11 volumi che contengono gli elenchi dei fari e fanali e dei segnali da nebbia. La nuova edizione è pubblicata annualmente (*Figura 9.4*). Le liste contengono:

- ▶ le caratteristiche dei segnalamenti;
- ▶ le tavole per il calcolo della portata geografica e luminosa delle luci;
- ▶ numero internazionale;
- ▶ località e/o nome;
- ▶ coordinate geografiche;
- ▶ caratteristiche ed intensità;
- ▶ altezza in metri;
- ▶ portata in miglia nautiche;
- ▶ descrizione della struttura (per il riconoscimento).

Figura 9.1 - Sailing Directions

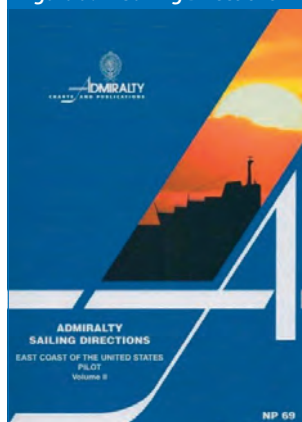


Figura 9.2 - NP100

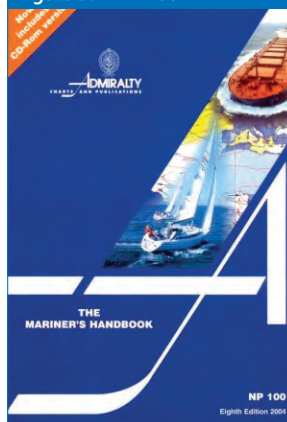


Figura 9.4 - Admiralty List of Lights

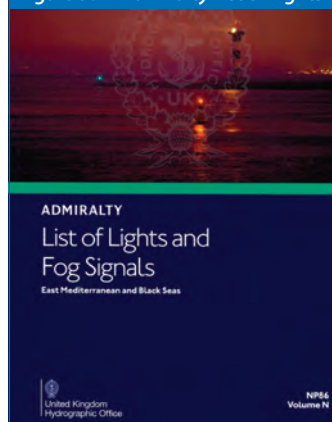
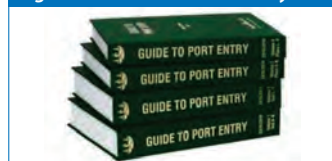


Figura 9.3 - Guide to Port Entry



1.9.5 ADMIRALTY LIST OF RADIO SIGNALS - NP282

Comprende informazioni sui servizi di weather routing (rotte consigliate da terra, in relazione alle previsioni meteo attuali e nell'immediato futuro), Meteorological Observation Stations, VTS e info sugli MSI (Maritime Safety Information), distribuiti secondo quanto previsto dal GMDSS mediante NAVTEX (radio frequenze) e Safety Net (satellitare, Inmarsat), Legal Time e Radio Time Signals dei vari paesi del mondo. L'Organizzazione Mondiale della Meteorologia ha istituito 21 NAVAREAS, identiche alle aree meteorologiche METAREAS. I messaggi NAVAREA, che si ricevono a bordo a seconda dell'area in cui si naviga, sono molto importanti: devono essere esaminati accuratamente, segnati sulle carte nautiche di interesse, sia elettroniche che cartacee e conservati in apposito raccoglitore sul ponte di comando (Figura 9.5).

1.9.6 ADMIRALTY TIDE TABLES – NP201-206

Pubblicate annualmente in sei volumi e garantiscono la copertura mondiale. A bordo si trovano anche in versione digitale per mezzo del software *TotalTide*, con il quale è possibile ottenere le previsioni della marea e delle correnti di marea per la quasi totalità dei porti mondiali (Figura 9.6).

1.9.7 ADMIRALTY OCEAN PASSAGES FOR THE WORLD - NP136

La pubblicazione fornisce una selezione di comuni rotte con le distanze tra i principali porti. Vengono descritti ed indicati in apposite carte, i percorsi più convenienti nelle varie stagioni, non soltanto per le traversate oceaniche ma anche per quelle più brevi tra i principali porti di uno stesso continente.



Figura 9.5 - List of Radio Signals e NAVAREAS-METAREAS



Contiene dettagli su tempo, correnti e rischi connessi alla presenza di ghiacci. Il volume è suddiviso in dieci capitoli ed un'appendice con tavole tematiche e indice delle rotte. Fornisce ulteriori informazioni circa la delimitazione delle zone in funzione delle linee di carico e di servizi di weather routing (Figura 9.7).

1.9.8 INT-1

È il corrispettivo della carta nautica 1111 dell'Istituto Idrografico della Marina italiana (Figura 9.8). Elenca e descrive tutta la simbologia presente sulle carte nautiche.

1.9.9 CORREZIONI/AGGIORNAMENTI DELLE PUBBLICAZIONI

Nelle prime pagine è riportato lo spazio per le correzioni, effettuate per mezzo di «*Notices to Mariners*». L'Ufficiale incaricato, dopo aver apportato le correzioni, deve formalizzare, scrivendo la data e firmando. È importante, per le pubblicazioni a più volumi, al fine di consultare quella d'interesse, vederne il numero riportato sul retro (su di un'apposita cartina). Le pubblicazioni nautiche sono conservate in un'apposita **libreria** del ponte di comando, insieme alle convenzioni internazionali e ad altri manuali tecnici. È cura dell'ufficiale responsabile (cartografo) stilare e aggiornare l'elenco relativo. Oggigiorno le pubblicazioni nautiche sono in **formato digitale**, fornite alle navi tramite appositi softwares (sviluppati dall'Admiralty), previo acquisto di apposite licenze di utilizzo (e-nP, ADP, ecc.) Oltre alle pubblicazioni, anche le principali convenzioni (SOLAS, MARPOL, STCW, ecc.), le circolari e le risoluzioni IMO, sono disponibili in formato digitale tramite il software **Reg4ships**. La maggior parte delle pubblicazioni digitali viene fornita alle navi tramite DVD (Figura 9.9a, 9.9b).



1.9.10 IALA – NP 735

La **Convenzione I.A.L.A. (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)**, tratta le raccomandazioni e le linee guida per la definizione di standard riconosciuti in tutto il mondo per la segnalazione marittima. È riconosciuta dall'I.M.O. e dalla SOLAS (*cap. V reg. 13*) Il sistema di riferimento marittimo IALA viene suddiviso globalmente in due zone, A e B, come raffigurato nella cartina in *Figura 9.10*.

Le entrate dei canali, il mantenimento nello schema di separazione del traffico e le entrate ed uscite dai porti vengono semplificate come segue:

- ▶ **zona A** entrata dei porti con fanale verde a dritta e rosso a sinistra (Europa, Africa, Australia, Asia)
- ▶ **zona B** entrata dei porti con fanale rosso a dritta e verde a sinistra (Americhe, Giappone, Corea e Filippine)

1.9.10.1 Segnali laterali

I **segnali laterali (lateral marks)** sono posti ai lati dei canali (fairways). Le luci devono essere verdi e rosse (*Figura 9.11*).

1.9.10.2 Segnali canale preferenziale

I segnali di **canale preferenziale (preferred channels marks)** si trovano nei punti di biforcazione dei canali, per indicare quale va seguito (*Figura 9.12*).

1.9.10.3 Segnali cardinali

I **segnali cardinali (cardinal marks)** indicano dove passare rispetto al pericolo che segnalano (*Figura 9.13*); il segnale "nord", per esempio, indica di passare a nord perché il pericolo è a sud. Possono esibire una **luce bianca** di tipo **scintillante "Q"** (*Quick*) che consiste in 50/60 lampi al minuto oppure una **luce scintillante rapida "VQ"** (*Very Quick*) di 100/120 lampi al minuto. Il periodo di durata dei gruppi di lampi dei segnali "est", "sud" e "ovest" deve essere rispettivamente di 10, 15 e 15 per luce scintillante o 5, 10 e 10 in caso di luce scintillante rapida. Il segnale "sud" emette anche una luce di lunga durata (**long flash**, di almeno 2 secondi), dopo i lampi brevi, in modo da non confonderli con quelli dei segnali "est" e "ovest".

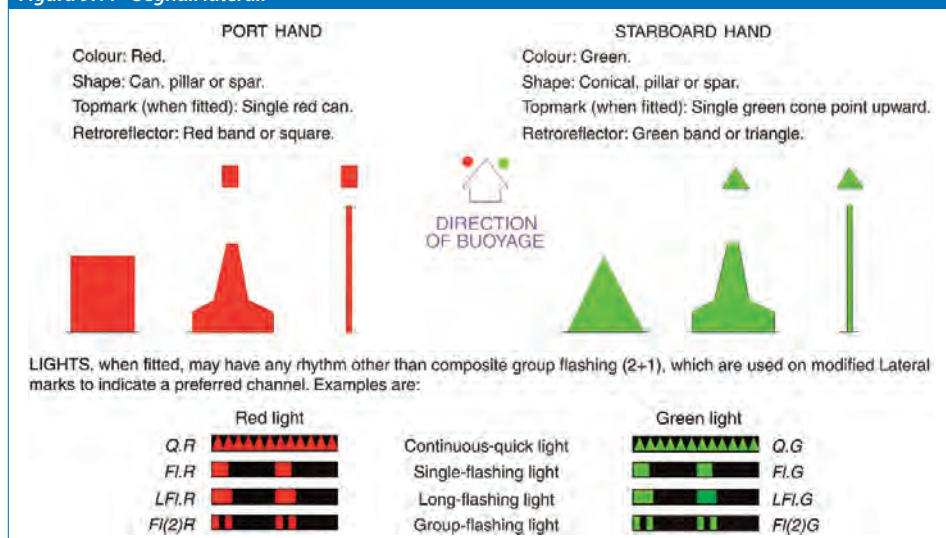
1.9.10.4 Pericolo Isolato

Il **segnale di pericolo isolato (isolated danger mark)** monta un segnale diurno con due palloni di colore nero, mentre il colore del presidio risulta essere nero-rosso-nero. Di notte vengono effettuati due lampi a luce bianca, che generalmente riproducono la lettera A del Morse (uno breve e uno lungo) (*Figura 9.14*).

Figura 9.10 - Zone IALA



Figura 9.11 - Segnali laterali



1.9.10.5 Acque sicure

Il **segnale di acque sicure (safe waters mark)** è di colore rosso-bianco e monta un segnale diurno con sfera di colore rosso. Di notte o durante la riduzione della visibilità atmosferica, vengono effettuati dei lampi a luce bianca intermittente o isofase (cioè con periodi di luce uguali a quelli dell'eclisse, cioè del buio) (Figura 9.15).

1.9.10.6 Segnali speciali

I **segnali speciali (special marks)** sono di colore giallo, collocati di volta in volta in base alla situazione.



Figura 9.12 - Segnali di canale preferenziale

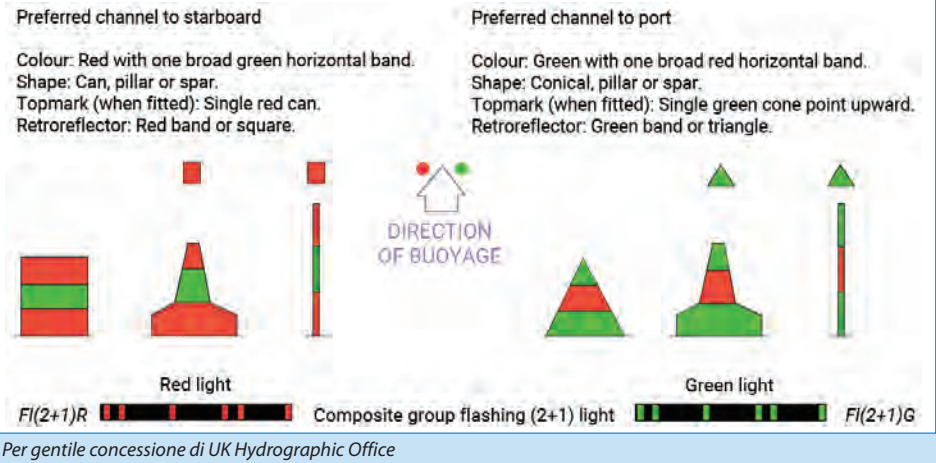
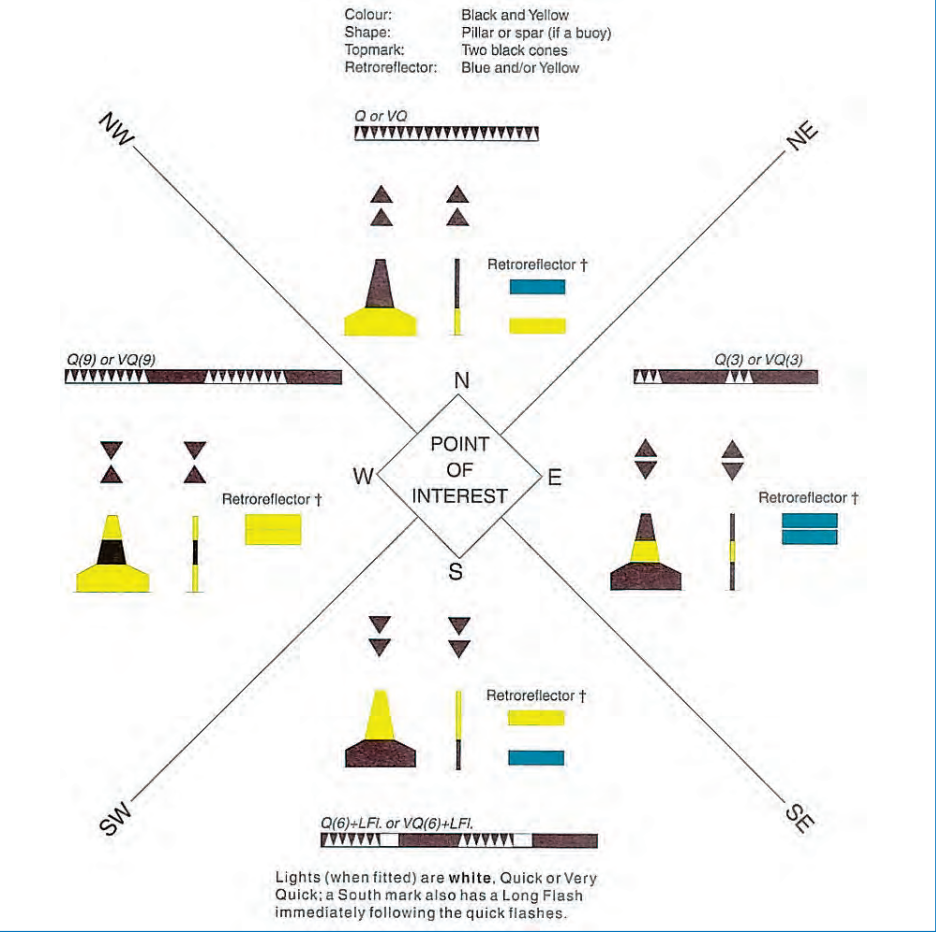


Figura 9.13 - Segnali cardinali





Vengono usati per delimitare zone di divieto, di tiro, di interdizione alla navigazione, oleodotti ed altro. Montano una croce di Sant'Andrea (a X) atta a fungere da riflettore radar. Di notte mostrano una luce gialla intermittente (Figura 9.16).

1.9.10.7 Relitto affondato

Il segnalamento marittimo IALA impone anche la **segnalazione di emergenza de relitti affondati noti** prima della rimozione degli stessi; il segnale previsto (**emergency wreck marking buoy**) è di colore giallo e blu e così anche la luce notturna (Figura 9.17).

Figura 9.14 - Pericolo isolato

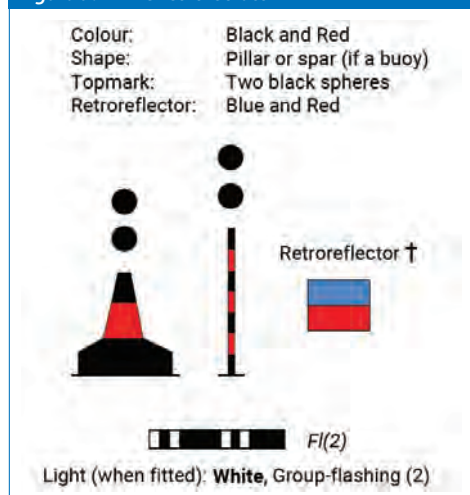


Figura 9.15 - Acque sicure

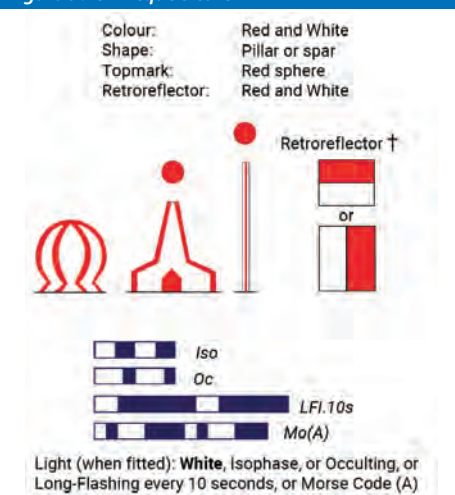


Figura 9.16 - Segnali speciali

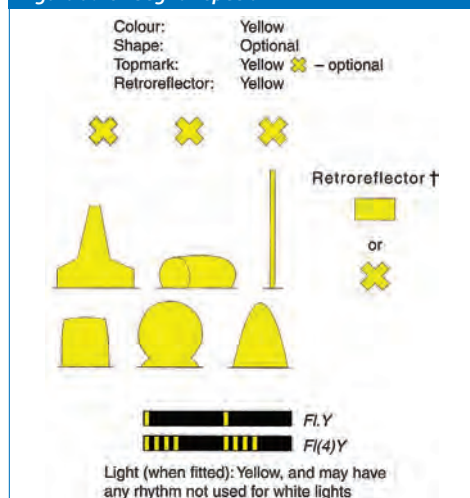
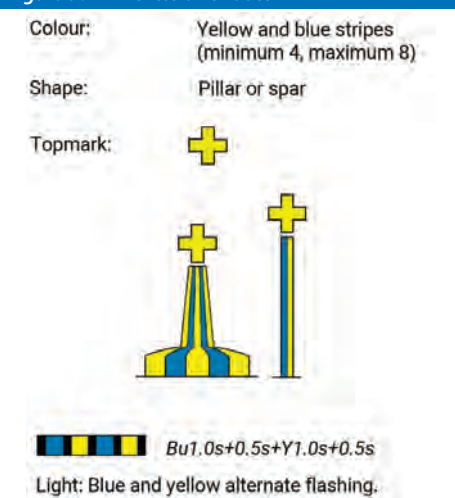


Figura 9.17 - Relitto affondato





1.9.11 SHIP'S ROUTEING

Ship's Routeing è una pubblicazione edita dall'I.M.O. in cui sono riportate, a livello mondiale, le norme, la terminologia e la simbologia degli schemi di separazione del traffico, delle zone riservate al traffico costiero, dei settori di avvicinamento ai punti focali, degli schemi di circolazione rotazione e delle zone nelle quali è sconsigliata la navigazione a particolari tipi di navi (Figura 9.18).

È suddivisa in otto parti:

- ▶ Part A - General provisions
- ▶ Part B - Traffic separation schemes
- ▶ Part C - Deep-water routes
- ▶ Part D - Areas to be avoided
- ▶ Part E - Other routeing measures
- ▶ Part F - The rules and recommendations on navigation that are associated with particular traffic areas and straits
- ▶ Part G - Mandatory ship reporting systems, mandatory routeing systems and mandatory no anchoring areas
- ▶ Part H - Archipelagic sea lanes

Figura 9.18 - Ship's Routeing



Vengono di seguito riportati i tipi di provvedimenti adottati ed adottabili:

- ▶ **schemi di Separazione del Traffico (TSS, Traffic Separation Schemes)** con **zone e linee di separazione (separation zones/lines)**;
- ▶ schemi di separazione del traffico sui lati opposti di ostacoli naturali (isole, scogli, bassifondi, ecc.);
- ▶ **zone riservate al traffico costiero (inshore traffic zone)**;
- ▶ settori di avvicinamento a punti focali;
- ▶ **schemi di circolazione rotatoria (roundabout)**;
- ▶ **rotte in acqua profonda (deep water routes)**.

Gli **schemi di separazione del traffico** sono istituiti nelle zone di traffico intenso. Il primo TSS della storia fu adottato nel Canale della Manica (stretto di Dover) a fine degli anni '60, a causa dell'alto numero di collisioni da rotte opposte. Successivamente furono adottate le COLREG (**Collision Regulations**) del 1972, delle quali la regola 10 riguarda, per l'appunto i TSS. Uno schema è sempre formato da due corsie, separate o da una linea o da una zona.

L'utilizzo dello schema è raccomandato per le navi che lo possono percorrere per intero.

In generale l'obbligo di utilizzarlo esiste quando ai lati sono presenti zone di traffico costiero (*inshore traffic zones*).

L'IMO è la sola organizzazione internazionale riconosciuta che possa stabilire ed adottare misure inerenti la canalizzazione del traffico marittimo e di vietare il transito in determinate zone alle navi o ad alcuni tipi di navi. Gli Stati costieri possono, tuttavia, presentare richiesta per istituire TSS nelle acque di loro competenza. Una volta approvata la richiesta, l'IMO

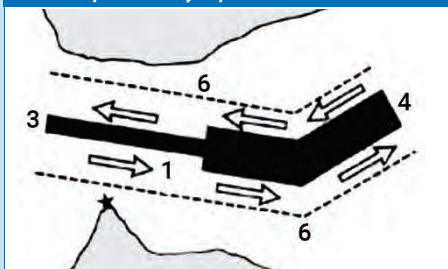
adotterà lo schema secondo le linee guida della Risoluzione A.572(14) - General Provisions on Ship's Routing, previa approvazione del Maritime Safety Committee (MSC). Il nuovo TSS verrà quindi inserito nelle Ship's Routing.

La **SOLAS**, al **capitolo V regola 10**, tratta degli schemi di separazione del traffico, imponendone l'uso obbligatorio e regolandone i metodi per l'adozione.

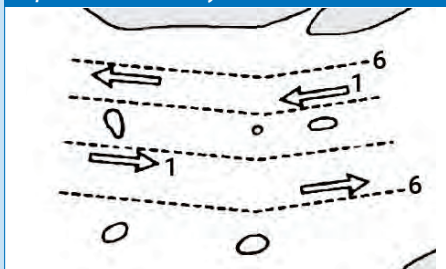
Vengono anche indicate le aree in cui è vietato ancorare.

N.B. Tutti gli schemi e le aree sono indicati, sulla pubblicazione, in magenta. Non avendo a disposizione lo ship's routing, su altre risoluzioni dell'IMO sono riportate in bianco e nero.

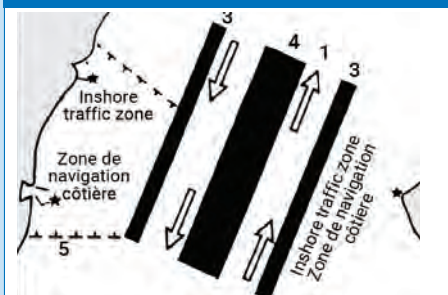
Traffic separation by separation zone and line



Separation of traffic by natural obstructions



Inshore traffic zones



Sectorial division of adjacent traffic separation schemes at approaches to focal points

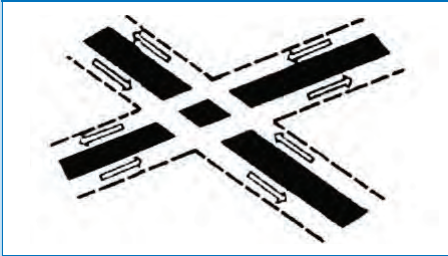


Separation of traffic at a roundabout

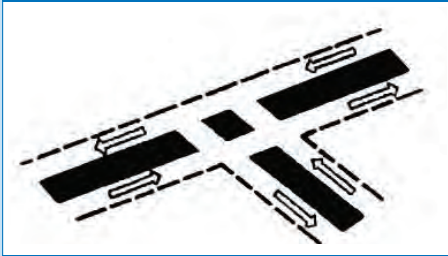




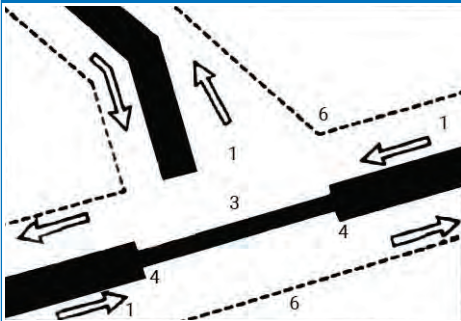
Separation of traffic at a crossing



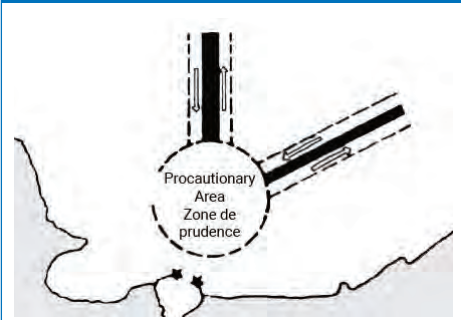
Separation of traffic at a junction



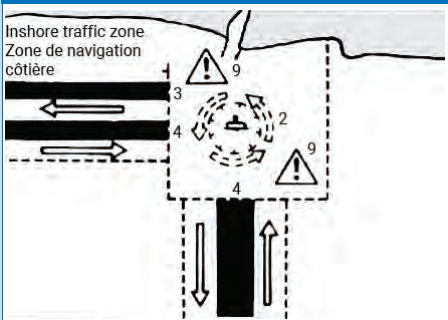
A junction, showing a separation line substituted for a zone, where there will be crossing traffic



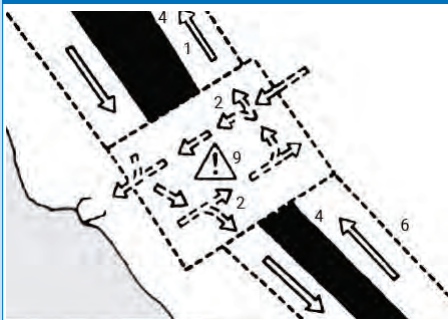
9 - Precautionary area at a focal point



Precautionary area with recommended direction of traffic flow around an area to be avoided

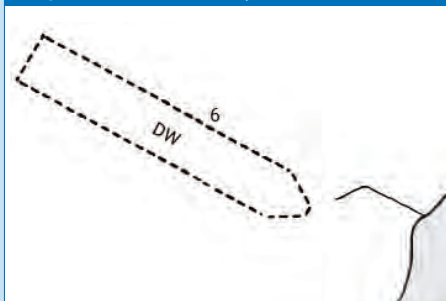


Precautionary area at a junction, with recommended directions of traffic flow

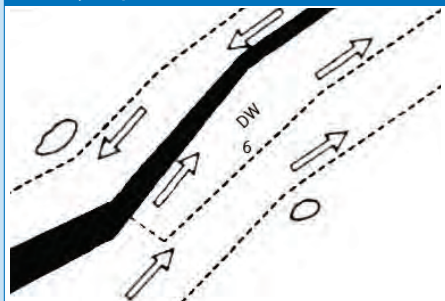




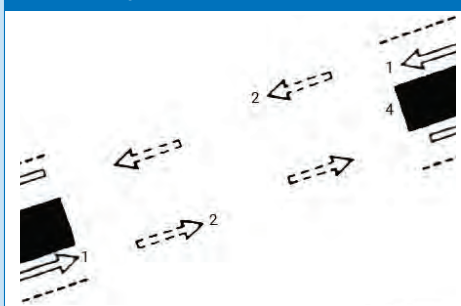
Deep water route (two-way) route



One way deep-water route (within a traffic lane)



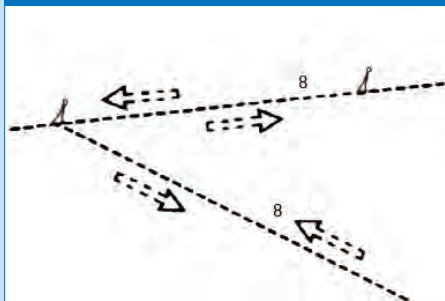
Recommended directions of traffic flow between two traffic separation schemes



Two-way route (with one-way sections)



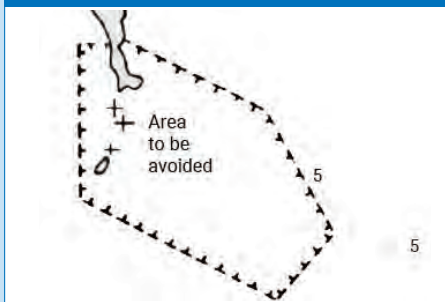
Recommended routes



Recommended tracks (in black)



Area to be avoided





1.10 NAVIGAZIONE COSTIERA

Per **navigazione costiera** (*coastal navigation*) s'intende quella che si effettua in prossimità ed in vista della costa (in un raggio di circa 20 miglia), compiendo misure sui punti cospicui (quali torri, campanili, fari, scogli, ecc.). Il **P_N costiero** (*fix*) si può ottenere con almeno 2 luoghi di posizione. Prima di entrare nel vivo della navigazione costiera, occorre definire il concetto di luogo di posizione.

1.10.1 LUOGO DI POSIZIONE

La posizione della nave si controlla effettuando misure su oggetti esterni (**punti cospicui della costa**, quali fari, campanili, torri, ecc.), astri o di parametri delle onde elettromagnetiche (e.m.). Ad ogni misura corrisponde un **luogo di posizione (LOP, Line of Position)**. Il LOP è il luogo geometrico dei punti sulla superficie terrestre (che formano genericamente una curva), dai quali nello stesso istante, più osservatori effettuerebbero la stessa misura.

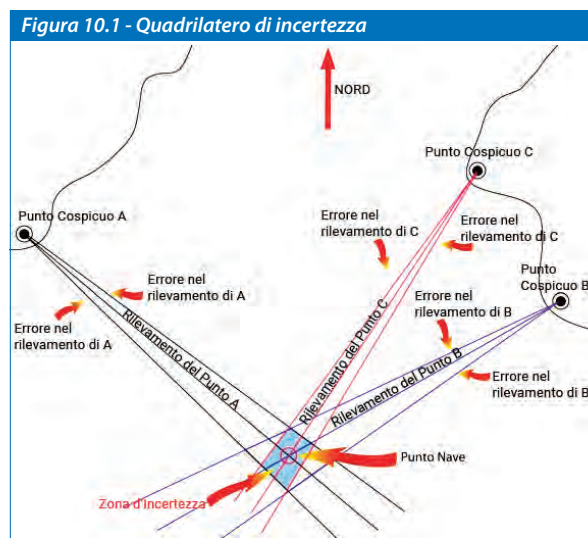
Sul LOP si trova la nave. Per determinare un punto occorrono almeno due LOP. Con tre si ha un triangolo di incertezza. Ogni misura è sempre affetta da errori, che possono essere:

- **sistematici** che si ripetono nelle misure con lo stesso valore e segno;
- **accidentali** che si ripetono variando in valore e segno.

Gli errori costanti e sistematici, anche se grandi, una volta individuati, possono essere eliminati. Gli errori accidentali, invece, sono generalmente piccoli ma per la loro casualità, non possono essere eliminati, solo ridotti. Va inoltre considerato il fattore geometrico;

secondo la **teoria degli errori di Gauss**, l'errore sul punto sarà: **Minore** se i LOP s'intersecano sotto angoli convenienti (90° tra due LOP, 60° tra tre LOP) **Maggiore** se i LOP s'intersecano con angoli piccoli.

Per ogni LOP, a causa della presenza di errori, si associa una striscia di posizione; l'intersezione di due strisce determina a sua volta un'area ben definita entro la quale si troverà la nave (**quadrilatero di incertezza**) (Figura 10.1).



1.10.2 NOZIONI BASILARI DI CARTEGGIO NAUTICO

Sebbene con la tecnologia ECDIS le carte nautiche tradizionali siano sparite (e stiano sparendo) dai ponti di comando delle navi mercantili, il programma scolastico ministeriale e quello relativo al conseguimento delle patenti nautiche, prevede ancora il carteggio. Gli strumenti necessari per poter "carteggiare" sono (Figura 10.2):

Figura 10.2 - Strumenti per il carteggio nautico



- ▶ la **carta nautica** (generalmente la carta maggiormente in uso è la 5D - Dal Canale di Piombino al Promontorio Argentario e Scoglio d'Africa);
- ▶ le **squadrette nautiche (nautical squares)**. Si tratta di rapportatori costituiti da un triangolo rettangolo isoscele, in plexiglas;
- ▶ il **compasso nautico (chart divider)**;
- ▶ la **matita** (in genere una morbida, tipo la 2B);
- ▶ la **gomma da cancellare**;
- ▶ le **righe parallele**.

Come leggere e segnare la posizione sulla carta nautica

Innanzitutto, occorre sapersi orientare, individuando i paralleli e i meridiani. Per leggere o segnare una posizione sulla carta nautica è possibile utilizzare il compasso oppure le squadrette, facendole scorrere l'una sopra l'altra (Figura 10.3).

Come misurare le distanze

Le distanze si misurano, con il compasso, sulla scala delle latitudini. Si ricorda che 1' di latitudine corrisponde a 1 miglio nautico. La frequenza con cui viene fissato il punto nave dipende dalla zona in cui si sta navigando. Il Punto Nave deve essere posizionato:

- ▶ In navigazione oceanica: ogni 60'.
- ▶ In navigazione in vista di costa: ogni 30'.
- ▶ In navigazione costiera: ogni 12'.
- ▶ In atterraggio, durante le manovre di arrivo e di partenza: ogni 3/6' massimi.

La simbologia del PN è la seguente:

- ▶ Un cerchio per il PN ottenuto tramite l'intersezione di rilevamenti ottici, differenza d'azimut tra tre punti cospicui (cerchi capaci), ecc.
- ▶ Un triangolo per il PN ottenuto tramite l'intersezione di un rilevamento ottico/radar ed una distanza radar.



- Un diamante per il punto nave GPS.
- Un cerchio con stella al centro, per il PN ottenuto tramite osservazioni astronomiche. Il PN si riporta con la corretta simbologia e con l'ora a cui è stato segnato.

Come misurare gli angoli

Si fa coincidere la linea nera continua dell'ipotenusa della squadretta 1 (Sq. 1) con la rotta tracciata. Poi si fa scorrere la Sq.1 sopra l'altra (Sq. 2), fissa, fino a quando lo «0» non coincide con il meridiano. Si procede alla lettura del valore angolare della Rotta (o Prora), che dipende, ovviamente, da dove la nave sta dirigendo. Per ogni valore angolare « α », sui cateti delle squadrette, è riportato il complemento ($180^\circ - \alpha$). Per misurare la Rotta (o la Prora), si fa scorrere la squadretta in modo da leggere il valore angolare su uno dei due cateti.

Come tracciare una rotta

Con i cateti della Sq. 1 si misura il valore della Rv da tracciare, facendo coincidere lo «0» sul meridiano. Si utilizza Sq. 2 come appoggio. Dopodiché si fa scorrere Sq. 1 fino al punto A. La Rotta si traccia lungo l'ipotenusa della Sq. 1 (Figura 10.4).

Il trasverso è la direzione di un oggetto che forma 90° con l'asse longitudinale di una nave (Prora) o con la Rotta. Si tratta, pertanto, di un rilevamento polare (Figura 10.5).

Come seguire una navigazione stimata

È stata già trattata, al capitolo 2 di questo manuale, la stima della rotta e della velocità per poter determinare una posizione, appunto, stimata (*DR - dead reckoning position*). Gli strumenti necessari, si ricorda, sono la bussola (per la Prora) e il solcometro (per la velocità STW).

Risolvendo il semplice calcolo: $m = V \times \Delta t$ è possibile determinare il cammino (run) percorso dalla nave, ad una data velocità e in un dato intervallo di tempo. Ricavando le formule inverse è possibile determinare la durata della navigazione o la velocità. Un calcolo utile e fondamentale è quello per determinare l'ora di arrivo ETA (*Estimated Time of Arrival*)⁵, noto l'orario di partenza ETD (*Estimated Time of Departure*) e la durata della traversata Δt :

$$\begin{array}{r} \text{ETD} \\ + \Delta t \\ \hline \text{ETA} \end{array}$$

$$\Delta t = \frac{m}{v}$$

Per la trasformazione in giorni si divide il numero delle ore per 24, prendendo la parte intera. La parte dopo la virgola si moltiplicherà per 24 ottenendo le ore residue, mentre per avere i minuti si può moltiplicare per 60 la parte dopo la virgola di quest'ultimo valore.

Come tracciare i rilevamenti

Si esegue la stessa operazione utilizzata per tracciare una rotta (Figura 10.6).

⁵ Il calcolo più dettagliato, che tiene in considerazione i fusi, è riportato al capitolo 13 di questo manuale.



1.10.3.2 Cerchio di uguale distanza

Il **cerchio di uguale distanza** è la circonferenza che ha per centro il punto della costa osservato e per raggio la distanza misurata. In *Figura 10.8* è riportato un PN ottenuto con un rillevamento e un cerchio di uguale distanza (è lo stesso fix che fornisce il RADAR).

1.10.3.3 Cerchio capace

Il **cerchio capace** è il luogo di posizione che non è affetto da errori costanti sistematici (principalmente quelli dello strumento), mentre gli errori accidentali sono minimi quando la **differenza angolare** tra essi (Δa) è 90° .

A prescindere dallo strumento (bussola magnetica o giroscopica o sestante) con il quale si effettuano i rilevamenti, la differenza angolare tra essi è costante (essendo i punti cospicui, fissi); per tale motivo il cerchio capace è esente dagli errori sistematici degli strumenti.

1.10.3.4 Come costruire i cerchi capaci

Riferendoci alla *Figura 10.9*:

$Ril_V = 353^\circ$ - faro di Talamone (A)

$Ril_V = 042^\circ$ - Cast. (B)

$Ril_V = 116^\circ$ - T.re Salina (C)

Si uniscono i punti A, B e C

Si calcolano le differenze di rilevamento: $\Delta a_1 = Ril_{VB} - Ril_{VA} = 042^\circ - 353^\circ = -311^\circ$

Essendo un valore negativo, si calcola l'esplemento: $360^\circ - \Delta a_1 = 049^\circ$

$\Delta a_2 = Ril_{VC} - Ril_{VB} = 116^\circ - 042^\circ = 076^\circ$

Da A e da C si traccia una semiretta che formi con AB un angolo pari a $90^\circ - \Delta a_1$ e con BC un angolo pari a $90^\circ - \Delta a_2$. Nota bene: la semiretta si traccia verso il mare se $\Delta a < 90^\circ$, altrimenti verso la terra.

Quindi: $90^\circ - \Delta a_1 = 041^\circ$ $90^\circ - \Delta a_2 = 016^\circ$

Si tracciano le **perpendicolari** in corrispondenza della metà di AB e BC. L'intersezione di queste con le **semirette** tracciate originano i centri delle **circonferenze**. L'intersezione delle due circonferenze fornisce il **P_N**.

Si può utilizzare anche il **metodo delle perpendicolari** o di Pothenot (*Figura 10.10*).

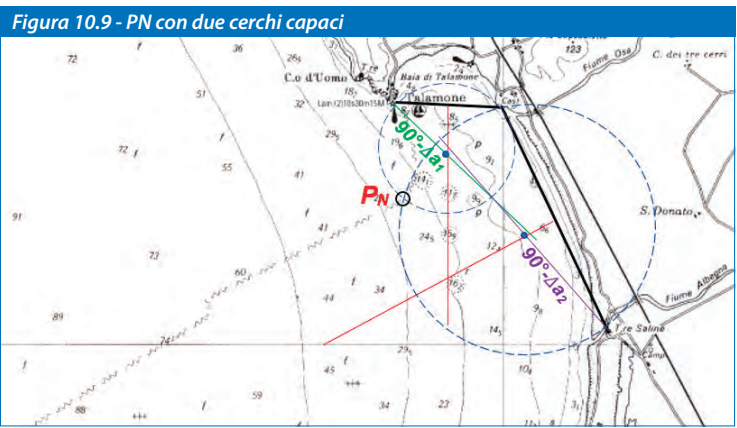
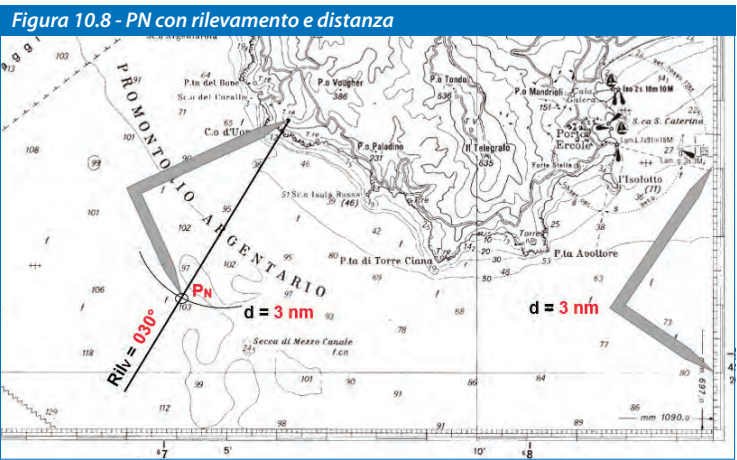
1.10.3.5 Allineamento

Due oggetti sono **allineati** quando quello più lontano rimane coperto, in linea ottica, da quello più vicino. L'allineamento è una particolare circonferenza capace con $\Delta a = 0^\circ$ o 180° . È **esterno** se $\Delta a = 0^\circ$; **interno** se $\Delta a = 180^\circ$. L'allineamento è la linea individuata, a terra (e sulla carta nautica), da due punti cospicui (detti anche **appulsi**), che fornisce con molta precisione un luogo di posizione di ugual rilevamento (*Figura 10.11*).

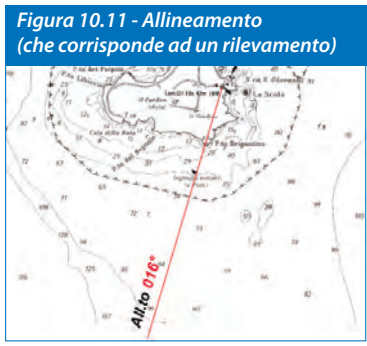
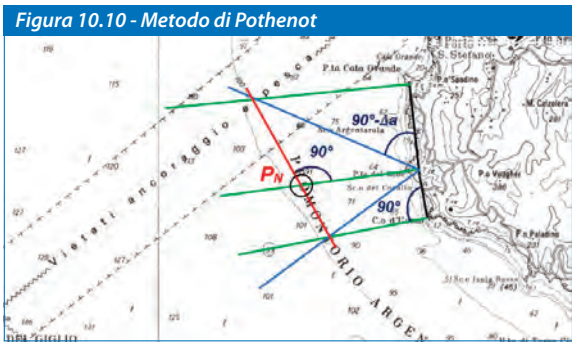
Quando la distanza compresa tra l'osservatore e l'appulso più vicino è inferiore al triplo della distanza che separa i due appulsi, l'allineamento è detto **sensibile**, cioè idoneo ad



individuare con molta precisione l'istante in cui la nave si trova sull'allineamento. Il valore del rilevamento dell'allineamento si ricava graficamente dalla carta nautica con molta precisione. Spesso, all'ingresso dei porti o nei passaggi ristretti, sono costituiti dalle autorità portuali, fari, fanali e segnalamenti marittimi, che rappresentano allineamenti di sicurezza che consentono di navigare con estrema precisione e sicurezza su un percorso prestabilito.



91





1.10.3.6 Linea batimetrica

La **batimetrica** è la linea che sulla carta unisce i punti aventi la stessa profondità (batimetria). Non è un LOP molto affidabile. Può essere considerato, tuttavia, come metodo per monitorare la rotta, specie in prossimità della costa o per l'ingresso in un porto: se la profondità segnata dallo scandaglio è differente da quella segnata sulla carta, significa che ci si sta allontanando dalla rotta pianificata (*Figura 10.12*).

1.10.3.7 Metodo del raddoppio di un rilevamento polare (45 e traverso)

Si consideri una situazione senza vento e corrente, quindi $P_v = R_v$, e che in un certo istante, il rilevamento polare, p di un oggetto sia 45° . Si determina l'intervallo di tempo che passa da questo istante (b) al traverso (a); nota la V della nave si determina il cammino percorso:

$$m = V \cdot (b - a)$$

La distanza al traverso di un punto è uguale al cammino percorso dal 45° fino al traverso. (*Figura 10.13*).

Esempio

$p_1 = +45^\circ$	09:45	faro Isola Pianosa
$p_2 = +90^\circ$	10:00	faro Isola Pianosa
$P_v = 185^\circ$	$V = 8$ kts	

1. Si calcolano i rilevamenti veri:

$$Ril_{v1} = P_v + (\pm)p_1 = 230^\circ$$

$$Ril_{v1} = P_v + (\pm)p_2 = 275^\circ$$

2. Si tracciano entrambi i rilevamenti

3. Si calcola il cammino $m = v \times \Delta t = 2$ mg.

4. Si segna il cammino «m» sul traverso ($F - P_N$)

5. Si trova il P_N : la distanza al traverso è uguale al cammino percorso da 45° fino al traverso (solo in assenza di vento e corrente, quindi con $R_v = P_v$).

1.10.3.8 Metodo della «Serie di Troub»

Il metodo della «**Serie di Troub**» si effettua quando si ha a disposizione un solo rilevamento costiero sul quale vi si svolgono ripetute osservazioni tali da permetterne una migliore valutazione.

Il metodo prevede l'osservazione dell'oggetto sotto diversi angoli di rilevamento polare, quali 22° , 26.5° , 34° , 45° , 63° , 90° , tali da formare triangoli con medesima distanza; il cammino tra 22° e 26.5° (d_1) sarà uguale a quello della tratta successiva (d_2) e così via (*Figura 10.14*). Si osserva il bersaglio a 22° e si prende il tempo tra tale osservazione e quella di 26.5° . Per la forma dei triangoli che si verranno a creare, si avrà che la distanza tra 22° e 26.5° sarà uguale a quella tra 26.5° e 34° e quindi, navigando a velocità costante, i tempi dovranno essere uguali per ogni tratta di cammino. Se arrivato all'osservazione successiva, il tempo sarà di-



minuito o aumentato, vorrà dire che sulla nave ha agito una forza (vento e/o corrente) che non le ha permesso di seguire perfettamente la rotta.

Figura 10.12 - PN con rilevamento e batimetrica (40 m)

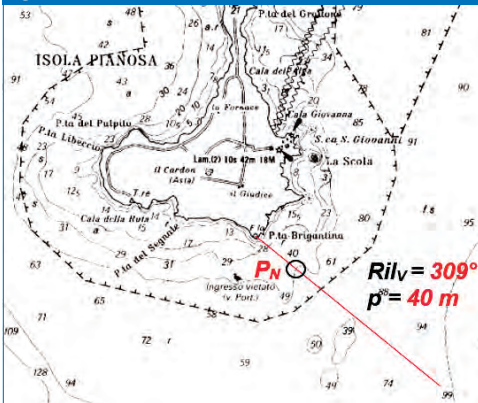


Figura 10.13 - 45 e Traverso

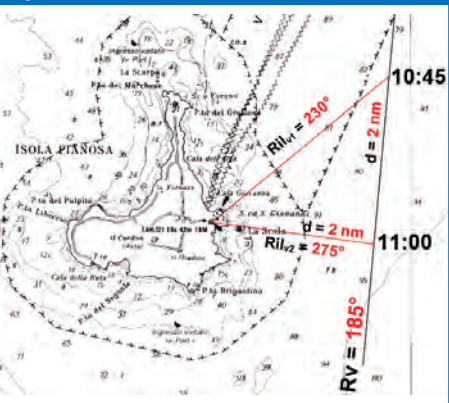
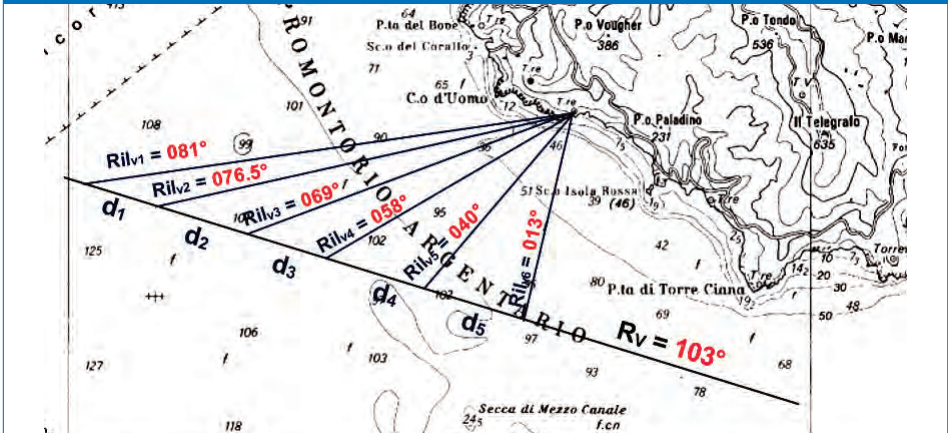


Figura 10.14 - Serie di Troub



1.10.3.9 Trasporto di un luogo di posizione

La necessità del trasporto si verifica quando i rilevamenti non vengono presi simultaneamente: occorre, pertanto, trasportare il primo rilevamento all'istante del secondo. In Figura 10.15 è riportato il trasporto di un luogo di posizione con un solo punto cospicuo.

$Ril_{v1} = 070^\circ$	09:30	faro P.ta del Fenaio
$Ril_{v2} = 150^\circ$	10:00	faro P.ta del Fenaio
$P_v = 010^\circ$	$V = 7\text{ kts}$	

1. Si calcola il cammino $m = v \times \Delta t = 3.5\text{ mg}$
2. Si traccia la PV dal faro di P.ta del Fenaio e su di essa si segna il cammino «m».
Si identifica il punto da cui tracciare la parallela a Ril_{v1} .



3. L'intersezione tra la parallela e il Ril_{V₂} è il P_N.

In *Figura 10.16* è riportato, invece, il trasporto di due luoghi di posizione con due punti cospicui:

Ril _{V₁} =070°	12:00	Faro di Talamone
Ril _{V₂} =103°	13:00	P.ta Lividonia
P _V =225°	V=5 kts	

1. Si calcola il cammino $m=v \times \Delta t=5 \text{ mg}$
4. Si tracciano i due rilevamenti. Si traccia la P_V da Talamone e su di essa si segna il cammino «m». Si identifica il punto da cui tracciare la parallela a Ril_{V₁}.
5. L'intersezione tra la parallela e il Ril_{V₂} è il P_N.

1.10.3.10 Rotta di soccorso

Uno degli argomenti maggiormente chiesti agli esami di abilitazione per ufficiali di navigazione, riguarda la costruzione di una rotta di soccorso. Si riportano, di seguito, i passaggi principali, riferendosi alla *Figura 10.17*:

Noti: A(φ ; λ), B(φ ; λ), R_A, V_A, R_B, V_B

1. segnare sulla carta la posizione della propria nave A (soccorritrice) e quella della nave B (da soccorrere);
1. unire i punti A e B (si ottiene l'indicatrice del moto);
2. tracciare la rotta di B, R_B e il suo vettore di velocità, V_B;
3. dalla cuspide di V_B tracciare la parallela all'indicatrice del moto;
4. da A, con apertura compasso pari a V_A (che rappresenta la **velocità di intercettazione**), intersecare la parallela all'indicatrice del moto, individuano il punto K: tale direzione rappresenta la **rotta di intercettazione, R_i**;
5. prolungando il vettore V_B con R_i si otterrà il **punto di intercettazione, P_i**;
6. riportando V_B sul punto A, la distanza tra la cuspide del vettore e il punto K, sulla parallela all'indicatrice del moto, rappresenta la **velocità relativa, V_R** (della nave B rispetto alla nave A);
7. dividendo la distanza A-B per la velocità relativa, V_R, si determina l'intervallo di tempo necessario, **Δt** per raggiungere la nave B.

N.B. può essere indicato – in un caso più simile a quanto avviene nella realtà – il valore di velocità massima (V_{MAX}) che la nave soccorritrice può sviluppare per raggiungere B (velocità di intercettazione). Nelle operazioni SAR (Search and Rescue), la velocità massima viene definita dal coordinatore dell'area. In tal caso, al punto 4, l'apertura del compasso sarà pari a V_{MAX} e non a V_A.



Figura 10.15 - Trasporto di un LOP con un solo punto cospicuo

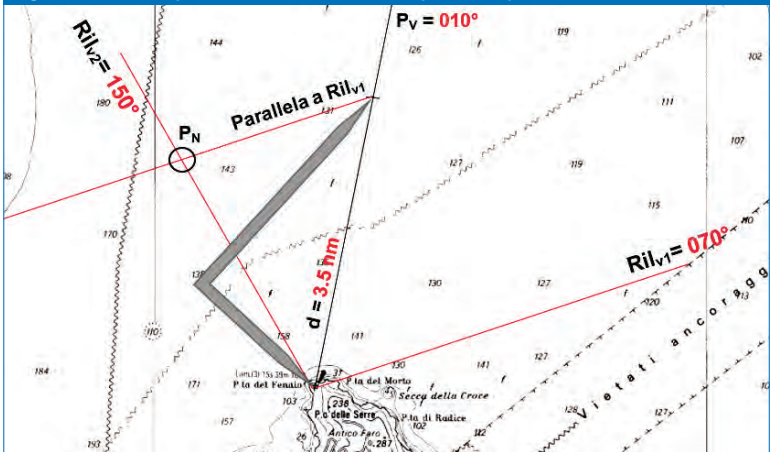


Figura 10.16 - Trasporto di un LOP con due punti cospicui

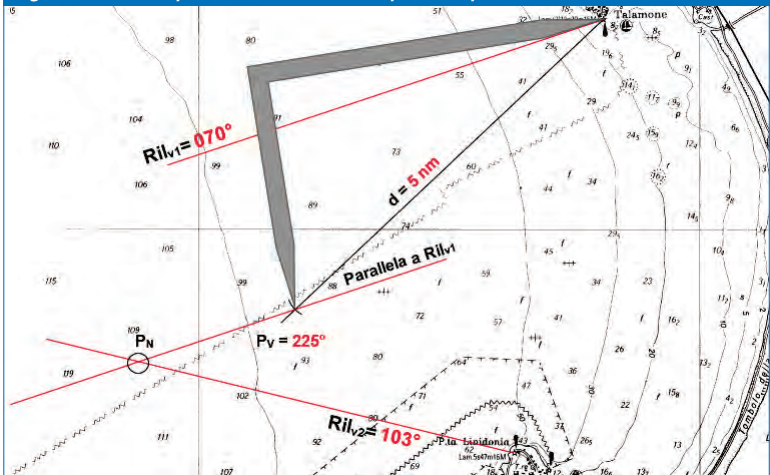
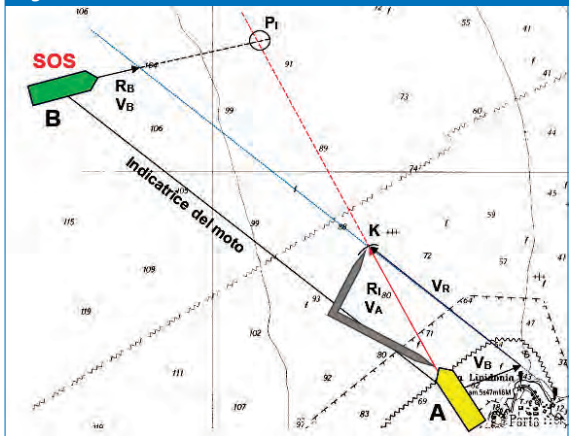


Figura 10.17 - Costruzione della rotta di intercettazione



1.11 VENTO E CORRENTE

Sulla nave in navigazione, intervengono, come è logico, vento (**wind**) e corrente (**current**). Tutto ciò che fa allontanare la nave dalla rotta pianificata si chiama DRIFT (azione congiunta di vento e corrente).

1.11.1 AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento sullo scafo, riferito al moto in superficie è lo **scarroccio (leeway)**. L'angolo di scarroccio (I_{sc}) è quello compreso tra la Prora Vera e la **Rotta Vera Superficiale, R_{vs}** .

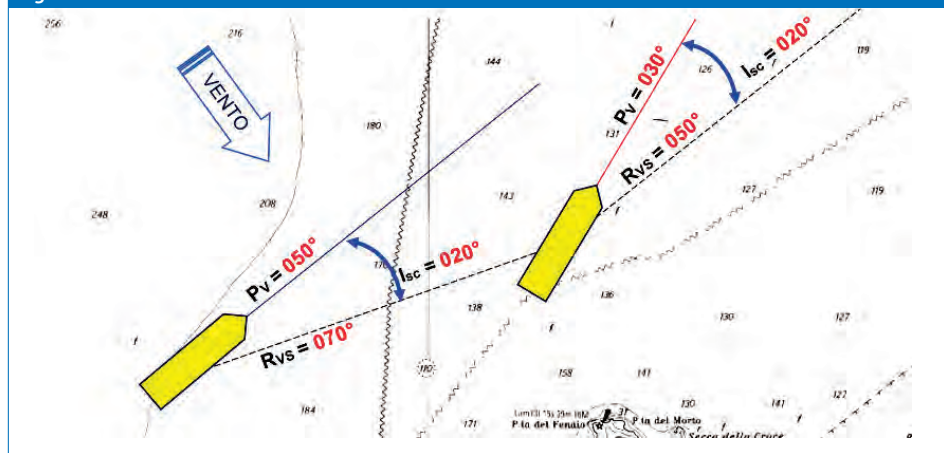
Nell'esempio in *Figura 11.1*, una nave che segue una $P_v=050^\circ$ è soggetta ad un vento che la fa scarrocciare 20° a dritta ($R_{vs}=070^\circ$). **Deve assumere una $P_v=030^\circ$ (sopravvento di 20°) per seguire $R_{vs}=050^\circ$.**

$$P_v = R_{vs} - (\pm) I_{sc} \quad (\text{algebrica})$$

I_{sc} è "+" se ci fa spostare verso dritta

I_{sc} è "-" se ci fa spostare verso sinistra

Figura 11.1 - Azione del vento



1.11.1.1 Vento reale e vento apparente

Il **vento** è indicato in termini di direzione (di provenienza) e intensità, ma i valori assoluti non coincideranno con quelli percepiti da un oggetto in movimento, cioè quelli relativi, a causa della sua composizione con lo spostamento d'aria legato al moto (vento di velocità).

Per effetto del **vento di velocità (headwind)**, uguale ed opposto alla velocità della nave, avremo dunque un **vento apparente (apparent wind)** diverso dal **vento reale (true wind)**. Nella navigazione mercantile è necessario convertire in dati reali quanto rilevato a bordo con gli strumenti, sia per avere informazioni meteorologiche più consistenti ai fini



del confronto con i dati dei bollettini, dell'individuazione della bassa pressione, della previsione del mare ecc., sia per gestire al meglio la conduzione della nave, soprattutto in manovra (Figura 11.2). La conversione fra valori relativi ed assoluti avviene con semplici relazioni vettoriali, infatti vale la seguente espressione:

$$\vec{V}_A = \vec{V}_R + \vec{V}_V$$

Dove V_A è il vento apparente, V_R il vento reale e V_V il vento di velocità.

La risoluzione dei problemi di conversione può avvenire in forma grafica o utilizzando apposite tabelle e/o stampati: ne sono un esempio ancora una volta gli strumenti forniti dalle **Tavole Nautiche (n. 15)** (Figura 11.3).

Figura 11.2 - Vento reale e vento apparente

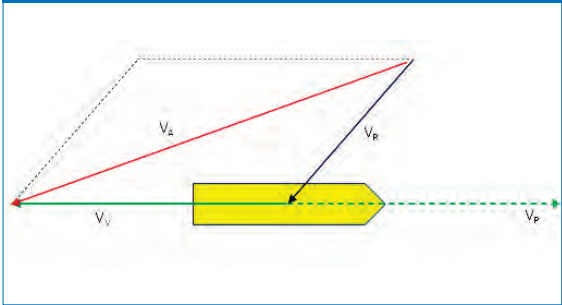
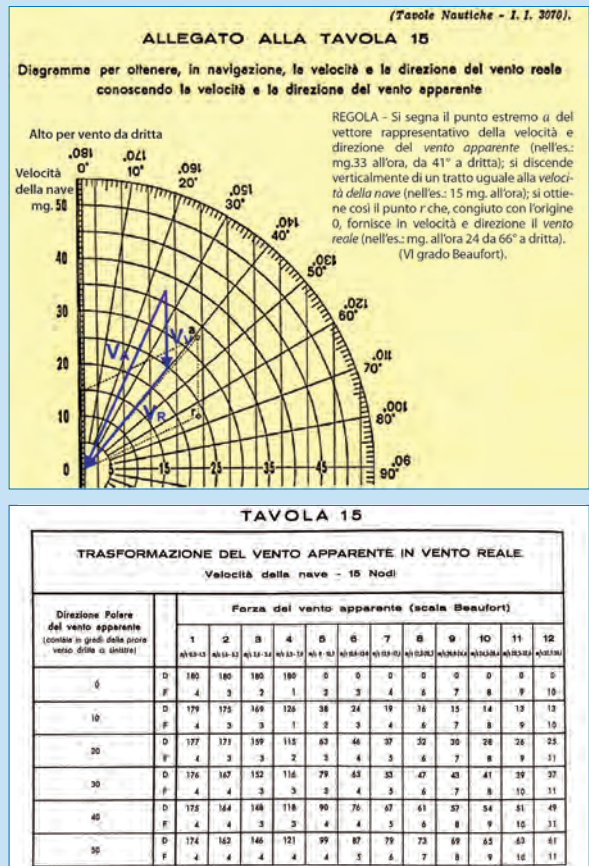


Figura 11.3 - Tavole Nautiche n. 15 e allegato





1.11.2 AZIONE DELLA CORRENTE

L'azione della corrente sullo scafo, riferito al fondo del mare è la **deriva (drift)**. L'**angolo di deriva (l_{dr})** è quello compreso tra la Prora Vera e la Rotta Vera (Figura 11.4).

$$P_v = R_v - (\pm) l_{dr} \quad (algebraica)$$

l_{dr} è "+" se ci fa spostare verso dritta l_{dr} è "-" se ci fa spostare verso sinistra

Ricorda:

- Il vento viene, la corrente va, un vento di Grecale viene da NE; una corrente di azimut 300° va per 300°
- La Prora deve sempre contrastare la corrente e il vento

1.11.3 AZIONE COMBINATA VENTO E CORRENTE

Alla luce di quanto trattato, esistono tre tipi di velocità, relative ai diversi valori angolari:

- ▶ **Prora vera, $P_v \rightarrow$ Velocità propria, V_p** , dovuta alla spinta dell'elica in assenza di vento e corrente; si realizza rispetto alla superficie del mare.
- ▶ **Rotta vera, $R_v \rightarrow$ Velocità effettiva, V_{eff}** , dovuta all'azione congiunta della spinta dell'elica del vento e della corrente; si realizza rispetto al fondo marino.
- ▶ Rotta vera superficiale, $R_{vs} \rightarrow$ Velocità superficiale (o stimata), V_s , quella presunta in funzione delle condizioni meteorologiche, del propulsore e dell'assetto della nave (Figura 11.5).

L'azione combinata di vento e corrente prende il nome di **drift**, espresso come angolo (**drift angle**) e fornito costantemente dagli strumenti di navigazione a bordo:

$$\text{DRIFT ANGLE} = \text{COG} - \text{HDG}$$

$$R_v = P_v + (\pm) l_{sc} + (\pm) l_{dr}$$

$$P_v = R_v - (\pm) l_{dr} - (\pm) l_{sc}$$

Nel tracciamento grafico, occorre tenere presente che:

- ▶ Per passare da P_v a R_v prima si riporta il vento, poi la corrente nello stesso senso con cui si presentano.
- ▶ Per passare da R_v a P_v prima si riporta la corrente, poi il vento nel verso opposto a quello con cui si presentano.

1.11.4 PROBLEMI DELLE CORRENTI

I problemi delle correnti sono **quattro** e i vettori in gioco sono:

- ▶ Prora Vera P_v ; Velocità propria, V_p
- ▶ Azimut (direzione) corrente, D_c ; Velocità corrente, V_c
- ▶ Rotta vera, R_v ; Velocità effettiva, V_e

Si richiamo le principali regole grafiche per la risoluzione dei problemi vettoriali (Figura 11.6).



Figura 11.4 Azione della corrente

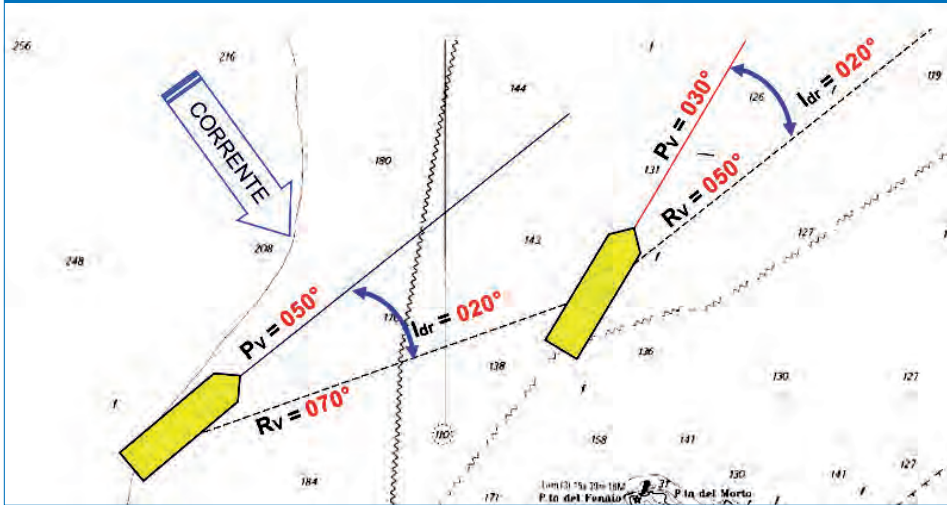


Figura 11.5 Azione combinata del vento e della corrente

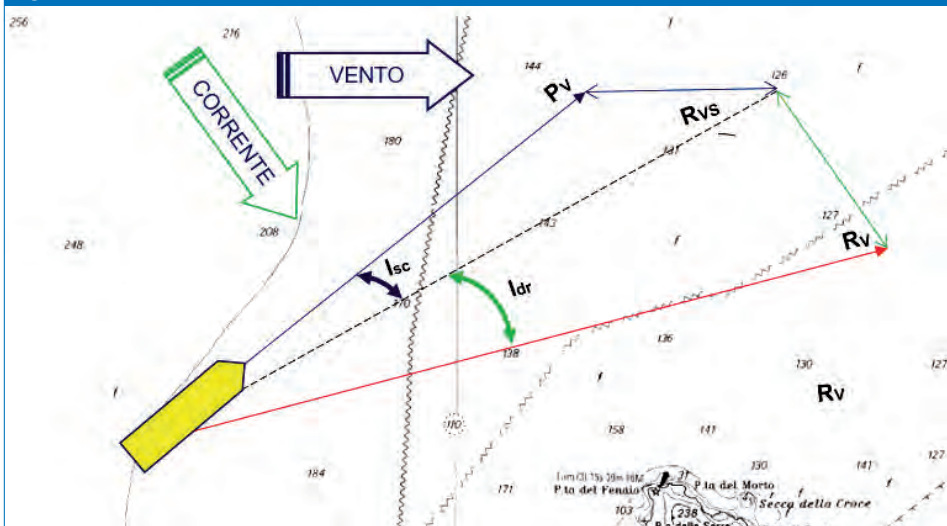
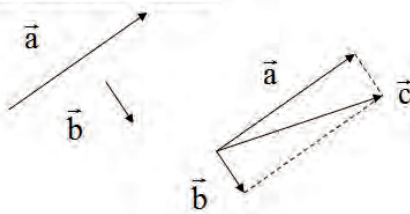
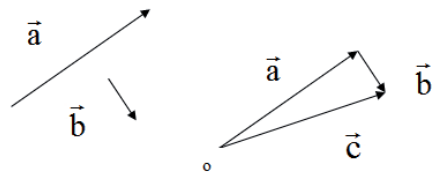


Figura 11.6 Regole vettoriali del parallelogramma e delle poligonal

Regola del parallelogramma



Regola delle poligonal (+ rapido)



**1° Problema**Noti: P_v V_p D_c V_c **Determinare:** R_v V_E

Da «A» si traccia la Prora vera e il vettore V_p . Si traccia il vettore della corrente (D_c e V_c) dall'estremità di V_p . Si unisce il punto A con l'estremità di V_c (nel punto K). Il segmento A-K rappresenta la R_v con il suo vettore V_E (Figura 11.7). C'è da dire che questo problema difficilmente si presenta a bordo.

2° Problema

Il problema **più pratico** è quello di determinare la Prora vera da assegnare al timoniere e la velocità effettivamente sviluppata dalla nave in presenza di *drift*.

Noti: R_v V_p D_c V_c **Determinare:** P_v V_E

Da «A» si traccia la Rotta vera e il vettore V_c con direzione dell'azimut della corrente. Dalla cuspidi di V_c con apertura compasso pari a V_p , si traccia un arco di circonferenza che intersechi la rotta (nel punto E). Il segmento A-E rappresenta in lunghezza V_E (Figura 11.8).

3° ProblemaNoti: R_v V_E D_c V_c **Determinare:** P_v V_p

Da «A» si traccia la Rotta vera e il vettore V_E . Si traccia il vettore della corrente (D_c e V_c) in senso opposto a come si presenta, dall'estremità di V_E . Si unisce il punto A con l'estremità di V_c (nel punto D). Il segmento A-D rappresenta la P_v con il suo vettore V_p (Figura 11.9). Anche questo problema difficilmente si presenta a bordo.

4° ProblemaNoti: R_v V_E P_v V_p **Determinare:** D_c V_c

Il quarto problema, invece, è più consistente in quanto permette di determinare gli elementi (azimut e velocità) della corrente nella zona in cui si sta navigando.

Esempio (Figura 11.10)

Una nave parte da Giglio Porto (A) alle 08:00 e naviga con: $R_v=036^\circ$ e $V_p=5$ kts. Alle 09:30 determina il P_N trovandosi a 1 mg a Nord di P.ta Lividonia. Determinare P_s , A_c e V_c .

- Si calcola il cammino: $m=v \times \Delta t=7.5$ mg
- si segna il P_s sulla R_v
- Dal tratto P_s-P_N (m_c) emerge:
 $D_c=112^\circ$ (diretto dal P_s verso il P_N)
 $m_c=2.9$ mg

$$V_c = \frac{m_c}{\Delta t} = 1,9 \text{ kts}$$



Figura 11.7 - Primo problema della corrente

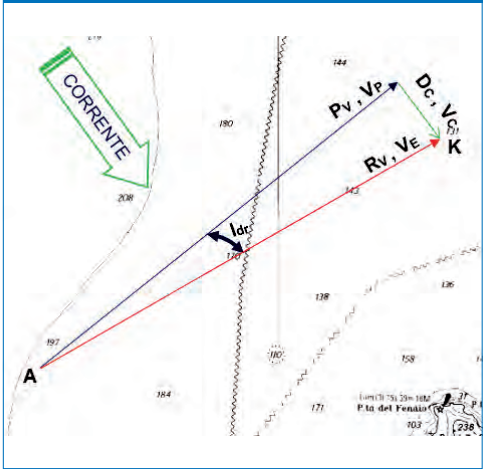


Figura 11.8 - Secondo problema della corrente

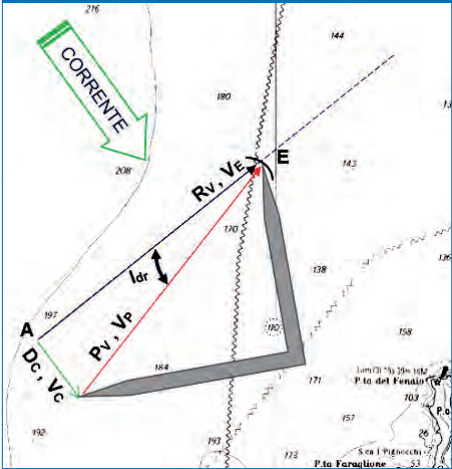


Figura 11.9 - Terzo problema della corrente

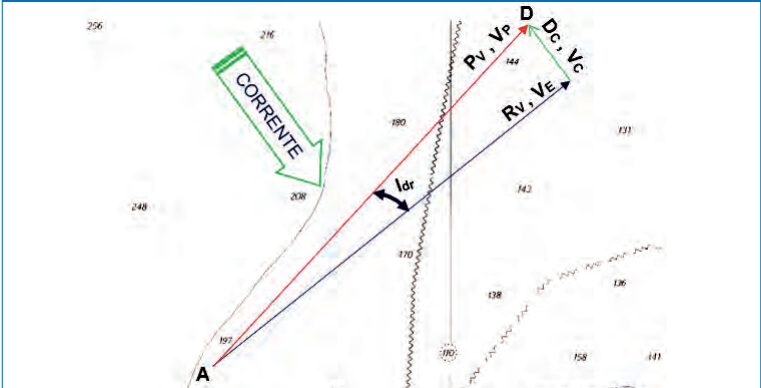


Figura 11.10 - Quarto problema della corrente





1.12 MISURA DELLA PROFONDITÀ

Gli **scandagli (sounders)** sono misuratori di profondità. Lo scandaglio più semplice è manuale, costituito da una sagola con un peso attaccato ad un estremo (*Figura 12.1*). Sulla sagola si riportano le indicazioni per le unità di misura. Se la nave è ferma, dalla quantità di sagola filata si determina la profondità. In realtà, a causa della corrente e del vento la sagola si dispone secondo un certo angolo α rispetto alla verticale, per cui bisogna ricavare la profondità moltiplicando la lunghezza della sagola filata per il coseno dell'angolo suddetto. Per ottenere valori il più possibile accurati, la misurazione deve essere fatta:

- ▶ in tre punti diversi (prora, centro, poppa)
- ▶ in assenza di corrente
- ▶ per tre volte

$$p = l \times \cos \alpha$$

p = profondità l = lunghezza del filo

1.12.1 SCANDAGLI ULTRASONORI

102

Lo scandaglio a mano fa parte della strumentazione di emergenza presente sul ponte di comando e deve essere utilizzato in caso di incaglio, per sondare in modo accurato il fondale. Negli **scandagli ultrasonori (echo sounders)** si sfrutta la capacità di propagazione delle onde sonore nell'acqua, che avviene con una **velocità (u)**, mediamente pari a 1500 m/s (*Figura 12.2*).

Le onde sonore vengono emesse nell'acqua mediante un trasduttore e si propagano fino a raggiungere il fondo. Dal fondo parte dell'energia sonora viene assorbita e parte viene riflessa in relazione alle caratteristiche del fondo stesso.

Le onde riflesse (echi) vengono captate dal trasduttore, che misura la differenza di tempo intercorsa fra l'istante di emissione e quello di ricezione.

$$p = \frac{u \times \Delta t}{2}$$

I trasduttori sono situati vicino alla chiglia in modo da essere quanto più lontano possibile da disturbi causati dal propulsore, da turbolenze e bolle d'aria create dalla carena ed hanno la funzione di emettere e ricevere le onde sonore. I trasduttori possono essere a **cristallo di quarzo** o a **nickel**.

I primi sfruttano il fenomeno della **piezoelettricità** (se si applica una tensione oscillante fra le due facce di una piastrina di quarzo, questa vibra producendo onde con la stessa frequenza della tensione applicata). Il fenomeno è **reversibile** ovvero, facendo vibrare la piastrina, sulle sue facce nasce una tensione oscillante. Pertanto, nello scandaglio a quarzo la stessa piastrina funziona sia come membrana trasmittente, che come membrana ricevente.



Figura 12.1 - Scandaglio a mano

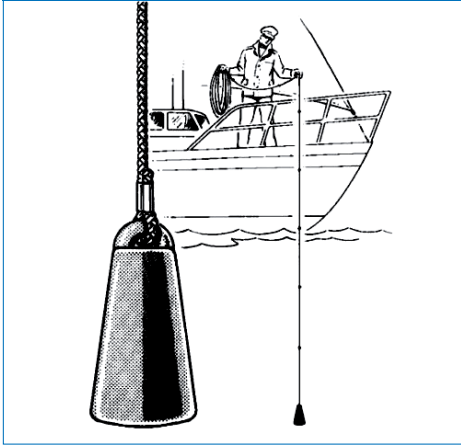
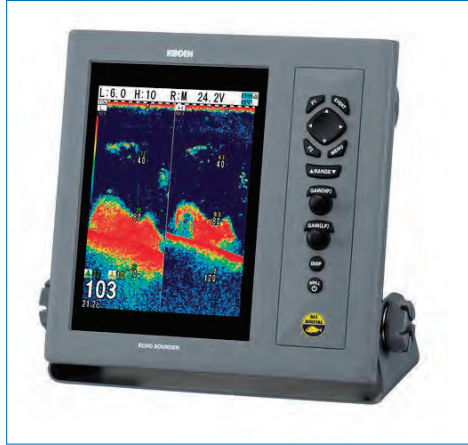


Figura 12.2 - Scandaglio a ultrasuoni



Gli scandagli a nickel, invece, sfruttano il fenomeno della **magnetostrizione** (se una lamina di nickel è attraversata perpendicolarmente da un filo nel quale scorre una corrente oscillante, la lamina stessa si espande e si contrae con la stessa frequenza della corrente). **Pertanto, per poter sfruttare al contrario tale fenomeno, occorrono due lamine: una trasmittente non magnetizzata e una ricevente magnetizzata.**

L'ecoscandaglio è un valido strumento per il controllo della navigazione in tempo reale, da impiegare sempre quando si esegue un atterraggio in acque costiere ed in particolare in zone ove i fondali segnati sulle carte non sono affidabili (Figura 12.3).

Ogni qualvolta si utilizza l'ecoscandaglio, l'Ufficiale di guardia dovrà indicare la data, l'ora e la posizione nave (o il nome del porto) sul rotolo di registrazione dell'ecoscandaglio. In situazioni di particolare rischio, le stesse informazioni devono essere riportate sul giornale di navigazione. Le stesse registrazioni devono essere effettuate quando l'ecoscandaglio è fermato.

Lo schema a blocchi dell'ecoscandaglio è riassumibile in quattro elementi:

- ▶ **indicatore** riporta l'andamento del fondo e la profondità;
- ▶ **trasmettitore** genera la tensione ad alta frequenza che eccita il trasduttore;
- ▶ **trasduttore** emette le vibrazioni nell'acqua e riceve gli echi di ritorno che trasforma in segnali elettrici;
- ▶ **amplificatore** amplifica gli impulsi elettrici forniti dal trasduttore e li invia all'indicatore.

Sull'indicatore si legge la profondità e scorre, quando la nave si muove, il profilo del fondo (Figura 12.4).



Figura 12.3 - Scandagliamento dei fondali

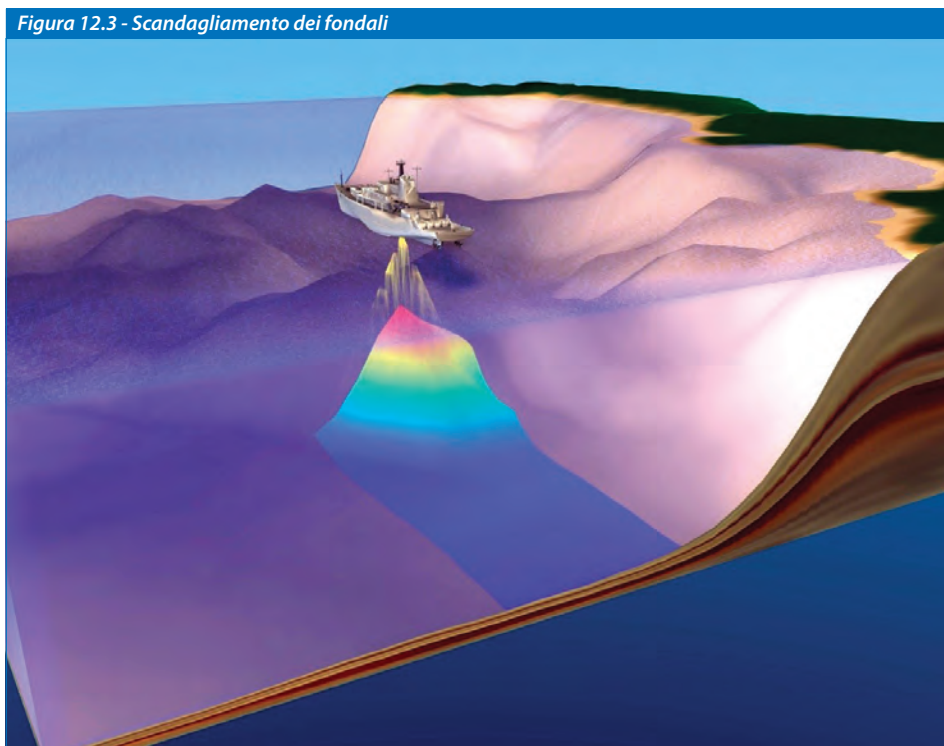
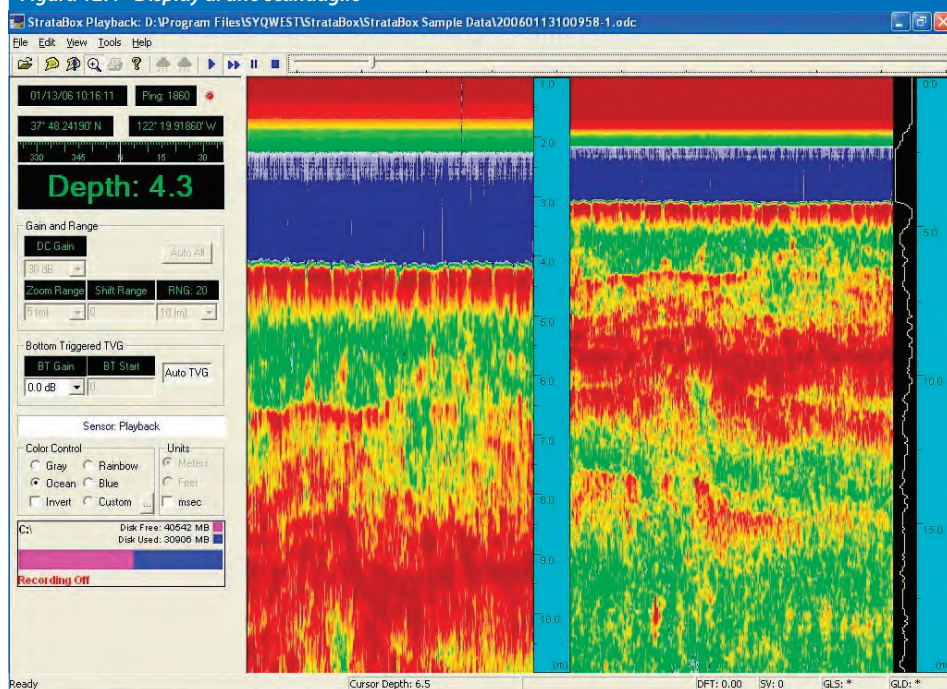


Figura 12.4 - Display di uno scandaglio





1.13 PIANIFICAZIONE DEL VIAGGIO

Una nave, sia essa da carico o da crociera, non può partire da un porto senza disporre di un **piano di viaggio (VPP, voyage passage plan)**, preparato dall'ufficiale delegato dal Comandante e approvato, nonché controfirmato, da quest'ultimo. La preparazione del VPP prende il nome di **pianificazione della navigazione (passage planning)** ed è intesa **da banchina a banchina (berth to berth)**. Data l'importanza che la pianificazione ha assunto, l'IMO ha elaborato le linee guida per poter disporre di un piano che sia significativo ed affidabile attraverso la **Risoluzione A.893(21) "Guidelines for voyage planning"**.

Lo sviluppo di un piano operativo per la traversata ed il controllo continuo dell'evolversi della situazione hanno l'importante fine di:

- ▶ rendere sicura la vita umana in mare
- ▶ migliorare l'efficienza della navigazione
- ▶ difendere l'ambiente marino

Primo fattore da considerare è la scelta della traiettoria da seguire. Questa va effettuata a seconda del tipo di navigazione a cui la nave è destinata (una nave che porta containers in giro per il mondo avrà indubbiamente un VPP differente rispetto a quello di una nave passeggeri che svolge crociere cicliche nel Mediterraneo), delle caratteristiche tecnico-strutturali della nave (dimensioni principali, bordo libero, ecc.), delle caratteristiche del carico trasportato, delle condizioni meteo-marine della zona in cui si deve navigare. La scelta deve ricadere sulla traiettoria che soddisfa al meglio i requisiti di **sicurezza**, in primis (delle persone a bordo, della nave, del carico, dell'ambiente esterno) e di **economia** (consumi di bunker e di provviste in relazione alla velocità richiesta per la tratta da seguire).

La pianificazione del viaggio e si compone di quattro fasi fondamentali:

- ▶ **valutazione (appraisal)**
- ▶ **pianificazione (planning)**
- ▶ **esecuzione (execution)**
- ▶ **controllo (monitoring)**

Il capitolo IX della SOLAS (ISM Code) ha stabilito importanti linee guida sul piano di viaggio. A bordo, oggi, sono presenti accurate check lists (facenti parte dello SMS di compagnia) da utilizzare per la stesura di un efficiente VPP. Nel capitolo II della pubblicazione **Bridge Procedures Guide**, edita dall'*International Chamber of Shipping*, è trattata la stesura del VPP con l'utilizzo di utili check lists. Anche nel capitolo V della SOLAS, regola 34 viene menzionato il VPP per quanto riguarda la disponibilità di carte e pubblicazioni nautiche convenientemente aggiornate. La STCW, infine, sottolinea come il VPP debba essere accuratamente controllato; eventuali modifiche durante il viaggio devono essere valutate ed effettuate, per quanto possibile, in anticipo. Importante fattore da considerare, seguendo la nuova dottrina della navigazione, è la motivazione dell'intero team, chiamato a collaborare coscientemente e pienamente alla realizzazione del piano di viaggio.



Il Comandante deve condurre **briefings** al fine di offrire a tutti la possibilità di condividere idee, opinioni ed esperienze (inizio del passage plan) e **de-briefings**, al fine di avere un riscontro finale della navigazione effettuata (conclusione del passage plan). A tali riunioni deve essere invitato anche il Direttore di macchina che, in fase di valutazione e pianificazione, deve fornire informazioni circa l'apparato motore e i macchinari (principali e ausiliari) relative ad eventuali limitazioni, lavori di manutenzione straordinaria e quant'altro che possano influire sul VPP.

1.13.1 APPRAISAL

L'**ufficiale addetto alla pianificazione (VP Officer)**, attraverso l'uso di apposite check list (Figura 13.1) deve accertarsi circa:

- ▶ La **strumentazione** del ponte di comando, affinché sia correttamente funzionante: la nave deve rispettare i parametri di stabilità (alla partenza - in navigazione - all'arrivo). Prima della partenza devono essere soddisfatti i criteri di stabilità della nave, ovvero: pescaggi letti e comparati con quelli forniti dai software di bordo, GM ampliamenti nei limiti SOLAS, assetto, sforzi e trazioni contenuti. Devono essere inoltre considerate le operazioni, che possono variare tali parametri, previste durante la navigazione (spostamenti/riempimenti/svuotamenti di zavorra) e durante le soste in porto (imbarco carburante).
- ▶ Lo **stato della nave** e le sue specifiche tecniche e in particolar modo:
 - ▶ curva di evoluzione;
 - ▶ eventuali limitazioni della capacità manovriera della nave;
 - ▶ il pescaggio con annesse limitazioni, tra le quali l'UKC (*under keel clearance*) ovvero il battente d'acqua libera, richiesto per una navigazione sicura e, di conseguenza, l'effetto squat;
 - ▶ stato del carico;
 - ▶ i provvedimenti che sono stati attuati nella gestione della vita di bordo al fine di assicurare un adeguato addestramento e un adeguato riposo dell'equipaggio;
 - ▶ l'aggiornamento dei documenti riguardanti la nave, l'equipaggio, i passeggeri ed il carico (stato di navigabilità della nave).
- ▶ Gli **aspetti ambientali**: vanno considerati i requisiti MARPOL, le Aree Speciali, le Aree con emissioni di SOx controllate e le Regolamentazioni Nazionali e Locali. Deve essere prestata particolare attenzione alle operazioni di zavorra (*ballast*), scarica di cibo in mare, accensione dell'inceneritore. A tal proposito egli preparerà un apposito schedule, da inviare a tutti i dipartimenti di bordo, nel quale sono riportati gli orari di entrata/uscita dalle 3/4/6/12 miglia dalla costa (o dalla linea di base), indicando quali operazioni sono permesse (si ricorda che è necessaria l'approvazione dell'ufficiale di guardia - OOW - sul ponte). Devono essere anche organizzate per i vari porti le operazioni di sbarco dei rifiuti ordinari e speciali (*garbage*) ed eventuale sbarco delle morchie (*sludge*) e della sentina (*bilge*).
- ▶ La **security**: in relazione all'ISPS Code è da tenere in considerazione il livello di sicurezza della nave, che deve essere adattato con quello dei porti (nel caso di porti con livello



di security più alto rispetto a quello della nave). Per ogni porto deve essere preparata la **DOS (Declaration of Security)**. Misure aggiuntive devono essere adottate in caso di transito in zone a rischio terrorismo/pirateria.

- ▶ Le **agenzie locali** forniscono informazioni e avvisi locali. La best practice è quella di inviare e-mails standard ad ogni agenzia portuale con le informazioni richieste, es.: possibilità di imbarcare fresh water, sbarcare garbage, sludge, bilge, effettuare rifornimento fuel, effettuare lavaggio/pittura/saldatura scafo e altri lavori, effettuare esercitazioni di emergenza (ammalino scialuppe di salvataggio, ecc.).
- ▶ I **piloti** consultando le **Sailing Directions** e i **Guide to port entries** è possibile ricavare informazioni relative alle posizioni di imbarco/sbarco pilota, chiamate VHF all'arrivo e alla partenza, ecc. Deve essere sempre pronta la **pilot card** per poter permettere al pilota di familiarizzare velocemente con la strumentazione di plancia e con le caratteristiche tecniche ed evolutive della nave.
- ▶ Le **Autorità Portuali** informazioni relative a Regolamenti, dati tecnici banchine (dimensioni, tipo di bitte, ecc.), porti (facilities, servizi, ecc.), rimorchiatori, possono essere ricavate dalle pubblicazioni a bordo oppure dagli appositi siti internet. Dai siti web è possibile ottenere informazioni anche sulle condizioni meteo-marine locali e su eventuale *conflict traffic*.
- ▶ L'**esperienza passata** per navi che non hanno mai attraccato in un porto o che non hanno familiarità con esso. È possibile ricavare informazioni dai database di altre navi della Compagnia.

Dall'analisi delle predette informazioni si effettua una valutazione complessiva che metta in evidenza le **aree di pericolo (no go areas)** nelle quali la navigazione è vietata per molteplici cause, (es. bassi fondali in relazione al pescaggio della nave, esercitazioni militari o ricerche oceanografiche effettuate da altre navi, ecc.). Esse vanno appositamente indicate sulle carte nautiche (sia tradizionali: a matita rossa; che elettroniche: con gli appositi *user objects*). Conseguentemente alle aree interdette devono risultare chiaramente le **aree in cui la navigazione è sicura e garantita (safe waters)**.

Altro fattore importante da considerare è la **valutazione dei rischi (risk assessment)** legati al VPP (tenendo in considerazione maree, correnti, zone di traffico, security, TSS, condizioni meteo-marine, METAREAS, NAVAREAS, NAVTEX) e ai singoli **porti** (tenendo conto delle facilities portuali, delle caratteristiche tecniche e di segnalamento internazionale, dei servizi offerti, delle condi meteo). A tal proposito l'ufficiale addetto preparerà appositi **Assessment Matrix** dove, generalmente, per ogni voce è indicato un livello (numerico o letterale) del rischio, secondo una scala opportunamente stabilita dallo SMS.

*Figura 13.1 - Esempio di checklist per la fase di Appraisal*

Voyage Appraisal Guide
Chart type coverage and appropriate scale
Datum mismatch areas and GNSS error areas
ECDIS & ENC Safety Notices such as Read Me File
Navigational Warnings
Local Notices to Mariners, T&Ps and Admiralty Information Overlay (if supported)
Nautical Publications
Tidal and current information
Weather and climate information
Port information / Port Study
Ship characteristics (draft, air draft, etc.)
Environmental aspects (e.g. regulatory requirements, sensitive area, etc.)
Security/High Risk Areas
Local agents, Pilots, Port Authorities, Port Facilities
Departure / Arrival only
Port Information, Pilots boarding ground, tugs, escort vessels, expected traffic, restrictions
Communication channels (VTS, Harbour, Pilots, tugs, CG, agency)
Environmental expected conditions, wind, tide, current, weather, visibility
UKC, Safety Depth/Safety Contour and Air Draft
Obstructions and hazards to navigation marked (if not clearly displayed on the ECDIS)



1.13.2 PLANNING

L'ufficiale addetto deve sviluppare una pianificazione mirata e precisa al fine di assicurare una navigazione in sicurezza da banchina a banchina; egli tratterà sulla carta nautica e/o sull'ECDIS le rotte in funzione dei vari **waypoint (punti di accostata)**, congiuntamente ad una serie di informazioni che analizzeremo in seguito. Anche in questa fase, si utilizzeranno apposite check list (Figura 13.2).

Figura 13.2 - Esempio di check list per la fase Planning

Planning Checklist							
Berth to berth	N/A	Yes	Departure/Arrival	N/A	Yes	N/A	Yes
VTS reports/traffic info				Departure		Arrival	
Track Control System settings			Commit Point				
Visual and Radar monitoring/PIs			Contingency plans				
Echo Sounder Alarm			Speed range/limits, ROTs, heeling limitations				
Speed restriction			Reference of changing steering mode position (center or wing)				
ECDIS Safety Parameters			Swinging circles, drift angles, swept path, wind load				
Appropriate Environmental Waypoint Notes / Parameter Points added			Reference for: swing, WOP/WOL, maneuvering				
Manning status (BRM)			Safe clearances				
MARPOL lines/environmental limits			Berth location				
Chart type: ENC/RNC/Paper			Engine configuration				
Contingency Anchorage			<i>To include</i> - Depth contours - Activate all layers on the ECDIS display - Isolated Shallow Water Dangers. Set to "On" - Quality of the data (ZOC) Set to "On"				
Restricted areas							
Territorial waters							
Transit info			Voyage Planning Officer				
Track, Radii, WOP/WOL							
Safety margins, No-Go areas							
Special areas							
ECDIS position cross-check frequency (LOP, Radar bearings/distances, depth soundings).			Captain				



Il VPP deve essere realizzato e documentato in almeno 3 sezioni:

- ▶ **partenza (*departure*)** il piano di viaggio dal *PIM* (*Pronti in Macchina – SBE, Stand-by in Engine*) banchina/posizione di ancoraggio fino al *FIM* (*Finito in Macchina – FWE, Finish with Engine*);
 - ▶ **navigazione (*sea passage*)** il piano di viaggio dal *FIM* fino al *PIM* del porto di arrivo;
 - ▶ **arrivo (*arrival*)** il piano di viaggio dal *PIM* sino al *FIM* alla banchina di arrivo/posizione di ancoraggio.
- I punti 1 e 3 sono considerati **“in port passage”**.

Ecco tutto quello che bisogna tener presente in una pianificazione:

1. Piano della navigazione portuale (***port passage***)
2. Scelta del percorso principale per la navigazione d'altura (***sea passage***)
3. Costruzione di una traiettoria alternativa a quella principale (***contingency plan***)
4. Piano delle eventuali accostate
5. Determinazione della velocità di esercizio e velocità economica
6. Calcolo dei consumi previsti (fuel, olio, acqua, diesel, ecc.) e quindi programmazione del bunker
7. Calcolo dei tempi previsti di percorrenza, degli ETA parziali ad ogni Way Point e dell'ETA di arrivo a destinazione
8. Volume di traffico ed eventuale conflict traffic nei porti

1. Piano della navigazione portuale (*port passage*)
 - ▶ **Atterraggio/partenza** l'atterraggio è il termine della navigazione d'altura e inizia quando si vede visivamente il primo punto cospicuo.
 - ▶ Preparazione di un'apposita scheda elencante i canali VHF di chiamata alle stazioni costiere (TRAFFIC, PORT CONTROL, PILOTI), riportati anche sulle carte nautiche per una più rapida consultazione.
 - ▶ Regolazione della velocità tenendo in considerazione eventuali limitazioni locali per imbarcare il pilota, imboccare TSS o canalette, entrare in porto.
 - ▶ **Imbarco/sbarco del pilota**
 - ▶ Preparazione della postazione d'imbarco (che sia ben illuminata, asciutta, priva di ostruzioni).
 - ▶ Preparazione della biscagliina (che sia ben fissata e in buono stato di conservazione).
 - ▶ Presenza di personale addestrato e che indossi i corretti dispositivi di protezione individuali (*PPE, personal protective equipment*).
 - ▶ **Ormeggio/disormeggio/ancoraggio**
 - ▶ Preparazione di appositi **piani di ormeggio (*mooring plans*)** illustranti il layout dei posti di manovra e i passaggi dei cavi.
 - ▶ Preparazione di appositi **schedule** indicanti il personale interessato per la manovra.

I piloti di solito vengono a bordo per mezzo di imbarcazioni, ma ci possono essere battelli ancorati o in moto in certe zone dove, essendo obbligatorio il pilotaggio per lunghi tratti, i piloti vi risiedono a turno servendosi come punto di arrivo o di imbarco. Nelle zone in cui il pilotaggio è obbligatorio, i punti di imbarco e di sbarco del pilota sono



stabiliti nel regolamento della corporazione dei piloti; nei porti ove è facoltativo spetta al comandante della nave decidere l'inizio e la fine dell'assistenza del pilota. Sulle carte nautiche il punto d'imbarco è evidenziato da un piccolo rombo inscritto in un cerchietto chiamato *boarding mark*. Per le procedure inerenti all'imbarco e allo sbarco del pilota, fare riferimento alla **SOLAS cap. V/23** e alla **Ris. IMO A.1045(27)**.

2. Scelta del percorso principale per la navigazione d'altura (*sea passage*)

Noti i due punti estremi della nostra navigazione d'altura (dal FIM al PIM), occorre eseguire il confronto tra una rotta ortodromica (carta gnomonica) e una rotta lossodromica (carta di Mercatore). Il confronto può essere fatto graficamente o analiticamente, ossia mediante formule risolte con il calcolatore tascabile o con l'ausilio del mezzo informatico. Indipendentemente dalla traiettoria scelta, assicurarsi che la rotta non attraversi zone dove tipicamente si trovano ghiacci alla deriva o formazione di pack. In caso affermativo redigere una variazione del piano debitamente documentato e/o un piano alternativo. Occorre altresì assicurarsi che la rotta non attraversi zone che potrebbero rendere poco sicura la navigazione, quali aree interdette alla navigazione o ricche di secche e/o isolotti, ecc.

3. Costruzione di una traiettoria alternativa a quella principale (*contingency plan*)

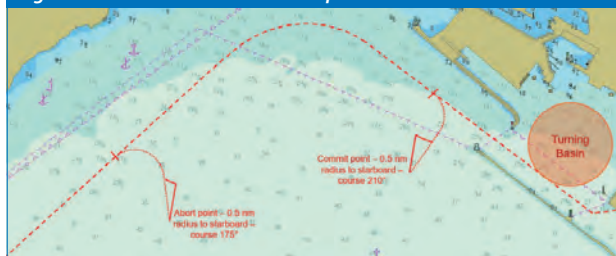
I motivi per cui si ricorre ad un *contingency plan* sono i seguenti:

- ▶ rotta poco sicura
- ▶ area particolarmente perturbata
- ▶ situazione di emergenza

In questo caso occorre predisporre una scheda con riportati i porti alternativi a quelli effettivi. Si ricorda che le divergenze dal VPP principale devono essere approvate dal Comandante, che è tenuto ad informare la Compagnia. Quando la nave si avvicina ad acque ristrette (approcci portuali, in rade, ecc.) deve essere chiaramente indicato un **Commit Point**. Si tratta dell'ultimo punto dal quale la nave può ancora abbandonare in sicurezza la rotta pianificata e avere la possibilità di accostare verso acque sicure. Pertanto, al momento di raggiungere il Commit Point, la nave deve essere totalmente pronta a completare la manovra prevista (arrivo, partenza o transito). Un Abort Point è qualsiasi punto della rotta in cui la nave può interrompere la manovra in corso e allontanarsi dalla rotta pianificata dirigendosi verso acque sicure. Quando nel piano di viaggio viene inserito un commit point, l'inclusione di eventuali abort point è facoltativa. (Figura 13.3). Il *Commit Point* può essere stabilito mediante tre metodi:

- ▶ **giro libero** mantenendo un adeguato spazio d'acqua per manovrare con i timoni e le macchine (in questo caso vanno segnati anche il radius e il *Rate of Turn*);

Figura 13.3 - Commit Point e abort point





- ▶ **giro ristretto** mantenendo un adeguato spazio per manovrare in sicurezza usando macchine, timoni e thrusters;
- ▶ ancoraggio di emergenza (**contingency anchorage**) mantenendo un adeguato spazio per procedere in una zona di ancoraggio con profondità e natura del fondo marino appropriati. In questo caso deve essere segnata in modo evidente la rotta per il punto di ancoraggio.

4. Piano delle eventuali accostate. Nella pianificazione delle accostate occorre:

- ▶ identificare tutti i **waypoint (WP)** inerenti la traversata;
- ▶ determinare le rotte e le relative prore gyro e bussola per ogni segmento;
- ▶ determinare le distanze per i WPs successivi;
- ▶ determinare la distanza rimanente per la destinazione;
- ▶ identificare tutti gli eventuali punti di accostata tenendo conto delle caratteristiche evolutive della nave:
 - ▶ *Rate of turn*
 - ▶ *Radium of turn (radius)*
 - ▶ **WOP (Wheel Over Point)** ovvero il punto di inizio dell'azione del timone)
- ▶ determinare i **WOP**;
- ▶ determinare il radius e il WOP per ogni WP allo scopo di eseguire un cambiamento di rotta programmato poco influente sulla velocità di transito sul WP stesso (*Figura 13.4*). A questo scopo è di vitale importanza fare riferimento alla curva di evoluzione ed ai seguenti elementi:
 - ▶ *Rate of turn* che non sia troppo elevato
 - ▶ sbandamento derivante dall'accostata
 - ▶ velocità
 - ▶ manovrabilità della nave
- ▶ marcare tutti quei punti della traiettoria di particolare importanza, come:
 - ▶ zone in cui i casi di nebbia sono frequenti
 - ▶ zone ad alto traffico non controllato: Pescherecci, diporto
 - ▶ zone con presenza di buoni punti cospicui per il fixing radar
 - ▶ punti relativi alle variazioni della velocità

5. Determinazione della velocità di esercizio e velocità economica.

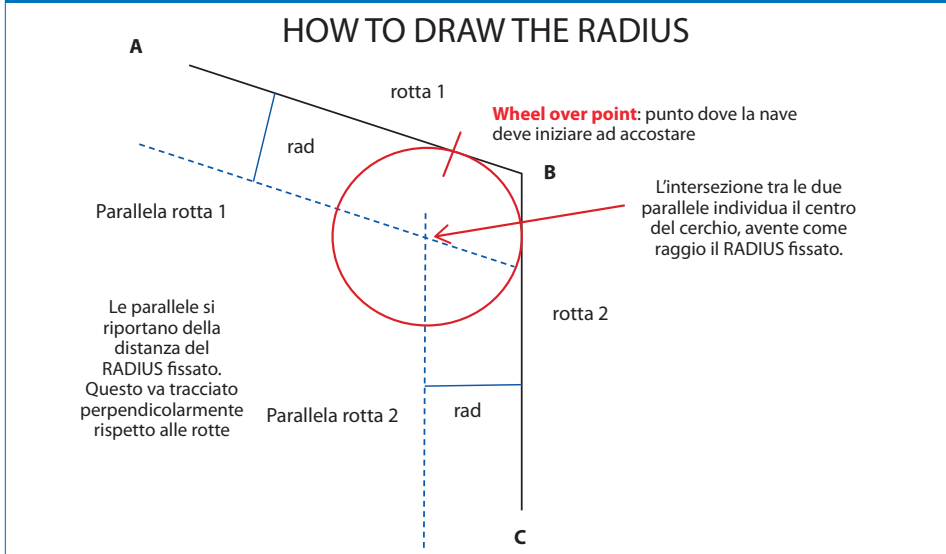
Occorre determinare la velocità da mantenere nei vari tratti della traversata, ottimizzandola in funzione delle condizioni meteo per la tratta d'altura (velocità economica) e per la navigazione costiera. Nell'identificare la velocità di sicurezza è doveroso tenere in considerazione:

- ▶ distanza di sicurezza
- ▶ avanzamento nell'accostata di emergenza
- ▶ visibilità
- ▶ traffico

6. Calcolo dei consumi previsti (fuel, olio, acqua, diesel, ecc.) e quindi programmazione del bunker.



Figura 13.4 - Come tracciare il radius per un'accostata



- ▶ calcolare i consumi per la traversata d'altura in funzione della velocità e della distanza:
 - ▶ carburante per motori principali
 - ▶ olio lubrificante
 - ▶ viveri
 - ▶ acqua dolce
- ▶ calcolare i consumi previsti per le due tratte costiere (partenza/arrivo);
- ▶ calcolare i consumi totali previsti, maggiorati della riserva, allo scopo di programmare il bunker;
- ▶ pianificazione del bunker
 - ▶ nel porto di partenza
 - ▶ nel porto di arrivo
 - ▶ nel porto intermedio (scalo tecnico)

7. Calcolo dei tempi previsti di percorrenza, degli ETA parziali ad ogni Way Point e dell'ETA di arrivo a destinazione.

L'ora di arrivo a destinazione **ETA (Estimated Time of Arrival)** va determinata tenendo conto, specialmente per le lunghe traversate, che i porti di arrivo e di partenza si trovino in fusi orari differenti⁶. Per ora è sufficiente sapere che la Terra ruota in 24 ore attorno al Sole ed è pertanto divisa in 24 fusi, ampi ciascuno 15° di longitudine (360/24). Il meridiano di riferimento è quello di Greenwich, corrispondente a $\lambda=0^\circ$. Ogni località avrà un proprio **tempo fuso** t_f . Il tempo di Greenwich è indicato con T_m . Per poter determinare con precisione l'orario di arrivo ETA, nota l'ora di partenza **ETD (Estimated Time of Departure)** occorre utilizzare il seguente schema:

⁶ L'argomento verrà affrontato al capitolo 22 di questo manuale, in merito all'astronomia nautica.



$$\begin{array}{r}
 \text{ETD } (t_i) \\
 - \lambda_f \quad \text{del punto di partenza} \\
 \hline
 \text{ETD } (T_m) \\
 + \Delta t \\
 \hline
 \text{ETA } (T_m) \\
 - \lambda_f \quad \text{del punto di arrivo} \\
 \hline
 \text{ETA } (t_i)
 \end{array}$$

dove $\lambda_f = \lambda/15$ e $\Delta t = m/V$

Per la trasformazione in giorni si divide il numero delle ore per 24, prendendo la parte intera. La parte dopo la virgola si moltiplicherà per 24 ottenendo le ore residue, mentre per avere i minuti si può moltiplicare per 60 la parte dopo la virgola di quest'ultimo valore.

8. Volume di traffico ed eventuale conflict traffic nei porti.

Altro elemento da considerare è il volume di traffico che è previsto incontrare; devono essere elencate le aree a media ed alta densità di traffico di pescherecci, traghetti, navi che attraversano, ecc. Deve essere anche noto il *conflict traffic*, ovvero le altre navi presenti nei porti toccati (con le schedule degli orari di arrivo/partenza). Affianco alla stesura del VPP è opportuno preparare un apposito **voyage schedule** con riportate le informazioni principali dei porti toccati, sorgere e tramonto del sole, escursioni di marea, info legate all'ormeggio, alla posizione delle gangways, ecc.

1.13.3 EXECUTION

Dopo che il VPP è stato completato, discusso ed approvato è pronto per la sua esecuzione sfruttando tutte le apparecchiature, metodi di navigazione e risorse che si hanno a disposizione. Per il buon e sicuro andamento dell'esecuzione del piano di viaggio è bene valutare la necessità di amministrare personale supplementare (Coperta e Macchina) per minimizzare eventuali rischi:

- ▶ preparare adeguatamente il ponte di comando (svolgendo le prove e i controlli previsti dalla normativa Internazionale, Nazionale e dalle procedure di Compagnia);
- ▶ chiamare il Comandante in plancia, quando previsto e comunque quando ritenuto opportuno dall'Ufficiale di guardia;
- ▶ richiedere la presenza di personale in macchina;
- ▶ richiedere l'appoggio di un altro Ufficiale di coperta in plancia, specie per passaggi critici, zone di alta densità di traffico, condizioni meteo avverse;
- ▶ richiedere personale supplementare in plancia (vedetta/timoniere);
- ▶ richiedere personale supplementare in coperta (biscagliana/ancore/cavi ecc.)
- ▶ assicurarsi che il grado di riposo dell'equipaggio sia adeguato (organizzazione di schedules lavorativi in funzione di manovre, transiti particolari, lavori ordinari e straordinari, ecc.).



1.13.4 MONITORING

Il monitoraggio è assicurare che la nave stia seguendo quanto è stato precedentemente programmato. Il VPP deve essere prontamente stampato, al fine di poter essere consultato dagli ufficiali e dal Comandante. Importante è:

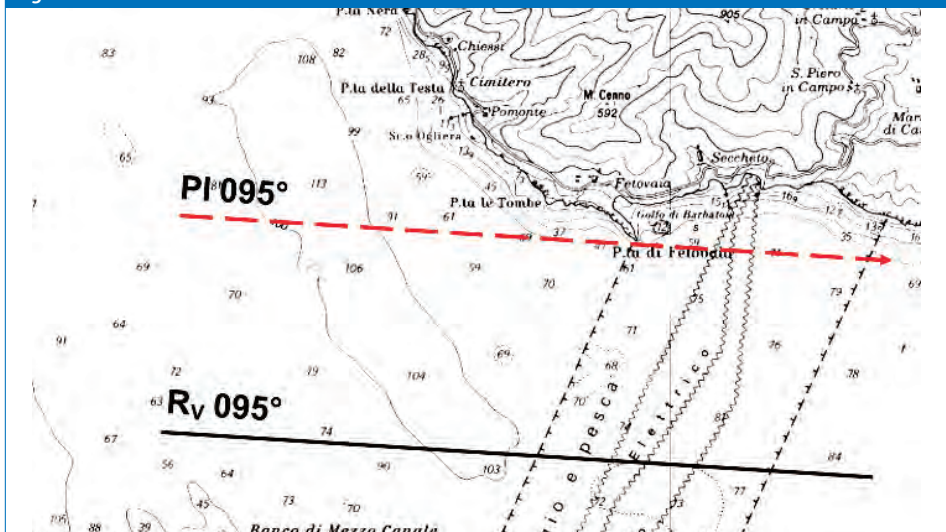
- ▶ monitorare adeguatamente la posizione;
- ▶ regolare la Velocità al fine di rispettare l'ETA;
- ▶ seguire le COLREG, al fine di evitare collisioni;
- ▶ gestire la sicurezza dell'intera nave (allarmi, ronde di sicurezza e antincendio, prontezza di risposta ad emergenze o presunte tali, ecc.).

Una tecnica utile per monitorare la posizione è quella che prevede l'uso dei **Parallel Indexing (PI)**, rette parallele alla rotta, tracciate dai vertici di punti cospicui o punte terrestri, che servono per indicare la distanza che la nave deve mantenere da essi (*Figura 13.5*). Ciò vuol dire che la nave si trova in rotta se è alla distanza segnata dal P.I. Quando si usa il radar per il sistema parallel indexing, i punti da battere al radar devono essere:

- ▶ sicuri e facili da identificare
- ▶ situati al di fuori della zona disturbata del radar
- ▶ in un numero sufficiente per la navigazione sicura

Altra tecnica utile è quella dei «**Dead Range / Wheel Over Line**» che permettono di identificare il punto dove iniziare l'accostata (Wheel Over point), riportando su di un punto cospicuo la parallela alla rotta successiva e la distanza tra il WOP e il punto cospicuo (tale distanza è il **Dead Range, DR**). Durante l'esecuzione della navigazione, utilizzando **VRM (Variable Range Marker)** di raggio pari al DR e **EBL (Electronic Bearing Line)** tangente al VRM della nuova R_v , una volta che l'EBL coinciderà con la linea parallela alla R_v sul punto cospicuo (ovvero la **Wheel Over Line, WOL**), si potrà iniziare l'accostata (Figura 13.6).

Figura 13.5 - Técnica del P.I.





Di fondamentale importanza è l'utilizzo dei **rilevamenti di sicurezza (clearing bearings)** per indicare settori di sicurezza (ad esempio nel transito in canali o stretti, in prossimità di bassi fondali) o per verificare che l'ancora non ari. **NMT (Not More Than)** e **NLT (Not Less Than)** sono i limiti entro cui la nave deve rimanere (Figura 13.7).

Figura 13.6 - Tecnica del DR/WOL

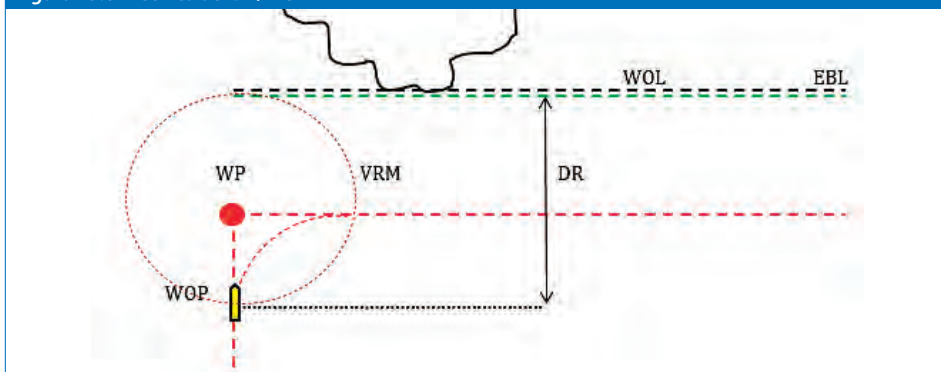
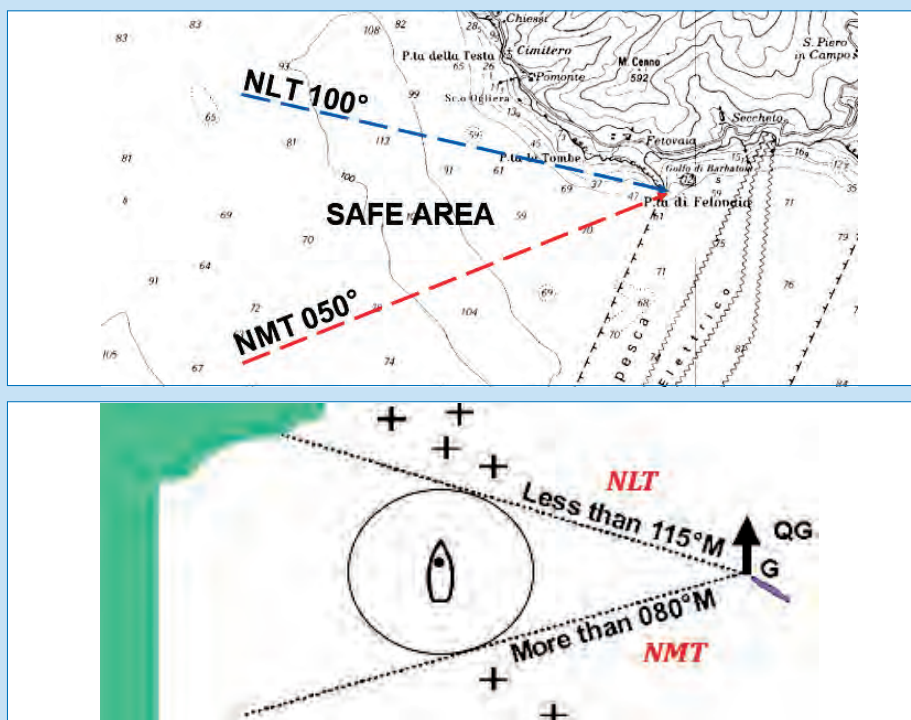


Figura 13.7 - Clearing Bearings



In alto per contrassegnare un settore di sicurezza; in basso per verificare che l'ancora non ari.

Si noti il Cerchio di ancoraggio con centro il punto di fonda e raggio il calmo (lunghezza di catena filata).



1.14 CARTOGRAFIA ELETTRONICA

La normativa che regola la cartografia elettronica è la seguente:

- ▶ **IMO (International Maritime Organization) - Risoluzione IMO A.232(82) Performance Standard for ECDIS System**
- ▶ **IHO (International Hydrographic Organization)** - sviluppa gli standard per la produzione delle carte vettoriali ENC
- ▶ **IEC (International Electrotechnical Commission)** - determina i test e le procedure per verificare che il sistema corrisponde alle performances predisposte dall'IMO con le sue risoluzioni
- ▶ **SOLAS cap. V/19 – V/27**
- ▶ **Circolare Italiana 96/12**

1.14.1 ECDIS

L'**ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)** è un sistema elettronico per la gestione e la visualizzazione di informazioni cartografiche (rientra nella categoria dei *GIS, Geographic Information System*). Occorre definire:

- ▶ **ENC (Electronic Navigational Chart)**, il database delle informazioni cartografiche e descrittive rilasciate da un Istituto Idrografico Ufficiale dello Stato (o altra istituzione governativa), che ne cura anche la distribuzione. In pratica è un database in formato .txt di caratteristiche standard in formato e struttura, stabilite dall'IHO, che ha definito pure un sistema per la loro protezione.
- ▶ **SENC (System Electronic Navigational Chart)**, il database su cui effettivamente lavora l'ECDIS, dal quale preleva le informazioni e che deriva da una trasformazione fedele del database ENC ad uso della specifica macchina utilizzata. Esso incorpora anche gli aggiornamenti apportati e gli oggetti e le annotazioni aggiunte dall'utente, come le traiettorie pianificate. **Il SENC costituisce la carta aggiornata (e non la ENC).**

L'**ECDIS** è quindi il sistema informativo, con adeguati dispositivi di back-up, che estrae e mostra le info selezionate da un SENC, correlandole alle informazioni provenienti dai sistemi di navigazione. **Deve essere asservito obbligatoriamente alla girobussola, al solcometro e ai sensori di posizione GNSS.** È, quindi, il software che permette di visualizzare la carta elettronica e compiere tutte le azioni relative alla pianificazione e al monitoraggio della navigazione. La sua funzione principale è quella di fornire opportuni **allarmi** acustici e visivi (funzione look-ahead e allarme «*anti-grounding*»).

La **SOLAS al cap. V, reg. 19** e la **Ris. IMO A232(82)** stabiliscono che l'**adeguato sistema di back-up** deve garantire le stesse funzionalità dell'ECDIS primario per quanto riguarda il planning e il monitoring. Il back-up può essere realizzato:

- ▶ con un altro ECDIS, costantemente attivo (nave «full ECDIS»);
- ▶ con un portfolio di carte nautiche tradizionali cartacee, costantemente aggiornate e tracciate.



Ogni produttore deve rispettare degli standard IHO:

- ▶ **Special Publication S-52 (Specification for Chart Content and Display Aspects of ECDIS)**, che contiene la **presentation library**, che associa ad ogni oggetto da rappresentare una precisa simbologia, definita in termini di dimensioni, colori, ecc.
- ▶ **Special Publication S-57 (Transfer Standard for Digital Hydrographic Data)**, che contiene le info che servono per la transizione da ENC a SENC, ovvero per ricostruire la carta elettronica a partire da elenchi definiti di possibili oggetti e relativi attributi (**object catalogue** e **attribute catalogue**), che poi saranno rappresentati secondo la presentation library (S-52).
- ▶ **Special Publication S-63 (Data Protection Scheme)**, per garantire che non vengano create copie illegali delle carte, garantire l'autenticità dell'origine dei dati, permettere l'accesso ai dati stessi soltanto a chi è in possesso della licenza d'acquisto.
- ▶ **Special Publication S-64 (Test Data Sets for ECDIS)**, per effettuare test specifici per verificare le prestazioni dell'ECDIS, validi per ENC e RNC.
- ▶ **Special Publication S-61 (Product Specification for RNC – Raster Navigational Charts)**.

1.14.2 TIPI DI CARTE ELETTRONICHE

La **cella (cell)** è la porzione nella quale la superficie del pianeta è divisa a diversi livelli di approfondimento, caratterizzati dal valore della scala. Per ogni cella l'elemento caratterizzante, oltre alla scala di compilazione, è rappresentato dal formato, del quale ne esistono due tipi:

- ▶ **Raster Nautical Chart (RNC)**
- ▶ **Vector Nautical Chart (ENC, Electronic Nautical Chart)**

Raster Nautical Chart (RNC)

La RNC ufficiale è una riproduzione di una carta nautica tradizionale effettuata mediante uno scanner da un Istituto Idrografico autorizzato (Figura 14.1).

L'immagine di una RNC è una matrice di pixel, cioè quadratini piccolissimi, che riproducono simboli, scritti e colori della carta scansionata; ad ogni pixel corrisponde un punto di precise coordinate geografiche.

Purtroppo le RNC presentano vari svantaggi:

- ▶ impossibilità di scegliere solo le informazioni desiderate
- ▶ difficoltà di apprezzare l'immagine con un eccessivo zoom
- ▶ difficoltà nell'inserire allarmi
- ▶ impossibilità di effettuare aggiornamenti manuali

La RNC è considerata equivalente ad una carta tradizionale solo se affiancata da essa. L'uso è limitato al solo caso in cui manchi la ENC per una zona in cui si deve effettuare la navigazione («*dual fuel concept*») – IMO e Circolare n. 96/2012.

Quando il sistema utilizza carte RNC, entra nella modalità **RCDS (Raster Chart Display System)**.



ECS (Electronic Chart System)

Qualunque sistema di cartografia elettronica che non soddisfa le prestazioni standard dell'ECDIS. È un ausilio alla navigazione che deve essere sempre affiancato a carte aggiornate pubblicate da un Istituto Idrografico autorizzato (Figura 14.3).

La **scala di compilazione** (*best scale for position*), selezionata automaticamente dal sistema, individua la migliore scala per visualizzare i dati che servono sullo schermo disponibile. Se la scala di visualizzazione (**display scale**) selezionata dall'operatore è maggiore di quella di compilazione, il sistema visualizzerà la dicitura "OVERSCALE", mentre se è minore, comparirà la dicitura "BEST SCALE AVAILABLE". Il rapporto tra compilation scale e display scale è definito **magnification ratio**. Secondo gli standard internazionali dell'ECDIS se la carta visualizzata sul display ha un magnification ratio superiore a 2.2, il sistema mostrerà delle apposite **barre (jail bars)** per indicare la condizione di OVERSCALE. (Figura 14.4).

Numerazione di una cella ENC

Considerando il seguente esempio:

IT4RM22M.000

- ▶ **IT** indica la nazionalità dell'Istituto Idrografico che ha prodotto la ENC (in questo caso l'Italia)
- ▶ **4** indica usage band/navigational purpose (in questo caso la ENC è "Approach")
- ▶ **RM22M** indica il codice identificativo della carta (Figura 14.5)
- ▶ **000** indica lo stato di aggiornamento della carta (in questo caso si riferisce ad una *base cell*)

Figura 14.3 - Un sistema ECS



Figura 14.4 - Principali compilation scale dell'ECDIS

Selectable range	Standard scale (rounded)
200 nm	1:3.000.000
96 nm	1: 1.500.000
48 nm	1:700.000
24 nm	1:350.000
12 nm	1:180.000
6 nm	1:90.000
3 nm	1:45000
1.5 nm	1:22.000
0.75 nm	1:12.000
0.5 nm	1:8000
0.25 nm	1:4000

Figura 14.5 - Usage band delle celle ENC

Navigational Purpose	Name	Scale Range
1	Overview	<1:1 499 999
2	General	1:350 000 – 1: 1 499 999
3	Coastal	1:90 000 – 1:349 999
4	Approach	1:22 000 – 1: 89 999
5	Harbour	1:4 000 – 1:21 999
6	Berthing	>1:4 000



1.14.3 LIVELLI DI PRESTAZIONE DELL'ECDIS

L'ECDIS ha **tre livelli di prestazione** dello schermo:

- ▶ **Display base** contenuto permanentemente visualizzato, che non può essere rimosso dal video. Non è ritenuto sufficiente per la sicurezza della navigazione. Esso mostra la linea di costa, l'isobata di sicurezza scelta dal navigante (safety contour), le indicazioni di pericoli isolati, sommersi ed emersi, ecc. (Figura 14.6).
- ▶ **Display standard** contenuto ritenuto minimo per la pianificazione e la condotta della rotta. Contiene, oltre agli elementi del display base, gli aiuti alla navigazione, i punti cospicui con relative caratteristiche, le aree proibite, ecc. (Figura 14.7).
- ▶ **Informazione aggiuntiva (ALL)** mostrata a richiesta dall'ufficiale. Alcuni elementi sono i cavi sottomarini, il datum geodetico, la declinazione, la ZOC, ecc. È da considerare, in ogni caso, il display ottimale da utilizzare per la pianificazione e la condotta della navigazione. Certi ECDIS offrono un'opzione aggiuntiva (*Customized* ovvero personalizzata) (Figura 14.8).

Figura 14.6 - Display base



Figura 14.7 - Display standard



Figura 14.8 - Display ALL



Per gentile concessione di Wärsilä SAM Electronics.



1.14.4 PIANIFICAZIONE CON L'ECDIS

Con l'ECDIS è possibile tracciare traiettorie sia lineari e curvilinee, aggiungere waypoints (WPs), cancellarli, modificarli e cambiarne l'ordine. Inoltre, è possibile salvare le traiettorie pianificate e utilizzarle in futuro nel caso sia necessario ripetere lo stesso viaggio (*Figura 14.9*).

Per riferimento esiste una pubblicazione molto utile, **ECDIS Passage Planning**, che spiega accuratamente tutto ciò che c'è da considerare in una pianificazione con l'ECDIS. Negli annessi sono presenti anche delle utili check lists.

L'ufficiale addetto al VPP deve assicurarsi che la nave possieda le **licenze (permits)** per la visualizzazione, sull'ECDIS, delle **ENC**. Se per una determinata zona non fossero disponibili le carte vettoriali, occorrerebbe ordinare le **RNC** oppure le carte tradizionali. In fase di pianificazione assume capitale importanza la **Zone of Confidence (ZOC)**, ovvero il grado di accuratezza dei dati batimetrici (*Figura 14.10*).

La ZOC tiene in considerazione:

- ▶ Data dei rilievi
 - ▶ quanto più i rilievi sono vecchi, tanto più è probabile che siano imprecisi perché eseguiti con vecchi sistemi
 - ▶ nelle vicinanze delle foci dei fiumi i fondali possono essersi modificati
 - ▶ le zone di costa sabbiosa possono essersi alterate
 - ▶ le zone di barriera corallina possono subire variazioni anche di anno in anno
- ▶ Distribuzione degli scandagli
 - ▶ quanto più densi sono i rilievi, tanto più sono precisi
 - ▶ evitare zone con rilievi irregolari
 - ▶ evitare zone di vuoto

In generale si deve sempre ritenere che vicino alla costa possano esserci pericoli, se non si è assolutamente certi del contrario.

Per le RNC, essendo scansioni di carte nautiche tradizionali, si consulta il **source diagram** (*Figura 14.11*).

Il tipo di tecnica per i rilievi si è evoluta nel corso degli anni: carte ottenute con rilievi puntiformi sono antecedenti agli anni '30 del Novecento (*Figura 14.12*).

In relazione al proprio pescaggio e alle zone in cui si andrà ad effettuare la navigazione, occorre definire dei **settaggi di sicurezza (safety settings)** da impostare prontamente sull'ECDIS e da modificare nel corso dell'esecuzione del piano di viaggio (*Figura 14.13*).

I settaggi che possono essere impostati sono:

- ▶ **shallow contour** tale valore è approssimato, per eccesso, rispetto al valore del pescaggio. Indica le **shallow waters**, ovvero i bassi fondali.
- ▶ **Safety contour** tale settaggio definisce la **batimetrica di sicurezza**. Esso delimita le aree sicure per la navigazione e quelle non. In funzione del safety contour viene inserito l'allarme **grounding**. L'ECDIS utilizzerà la batimetrica più vicina al valore selezionato (arrotondato per eccesso) per mostrare il safety contour.
- ▶ **Safety depth** è il valore calcolato dal VPO nel rispetto dei requisiti di compagnia relativi all'UKC. Tale valore viene utilizzato per definire le No-Go Areas. Le profondità pari o in-



Figura 14.9 - Waypoint list e pubblicazione ECDIS Passage Planning

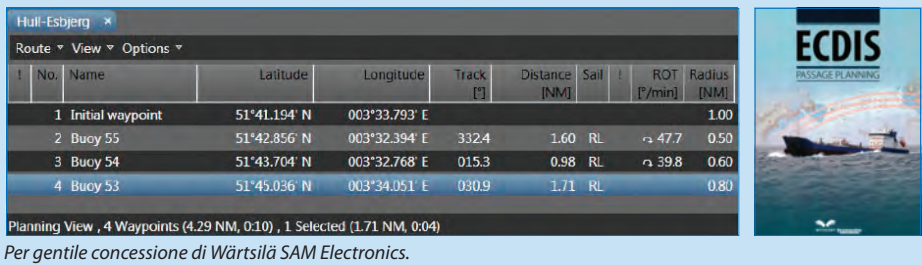


Figura 14.10 - Gradi di affidamento delle carte nautiche (ZOC)

ZOC	Simbolo su ECDIS	Accuratezza posizione	Accuratezza posizione	Copertura fondale
A1		± 5 m + 5% di profondità	0,5 m + 1% di profondità	FULL SEAFLOOR
A2		± 20 m	1 m + 2%	FULL SEAFLOOR
B		± 50 m	1 m + 2%	STANDARD SURVEY
C		± 500 m	2 m + 5%	INCOMPLETE CHART
D		> 500 m	> 2 m + 5%	LOW AND UNRELIABLE
U		I dati batimetrici non sono ancora disponibili		UNASSESSED

feriori a questo valore saranno evidenziate in **grassetto**. In alcuni casi, quando vi è un’e-levata altezza di marea rispetto ai fondali riportati sulle carte e la nave procede a basse velocità, il valore del Safety Depth può risultare inferiore allo Shallow Contour. In detti casi, il VPO può modificare manualmente il valore del Safety Depth, impostandolo pari allo Shallow Contour. Il calcolo del Safety Depth tiene in considerazione il **pescaggio di-
namico** (ottenuto sommando al **pescaggio statico** della nave gli effetti di sbandamento trasversale, beccheggio ed effetto squat), la marea, il valore della ZOC e il **margin
di
sicurezza (safety margin)**. Il safety margin, che corrisponde al minimo Under Keel Clea-
rance (UKC), è definito nelle procedure SMS di compagnia: un valore piuttosto standard
corrisponde, con profondità inferiori a 15 m, al 10% del pescaggio statico.

Figure 14.11 - Source Diagram

Figura 14.12 - Tecniche di rilievi: puntiforme, single beam, multi beam

Figura 14.13: Settaggi di sicurezza: il tracciamento delle "no go area"

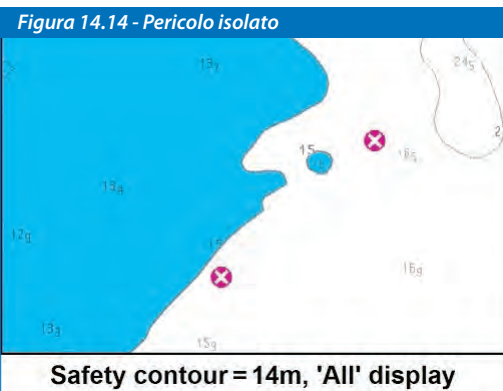


- **Deep contour** è dato da 2.5/3 volte il pescaggio. Tale settaggio definisce, in pratica, le **acque navigabili** (fondali profondi).

L'ECDIS permette la visualizzazione:

- **two shades** (due colori). Vengono visualizzati solo **Safety Contour e Safety Depth**. Più utile di note.
- **Four shades** (quattro colori). Vengono visualizzati **tutti i settaggi di sicurezza**. Più utile di giorno.

I settaggi di sicurezza permettono di identificare i **pericoli isolati (generic isolated dangers)** con l'apposita simbologia riportata in *Figura 14.14*. L'indicazione, relativa a relitti, scogli e ostruzioni, è relativa a profondità inferiori al safety contour impostato, oppure a profondità ignote.



Appositi form excel permettono il calcolo dei settaggi di sicurezza; se ne riporta, di seguito, un esempio in *Figura 14.15*.

Altro fattore importante è il corretto settaggio degli allarmi. Come detto prima, essi devono essere acustici e visivi e devono attivarsi automaticamente (*Figura 14.16*).

Gli allarmi si distinguono in **operativi e funzionali**. I primi sono relativi a procedimenti di navigazione (avvicinamento a fondali più bassi del limite di sicurezza, posizione fuori rotta, ecc.); i secondi riguardano, invece, il funzionamento del sistema stesso. I «performance standards» IMO stabiliscono le condizioni di pericolo o di attenzione per le quali devono attivarsi o semplici **messaggi a schermo (indication)** o anche **allarmi sonori (alarm)**.

La funzione **look-ahead**, consiste in un settore angolare, collocato intorno alla propria prora, avente una certa apertura ed una lunghezza impostata (in termini di tempo, generalmente 6/10 minuti), che permette la segnalazione in anticipo delle violazioni varie (*Figura 14-17*).

Una volta impostata la traiettoria, prima di attivarla, occorre effettuare il **controllo di rotta (check)**, al fine di verificare che non vi siano violazioni del safety contour, delle **no go areas**, di geometria (accostate troppo «secche»). È necessario impostare un **corridoio di sicurezza (safety corridor)**, di dimensioni adeguate alla zona in cui si sta navigando, per poter evidenziare le problematiche principali della rotta e correggerle. A tal proposito occorre definire i raggi di accostata (**radius**) in funzione della velocità tra i vari legs e le caratteristiche di manovra della nave (*Figura 14.18*).

Una volta effettuato il check, la rotta è pronta per essere eseguita: va quindi **attivata** (impostando l'ETA), in modo che possa fornire il **XTE (Cross Track Error)** e segnalare l'ingresso di pericoli all'interno del look-ahead. Il monitoraggio si effettua automaticamente e in «real time» grazie al collegamento con i sistemi GNSS (*Figura 14.19*).



Infine, l'utente, ha la possibilità in ogni momento di inserire qualsiasi elemento sulla carta, utilizzando la funzione di **user chart symbols/objects**: tali simboli saranno salvati sul database SENC (Figura 14.20).

Una delle peculiarità dell'ECDIS è quella di poter scegliere il tipo di rappresentazione della simbologia (Figura 14.21). Esistono due modalità di visualizzazione:

- **traditional** come indicato sulle carte nautiche tradizionali;
- **simplified** in modo semplificato, a colori e di più facile interpretazione.

Figura 14.15 - Form per il calcolo dei settaggi di sicurezza

SAFETY DEPTH COMPUTATION - (Update own ship table values before use)						
ITEM	1-Departure Waypoint #	2-Coastal Waypoint #	3-Open Water Waypoint #	4-Coastal Waypoint #	5- Arrival Waypoint #	Cell Type
STATIC DRAFT	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	Input
WATER DENSITY CHANGE?	No Change	No Change	No Change	No Change	No Change	Drop
WATER DENSITY CHANGE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Calculated
POTENTIAL HEELING ANGLE	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	Drop
DRAFT INCREASE FOR HEEL	0,31	0,31	0,93	0,31	0,31	Calculated
HARBOUR-ROADSTEAD-SW-OS	Harbour Protected	Roadstead	Open Sea	Roadstead	Harbour Protected	Drop
SAFETY MARGIN/Minimum UKC	0,83	1,66	4,15	1,66	0,83	Calculated
ADJUSTED STATIC DRAFT	9,44	10,27	13,38	10,27	9,44	Calculated
MAX SPEED	10,0	12,0	20,0	12,0	5,0	Input
CHANNEL or OPEN WATER	Channel(Prismatic)	Open Water	Open Water	Open Water	Open Water	Drop
SQUAT - CALCULATED	1,06	1,07	2,96	1,07	0,19	Calculated
OWN SQUAT VALUE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Input
QUAT USE.....	Calculated Squat	Calculated Squat	Calculated Squat	Calculated Squat	Calculated Squat	Drop Down
DYNAMIC DRAFT	10,50	11,34	16,34	11,34	9,63	Calculated
TIDE*(Table)	-0,30	0,00	0,00	0,00	-0,40	Input
ZOC AREA	A2	C	C	C	A2	Drop Down
MINIMUM CHARTED DEPTH	12	20	50	50	9	Input
ZOC Correction	1,24	3,00	4,50	4,50	1,19	Calculated
APPLY ZOC Correction	YES	YES	YES	YES	NO	Drop Down
SAFETY DEPTH	11,44	14,34	20,84	15,84	9,23	Calculated
Reason for Omitting Zoc Correction	Not Applicable- ZOC Applied!	Not Applicable- ZOC Applied!	Not Applicable- ZOC Applied!	Not Applicable- ZOC Applied!	Regular Calls/Validated Depth/ZOC D or U/ OR Risk	Calculated
SAFETY CONTOUR SETTING						
	1-Departure	2-Coastal	3-Open Water	4-Coastal	5- Arrival	Cell Type
SHALLOW CONTOUR	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	Calculated
SAFETY DEPTH	11,4	14,3	20,8	15,8	9,2	Calculated
SAFETY CONTOUR	12,0	15,0	21,0	16,0	10,0	Calculated
DEEP CONTOUR	15,0	20,0	50,0	20,0	15,0	Input
UNDER KEEL CLEARANCE	0,6	5,7	29,2	34,2	0,2	Calculated

Fonte: Carnival Maritime



Figura 14.16 - Allarmi ECDIS e form per il loro calcolo

Yellow

Red

ALARM MANAGEMENT						
NAVIGATION	1-Departure	2-Coastal	3-Open Water	4-Coastal	5-Arrival	
SAFETY CONTOUR						
Ahead	YES	YES	YES	YES	YES	
Distance (NM)						
Time (MINS)	2	6	15	6	2	
Width						
OBJECT OF INTEREST						
Ahead	YES	YES	YES	YES	YES	
Distance (NM)						
Time (MINS)	2	6	15	6	2	
Width						
USER CHART OBJECT						
Ahead	YES	YES	YES	YES	YES	
Distance (NM)						
Time (MINS)	2	6	15	6	2	
Width						
OWN SHIP TABLE VALUES						
The values in Highlighted in Yellow with Red fonts need to be updated with own ship data in order to use the table				HEELING TABLE		
				DEGREES	DRAFT INCREASE	
				0,0	0,00	
SQUAT VALUES		WATER DENSITY CHANGE		1,0	0,31	
Block Coefficient		No Change	0,00	2,0	0,62	
0,74		Increase - FW	0,17	3,0	0,93	
		Decrease -SW	-0,17	4,0	1,24	

Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

Figura 14.17 - La funzione LOOK-AHEAD

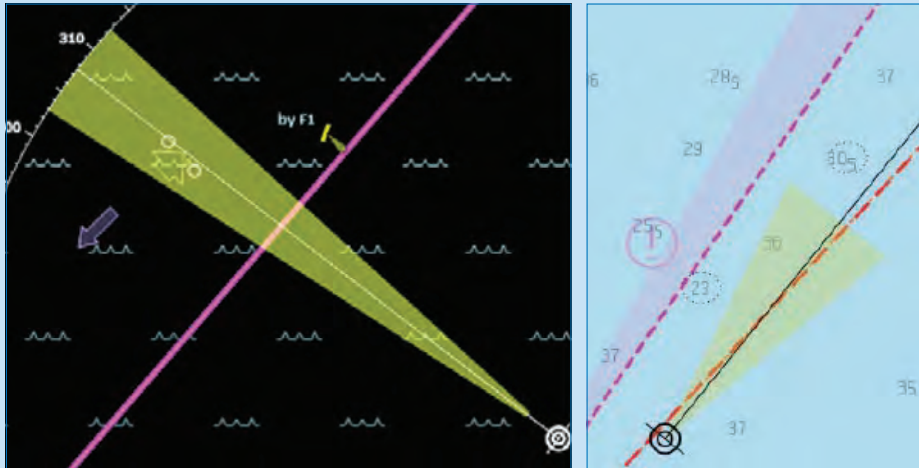




Figura 14.18 - La funzione "check route": si evidenziano problematiche di natura geometrica (errore nel radius) e di violazione del safety con-tour e di altri elementi. Si noti il safety corridor

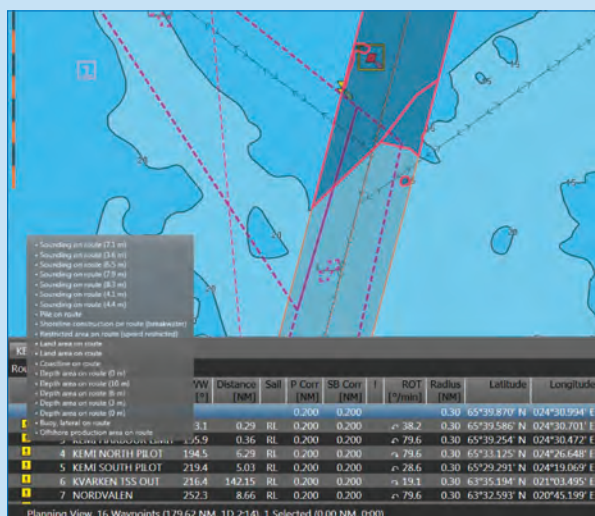
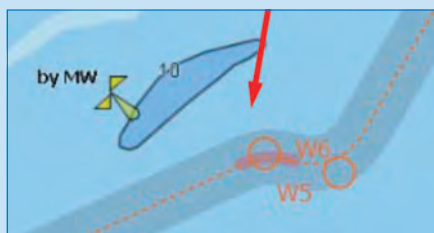
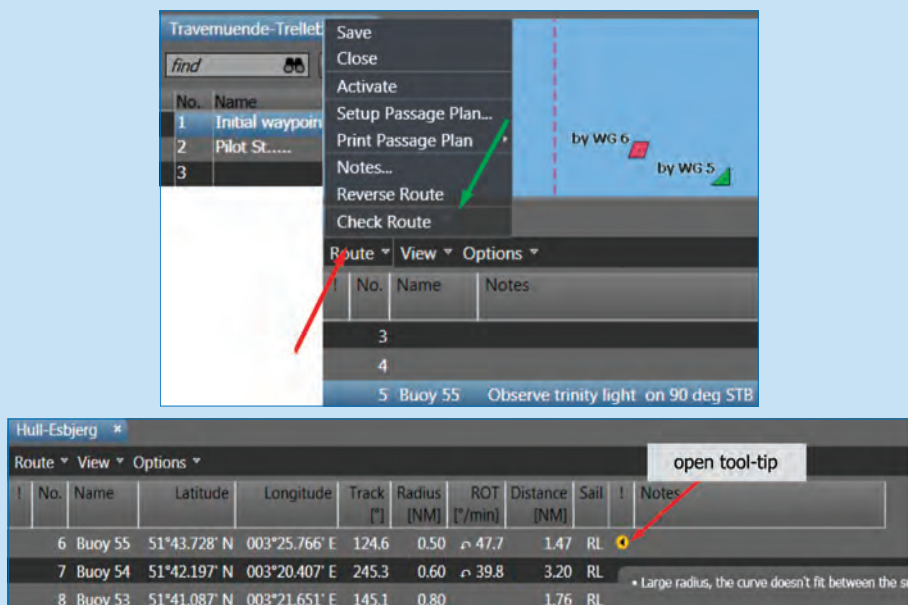
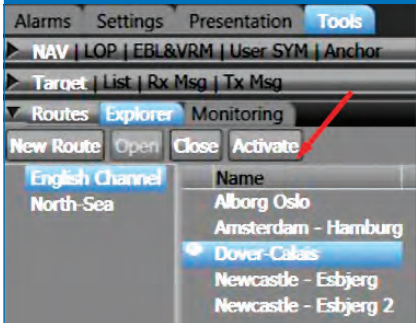




Figura 14.19 - Pannello per l'attivazione della rotta



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics.

Figura 14.20 - User chart objects

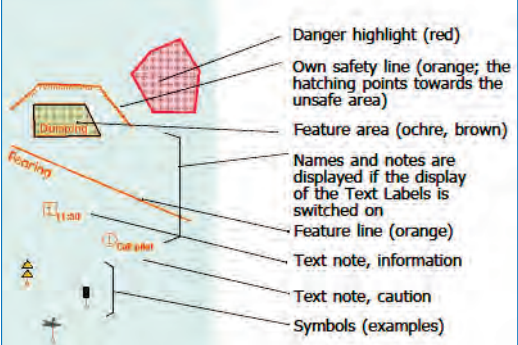


Figura 14.21 - Simbologia "traditional" e "simplified"

ENC Symbol	Explanation	Additional Information	5011 Ref
	Indicates that an additional information note or picture file is available	The information, note or graphic can be found using cursor enquiry	
	Non-tidal current direction		H42
	Spring tide -Ebb		H41
	Flood		H40
	Light vessel/lightfloat		P6 Q30
	Daymarks		Q82- I26
	New Object - Point	New type of feature not yet known to ECDIS - further information available by cursor enquiry	
	New Object - Line		
	New Object - Area		
Symbol setting on ECDIS		For details of the IALA Maritime Buoyage System, Refer to NP 735	
Simplified	Traditional		
		Lateral beacons - red/green	IALA applicable system
		Lateral conical buoys - red/green, according to applicable IALA system	IALA applicable system
		Lateral can buoys - red/green	IALA applicable system
		Cardinal marks north/east/south/west (Cardinal mark north shown for Traditional)	IALA applicable system
		Isolated danger marks	Q130. 4
		Safe water buoy	Q130. 5
		Special marks	Shape/topmarks are optional - colour yellow
		Special purpose buoys, for example: TSS lane markers	Shape/topmarks optional - colour yellow
		Buoy - mooring	Q40



Figura 14.21 - Simbologia "traditional" e "simplified"

ENC Symbol	Explanation	Additional Information	5011 Ref
	Generic isolated danger symbol – with less depth than user-selected safety contour or where the depth is unknown	Wreck, rock or obstruction	K
	Sounding of low accuracy	Equates to sounding of doubtful depth	I2 I14
	6 stars A1 All significant seafloor features detected; very high accuracy survey 5 stars A2 All significant seafloor features detected; high accuracy survey 4 stars B Uncharted features dangerous to navigation are not expected but may exist; medium accuracy survey 3 stars C Depth anomalies may be expected; low accuracy survey or passage soundings 2 stars D Large depth anomalies may be expected; poor quality data U Quality of bathymetry yet to be assessed		
	Caution area where a specific caution note applies	Refer to cursor enquiry to access additional information Refer to ECDIS Chart 1 for more examples	N27
	Dredged area deeper than safety contour Darker blue indicates water shoaler than safety contour	Refer to cursor enquiry for more information	I20
	Vertical lines indicate areas of charted data at significantly smaller scale than main display	Zoom out until vertical lines disappear to view at scale appropriate to data	
	Indicates boundary between IALA A and B buoyage systems	See NP735	
	Isolated query indicates insufficient information to symbolise the feature Query associated with symbol indicates absence of a mandatory attribute, such as beacon shape, direction or orientation	Query may appear alone at a point, on a line or in a defined area. Further information may be obtained from cursor enquiry of the query	Q80 H40-43 M272
	Limit between area of unofficial vector data and official ENC data, marked by orange pecked line – pecks angled towards unofficial vector data	May be shown the other way around on older ECDIS. Within areas of non-ENC data, an alternative, official chart must be used for navigation	



1.14.5 DISTRIBUZIONE, ACQUISTO E AGGIORNAMENTO DELLA CARTOGRAFIA ELETTRONICA

La **Risoluzione IMO A232(82)** riguarda anche il tema degli **aggiornamenti (updates)**, imponendo che le celle ENC debbano essere riferite all'ultima edizione ufficiale e i loro aggiornamenti, conformi agli standard IHO, debbano essere caricati nel SENC ma rimanere separati e chiaramente distinguibili dal database ENC, il cui contenuto non può essere modificabile. Gli aggiornamenti, settimanali, saranno incorporati solo con l'edizione delle nuove **basi (base cells)**, ovvero delle nuove edizioni del database ENC, di regola ogni 12 settimane (od ogni qualvolta i file inizino a superare determinate dimensioni). Basi e aggiornamenti sono stabiliti dall'IHO S-63.

La **distribuzione delle basi e degli aggiornamenti** viene realizzata dagli Istituti Idrografici statali; al fine di semplificare le operazioni di richiesta da parte degli utenti, l'IHO ha istituito il sistema **WEND (World-wide Electronic Navigation Chart Data)**, che vede gli Istituti Idrografici nazionali inviare i propri prodotti ENC ad enti transazionali appositamente istituiti per determinate aree (**RENC, Regional ENC Coordinating Centres**). Questi, a loro volta, si avvalgono di **service providers (VAR, Value Added Reseller)**, che costituiscono il riferimento per l'utente finale (esempio **Chart World**).

Le basi vengono ricevute via internet, attraverso nove CD o tramite uno o due DVD: si tratta di file comuni per tutti i clienti, contenenti tutta la cartografia mondiale (costituiscono le ENC vere e proprie). In *Figura 14.22* sono riportate, per ogni CD base, le aree mondiali coperte (fonte: sito Admiralty).

Figura 14.22 - CD Base e zone coperte

Area	Issue date	Coverage
Base 1	Week 41, 8 October 2020	Estonia EE, Finland FI, France FR, Latvia LV, Lithuania LT, Sweden SE.
Base 2	Week 41, 8 October 2020	Albania AL, Norway NO, Poland PL. Additional datasets from Taiwan IU.
Base 3	Week 41, 8 October 2020	Solomon Islands SB, Turkey TR, United Kingdom GB.
Base 4	Week 41, 8 October 2020	Croatia HR, Denmark DK, Georgia GE, Greece GR, Italy IT, Malta MT, Montenegro ME, Portugal PT, Romania RO, Russia RU, Slovenia SI, Spain ES, Ukraine UA.
Base 5	Week 41, 8 October 2020	USA US.
Base 6	Week 41, 8 October 2020	Canada CA (Bands 3-6), USA US.
Base 7	Week 41, 8 October 2020	Australia AU, Bahrain BH, Burma (Myanmar) MM, East Asia Hydrographic Commission EA, Egypt EG, India IN, Indonesia ID, Iran IR, Israel II, Malacca & Singapore Straits MS, Malaysia MY, New Zealand NZ, Niue NU, Oman OM, Pakistan PK, Philippines PH, Singapore SG, South Africa ZA, Sri Lanka LK, Thailand TH, Tonga TO, Tunisia TN, Vietnam VN.
Base 8	Week 41, 8 October 2020	Argentina AR, Bangladesh BD, Belgium BE, Brazil BR, Chile CL, Colombia CO, Cuba CU, Ecuador EC, Germany DE, Iceland IS, Mexico MX, Netherlands NL, Panama PA, Peru PE, Suriname SR, Uruguay UY, Venezuela VE.
Base 9	Week 41, 8 October 2020	Canada CA (Bands 1 & 2), China CI, Hong Kong CZ, Macau C3, Japan JP, Korea (Republic of) KR.

Per gentile concessione di UK Hydrographic Office



La certificazione dei dati ENC è ottenuta tramite un apposito criptaggio asimmetrico, che ne permette l'utilizzo tramite la verifica con **chiave digitale**.

I service providers distribuiscono le basi e i loro aggiornamenti attraverso un ENC exchange set, costituito dal prodotto in questione, dal file con la firma digitale (*ENC signature file*) e da un file di verifica dell'identità del sistema (*Data Server Certificate*, approvato dall'IHO).

L'utente, interessato all'acquisto di singole celle (quelle per il viaggio), andrà a richiedere le **licenze**, ovvero i file chiave, chiamati **permits**. Essi sono stringhe di caratteri alfanumerici necessari per togliere la protezione applicata singolarmente ad ogni cella. I permits sono file ottenibili via e-mail, dopo aver acquistato la licenza, specifici per il cliente, cioè creati ad hoc in base ad un hardware ID (HW_ID) segreto di 28 caratteri generato dal sistema; per il loro acquisto vengono utilizzati appositi software editi dai Chart providers come, ad esempio, **Chart Browser**. I permits permettono all'utente di visualizzare la cella sull'ECDIS. Hanno una ben definita data di scadenza, legata alla durata della licenza acquistata (da 3 mesi ad 1 anno e oltre). Per ottenere le celle richieste sulla workstation, si inseriscono prima i permits; il sistema scarica quindi dal DVD delle basi solo le carte di cui si possiede la licenza (*Figura 14.23*).

Durante il periodo di validità dei permits vengono pubblicati gli aggiornamenti con cadenza settimanale, resi disponibili via internet (dimensioni nell'ordine dei KB - attraverso appositi siti, come Chart World dell'Admiralty), oppure per mezzo CD o chiavetta USB (dimensioni nell'ordine dei MB). Ogni aggiornamento deve essere caricato secondo la sequenza di pubblicazione. Con la disponibilità delle nuove basi, tutti gli aggiornamenti vengono incorporati nel database ENC anziché restare pendenti nel SENC e, pertanto, gli aggiornamenti successivi saranno applicabili solo alle nuove basi.

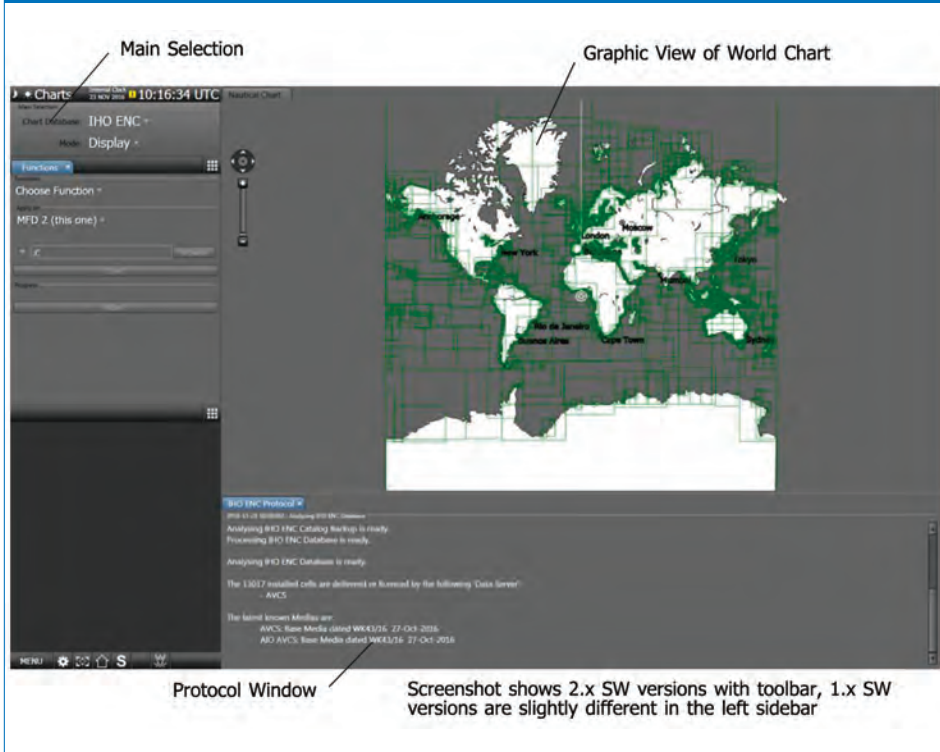
Il servizio attraverso il quale vengono ricevuti gli aggiornamenti è l'**AVCS (Admiralty Vector Charts Service)**. Il servizio fornisce gli aggiornamenti veri e propri, corrispondenti agli **avvisi ai naviganti (notice to mariners)** e i **Temporally and Preliminary (T&P)**, attraverso i dati digitali **AIO (Admiralty Information Overlay)**: questi sono caricati in una cella globale, la **GB800001**.

La Ris. A232(82) stabilisce che la procedura di aggiornamento non deve interferire con il display in uso (ciò si realizza tramite un terzo ECDIS indipendente). Tutti gli aggiornamenti sono registrati sul log congiuntamente all'ora di applicazione sul SENC (carattere probatorio, come previsto dalla SOLAS, in caso di ispezioni Port State Control) (*Figura 14.24*).

Ogni settimana va stampato ed archiviato tra i documenti del VPP il "Read-Me.txt" che contiene le informazioni generali sulle celle ENC fornite dall'AVCS (eventuali sostituzioni, cancellazioni, info sulle ZOC, ecc.). Se ne veda un estratto in *Figura 14.25*.

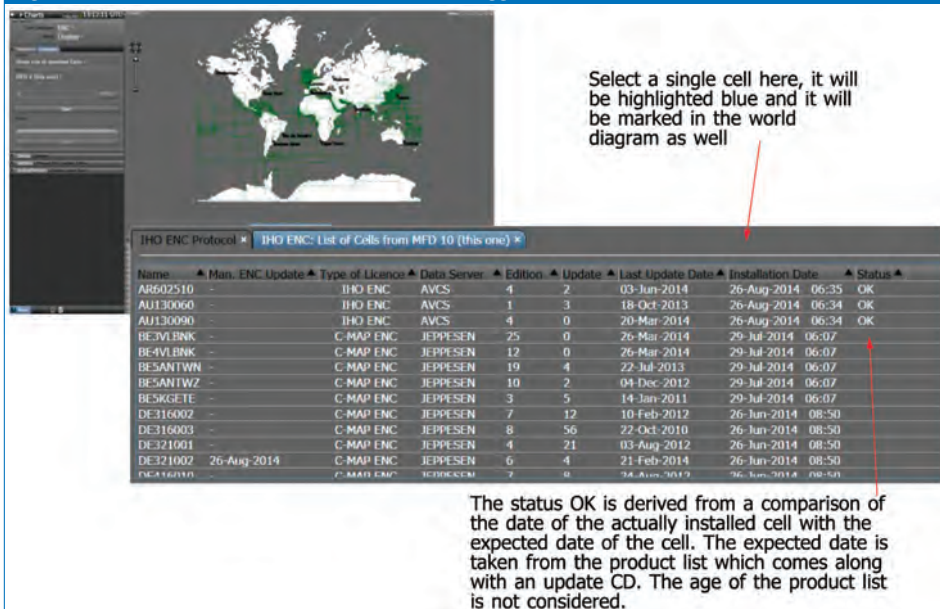


Figura 14.23 - Schermata di un ECDIS durante il processo di aggiornamento



133

Figura 14.24 - Schermata di un ECDIS al termine dell'aggiornamento



**Figura 14.25 - Estratto del Read-Me.txt, scaricabile dal sito: www.admiralty.co.uk**

```
AVCS README
File date: 2022-06-24 15:00:00Z for WK26/22
This file Version 20220505-01 was last updated 05-May-2022

Latest significant changes:
05-May-2022 COMBINED AVCS AND AIO README FILES AND GENERAL UPDATES
18-Mar-2022 INFORMATION IN UKRAINE WATERS
07-Jan-2022 DISPLAY OF PG AND SB ENCS ON ONE TRANSAS ECDIS
25-Nov-2021 NEW HEADER FORMAT AND INFORMATION ABOUT ADMIRALTY DIGITAL DELIVERY SERVICE
13-May-2021 ISOLATED DANGER SYMBOL ISSUE (Edited 3 Jun 2021)
15-Apr-2021 UPDATE TO NOTES FROM UNITED KINGDOM (GB)
11-Mar-2021 UPDATE TO UNITED KINGDOM (GB) AND KOREA (KR) INFORMATION IN SECTION 2
04-Feb-2021 DATA APPEARANCE ADVICE FROM AUSTRALIA
10-Dec-2020 INFORMATION FROM CANADA, INDIA, SINGAPORE AND U.K.

-----

USING THE README.TXT FILE

This README.TXT file contains the latest information available on the use of ENCS in ADMIRALTY services. This information may be navigationally significant and should be reviewed for changes when you update your ECDIS.

Further potentially significant, but less frequently updated, information is contained in the file Important-Information-for-AVCS-users.pdf located on the Support tab at admiralty.co.uk/AVCS. This file includes general cautions on the use of ENCS and ECDIS. This file will be updated when necessary and changes will be announced in this README.TXT file. The latest version is 22-Jul-2020.

The date/time in the "File date" in the header of this README.TXT is inserted when the data exchange set is created. The most recent change to the file is stated in line 3. For technical reasons, the date of the README.TXT file provided in Weekly Update exchange sets may be some days before the date that the Exchange Set is valid. The README.TXT file that is available to download from www.admiralty.co.uk is that which is included in the current Weekly Update exchange sets. Later versions of the README.TXT file and later date/time stamps may be included in Exchange sets created in the ADMIRALTY Digital Delivery Service (See below).

-----

CONTENTS:
SECTION 1 - IMPORTANT GENERAL INFORMATION - Updated 05-May-2022
SECTION 2 - HYDROGRAPHIC OFFICES' INFORMATION - Updated 18-Mar-2022
SECTION 3 - WITHDRAWN CELLS - Updated 07-May-2020
SECTION 4 - MISCELLANEOUS INFORMATION - Updated 07-May-2020
-----
```

1.14.6 REGISTRAZIONE DEI DATI

L'ECDIS deve consentire la **registrazione dei dati (voyage data recording)** che permettano la ricostruzione della navigazione fino ad almeno 12 ore prima e che non possono essere modificate. Ad intervalli di 1 minuto devono essere registrati i dati relativi alla traiettoria (prora, velocità, ora, posizione) e i dati relativi al database (fonte ENC, edizione, data, cella, cronistoria aggiornamenti); inoltre, ad intervalli non superiori alle 4 ore, deve essere registrata l'intera traiettoria eseguita (Figura 14.26).

Figura 14.26 - Schermata della registrazione dei dati di navigazione

The screenshot displays the 'Voyage Replay' window. At the top, there are two tabs labeled 'Voyage Replay'. Below them, a 'From (UTC)' section shows a date of 14/3/13 and a time of 12:27:56. A 'To (UTC)' section shows a date of 15/3/13 and a time of 12:27:56. To the right, 'Select Type' checkboxes are checked for 'Ship Data', 'Lops Data', and 'Chart Data'. A summary on the right indicates 5141 data sets for Ship Data, 0 for Lops Data, and 0 for Chart Data. Below this is a 'Filter Voyage Data' section. The main area is titled 'Voyage Recording Data' and contains a table with columns 'Number', 'Time (UTC)', and 'Data'. Two entries are visible: 5081 at 16/03/2013 02:14:45 and 5080 at 16/03/2013 02:14:35. Each entry lists various sensor data including Ship Data, Hdg/Rot Source, Conning Position Source, Adjust to North, STW Conning Speed Source, and SOG Conning Speed Source.



1.15 TRAIETTORIE NAUTICHE

Le principali **traiettorie**, riportate in *Figura 15.1*, sono:

- ▶ lossodromia
- ▶ ortodromia
- ▶ brachistocrona «rotta di minimo tempo»

1.15.1 LOSSODROMIA

La **lossodromia** (*rhumb line*) è una curva tridimensionale (spirale logaritmica) che si avvolge attorno ai poli, senza mai raggiungerli, formando angoli costanti con i meridiani (*Figura 15.2*). Non rappresenta la distanza più breve tra due punti, ma ha il grande vantaggio di poter essere seguita con un angolo di Rotta costante. Conviene utilizzarla per piccoli cammini e per piccole $\Delta\varphi$; ha un punto di flesso all'equatore. Sulla carta di Mercatore è rappresentata da una linea retta.

1.15.1.1 Equazione della lossodromia

Noti due punti, A e B, di note latitudine (φ) e longitudine (λ), la relazione che li lega è la seguente:

$$(\lambda_B - \lambda_A) = (\varphi_{CB} - \varphi_{CA}) \times \operatorname{tg} r_V$$

dove φ_c è la latitudine crescente

1.15.1.2 Lossodromie degeneri

Esistono casi di lossodromie degeneri, ovvero:

- ▶ navigando per meridiano ($\Delta\lambda_{AB}=000^\circ$), il cammino percorso dalla nave è pari a:

$$m = \Delta\varphi_{AB} \times 60$$

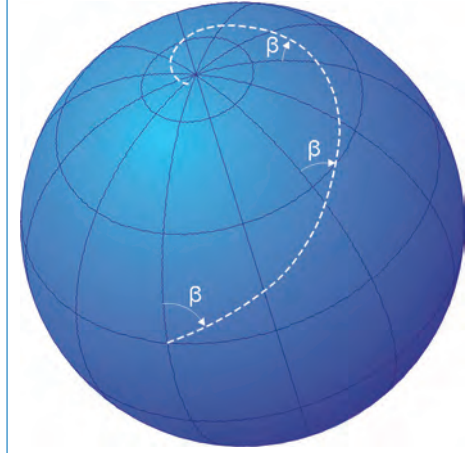
- ▶ navigando all'equatore ($\Delta\varphi_{AB}=000^\circ$; $\varphi=00^\circ$), il cammino percorso dalla nave è pari a

$$m = \Delta\lambda_{AB} \times 60$$

Figura 15.1 - Traiettorie nautiche



Figura 15.2 - Lossodromia



- navigando per parallelo ($\Delta\varphi_{AB}=00^\circ$), il cammino percorso dalla nave sarà pari a:

$$\mu = (\Delta\lambda_{AB} \times 60) \times \cos\varphi$$

ove “ μ ” è l'appartamento o allontanamento; “ φ ” è la latitudine del parallelo a cui si naviga. Si ricorda che all'Equatore 1' di φ corrisponde ad 1' di λ .

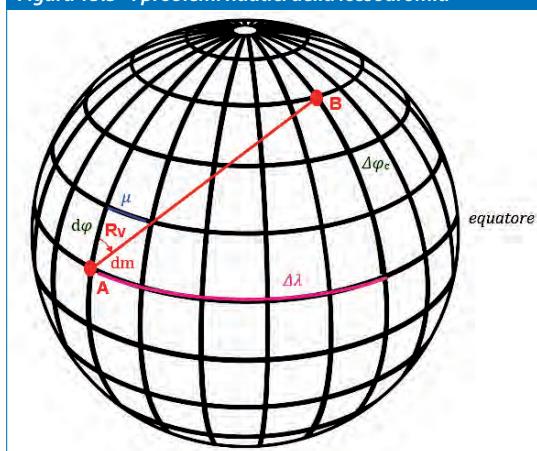
1.15.1.3 Problemi nautici della lossodromia

Se la distanza tra il punto di partenza A e il punto di arrivo B è:

- minore di 500 mg ($\varphi_m < 60^\circ$),
parleremo di **piccole distanze**
- maggiore di 500 mg ($\varphi_m > 60^\circ$),
parleremo di **grandi distanze**

Pertanto, avremo due problemi essenziali della lossodromia per le piccole distanze e due problemi essenziali della lossodromia per le grandi distanze. Dal punto di vista pratico, si può utilizzare lo schema risolutivo per le grandi distanze anche per le piccole, in quanto più preciso (Figura 15.3).

Figura 15.3 - I problemi nautici della lossodromia



1.15.1.4 Primo problema della Lossodromia – PICCOLE DISTANZE $m \leq 500$ nm

Noti: A (φ_A, λ_A), R_v, m

Determinare: B (φ_B, λ_B)

- Trasformare la R_v (circolare) in r_v (quadrantale)

I Quadrante N-E

II Quadrante S-E

III Quadrante S-W

IV Quadrante N-W

$$r_v = R_v$$

$$r_v = 180^\circ - R_v$$

$$r_v = R_v - 180^\circ$$

$$r_v = 360^\circ - R_v$$

- Calcolare la differenza di latitudine, con la formula:

$$\Delta\varphi = m \times \cos r_v$$

Il segno è N/S a seconda del prefisso della r_v .

Il risultato è in PRIMI; quindi, va diviso per 60 per ottenerlo in GRADI.

- Calcolare la latitudine di B, φ_B

$$\varphi_B = \varphi_A + \Delta\varphi$$



- Si calcola la latitudine media

$$\varphi_m = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} \text{ algebrica}$$

- Calcolare la differenza di longitudine, con la formula:

$$\Delta\lambda = \frac{(m \times \sin r_v)}{\cos|\varphi_m|} \text{ algebrica}$$

Il segno è E/W a seconda del suffisso della r_v

Il risultato è in PRIMI; quindi, va diviso per 60 per ottenerlo in GRADI.

- Calcolare la longitudine di B, λ_B

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda \text{ algebrica}$$

1.15.1.5 Secondo problema della Lossodromia – PICCOLE DISTANZE $m \leq 500$ nm

Noti: A (φ_A, λ_A), B (φ_B, λ_B)

Determinare: R_v, m

- Operazioni preliminari:

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$$

- Si calcola la latitudine media

$$\varphi_m = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$$

Tutte le operazioni sono algebriche.

- Calcolo della Rotta vera, R_v , con la formula:

$$\tan r_v = \frac{(|\Delta\lambda| \times \cos|\varphi_m|)}{|\Delta\varphi|} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow r_v$$

Il prefisso N/S dipende dal ; il suffisso E/S dipende dal $\Delta\lambda$.

- Trasformare la r_v (quadrantale) in R_v (circolare)

I Quadrante N-E

$$R_v = r_v$$

II Quadrante S-E

$$R_v = 180^\circ - r_v$$

III Quadrante S-W

$$R_v = 180^\circ + r_v$$

IV Quadrante N-W

$$R_v = 360^\circ - r_v$$

- Calcolo del cammino, con la formula:

$$m = \frac{|\Delta\varphi|}{\cos r_v}$$

Il risultato è in GRADI; quindi, va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA).

**1.15.1.6 Primo problema della Lossodromia – GRANDI DISTANZE $m > 500$ nm**

Noti: A (φ_A, λ_A), R_v, m

Determinare: B (φ_B, λ_B)

- Trasformare la R_v (circolare) in r_v (quadrantale)

I Quadrante N-E

$$r_v = R_v$$

II Quadrante S-E

$$r_v = 180^\circ - R_v$$

III Quadrante S-W

$$r_v = R_v - 180^\circ$$

IV Quadrante N-W

$$r_v = 360^\circ - R_v$$

- Calcolare la differenza di latitudine, con la formula:

$$\Delta\varphi = m \times \cos r_v$$

Il segno è N/S a seconda del prefisso della r_v

Il risultato è in PRIMI; quindi, va diviso per 60 per ottenerlo in GRADI

- Calcolare la latitudine di B, φ_B

$$\varphi_B = \varphi_A + \Delta\varphi \quad \text{algebraica}$$

- Si calcola la differenza di latitudine crescente, avvalendosi della Tavola nautica n. 4 (risultati in PRIMI, da dividere per 60 per ottenerli in GRADI), oppure calcolando i valori di latitudine crescente con le formule:

$$\varphi_{CA} = \frac{180}{\pi} \times \ln \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi_A}{2}\right)$$

$$\varphi_{CB} = \frac{180}{\pi} \times \ln \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi_B}{2}\right)$$

I segni sono gli stessi delle latitudini di A e di B

Le formule sopra riportate forniscono i valori direttamente in GRADI

$$\Delta\varphi_C = \varphi_{CB} - \varphi_{CA} \quad \text{algebraica}$$

- Calcolare la differenza di longitudine, con la formula:

$$\Delta\lambda = |\Delta\varphi_C| \times \tan r_v$$

Il segno è E/W a seconda del suffisso della r_v

- Calcolare la longitudine di B, λ_B

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta\lambda \quad \text{algebraica}$$



1.15.1.7 Secondo problema della Lossodromia - GRANDI DISTANZE $m > 500$ nm

Noti: A (φ_A, λ_A), B (φ_B, λ_B)

Determinare: R_v, m

- Operazioni preliminari (*algebriche*):

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$$

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$$

- Si calcola la differenza di latitudine crescente, avvalendosi della Tavola nautica n. 4 (risultati in PRIMI, da dividere per 60 per ottenerli in GRADI), oppure calcolando i valori di latitudine crescente con le formule:

$$\varphi_{CA} = \frac{180}{\pi} \times \ln \tan(45^\circ + \frac{\varphi_A}{2})$$

$$\varphi_{CB} = \frac{180}{\pi} \times \ln \tan(45^\circ + \frac{\varphi_B}{2})$$

I segni sono gli stessi delle latitudini di A e di B

Le formule sopra riportate forniscono i valori direttamente in GRADI

$$\Delta\varphi_C = \varphi_{CB} - \varphi_{CA} \quad \text{algebraica}$$

- Calcolo della Rotta vera R_v con la formula:

$$\tan r_v = \frac{|\Delta\lambda|}{|\Delta\varphi_C|} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow r_v$$

Il prefisso N/S dipende dal ; il suffisso E/S dipende dal $\Delta\lambda$

- Trasformare la r_v (quadrantale) in R_v (circolare)

I Quadrante N-E

$$R_v = r_v$$

II Quadrante S-E

$$R_v = 180^\circ - r_v$$

III Quadrante S-W

$$R_v = 180^\circ + r_v$$

IV Quadrante N-W

$$R_v = 360^\circ - r_v$$

- Calcolo del cammino, con la formula:

$$m = \frac{|\Delta\varphi|}{\cos r_v}$$

Il risultato è in GRADI; quindi, va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA).

**1.15.1.8 Intersezione della lossodromia con un parallelo di latitudine φ_X**

Noti A (φ_A, λ_A), r_V e la latitudine del parallelo X, φ_X , determinare la longitudine λ_X .

Si procede come segue:

1. Calcolo della differenza di latitudine crescente tra A e X, dalla Tavola nautica n. 4 (oppure calcolando i valori di latitudine crescente con la formula riportata nelle pagine precedenti)

$$\Delta\varphi_{CX} = \varphi_{CX} - \varphi_{CA}$$

2. Calcolare la differenza di longitudine tra A e X, con la formula:

$$\Delta\lambda_X = |\Delta\varphi_{CX}| \times \tan r_V$$

Il segno è E/W a seconda del suffisso della r_V

3. Calcolare la longitudine di X, λ_X

$$\lambda_X = \lambda_A + \Delta\lambda \quad \text{algebraica}$$

1.15.1.9 Intersezione della lossodromia con un meridiano di longitudine λ_X

Noti A (φ_A, λ_A), r_V e la longitudine del meridiano X, λ_X , determinare la latitudine φ_X .

Si procede come segue:

1. Si calcola la differenza di longitudine tra A e X:

$$\Delta\lambda_X = \lambda_X - \lambda_A \quad \text{algebraica}$$

2. Si calcola la differenza di latitudine crescente tra A e X:

$$\Delta\varphi_{CX} = \frac{|\Delta\lambda_X|}{\tan r_V}$$

Il segno N/S dipende dal prefisso della r_V

Il valore è in GRADI; va trasformato in PRIMI, moltiplicando per 60

3. Si calcola la latitudine crescente di X, φ_{CX} , con la formula:

$$\varphi_{CX} = \varphi_{CA} + \Delta\varphi_{CX} \quad \text{algebraica}$$

4. Con il valore di φ_{CX} si entra nelle Tavole nautiche n.4. Con l'operazione inversa si ricava il valore di φ_X (da dividere per 60 per ottenerlo in GRADI)

Oppure risolvendo la seguente formula:

$$\varphi_X = \left[2 \times \left(\tan^{-1} e^{\frac{(\pi \times \varphi_{CX})}{180}} \right) \right] - 90^\circ$$



1.15.2 ORTODROMIA

L'**ortodromia** è un arco di **circolo massimo (great circle)** passante per due punti e rappresenta la distanza più breve tra questi (Figura 15.4). L'ortodromia taglia i meridiani con angoli variabili. **È rappresentata da una linea retta sulla carta gnomonica.**

La differenza di cammino tra lossodromia e ortodromia è tanto più grande quanto:

- ▶ il cammino lossodromico è maggiore
- ▶ più prossima a 90° è la rotta quadrantale tra A e B
- ▶ più è elevata la latitudine media

Quindi per piccole distanze (circa 300 mg) e con $\Delta\varphi$ piccoli, rotta ortodromica e rotta lossodromica si equivalgono.

Si definiscono **vertici** i punti più alti in latitudine, diametralmente opposti. Possono essere interni o esterni. Nei vertici la rotta è 90° o 270° a seconda se si naviga verso E o verso W. La rotta ortodromica varia al variare della latitudine. La **latitudine del vertice**, φ_v è l'inclinazione dell'ortodromia sul piano equatoriale. Il vertice è interno se è contenuto all'interno dell'arco ortodromico, al contrario è esterno (Figura 15.5).

Si definiscono **nodi** i punti in cui l'ortodromia incontra l'Equatore (la latitudine di entrambi i nodi è pari a zero), diametralmente opposti e in cui la rotta assume il minimo e il massimo valore. Nel caso di un'ortodromia verso Est, dal nodo ascendente la rotta aumenterà sino al vertice (dove $R_v=90^\circ$); in caso di ortodromia verso West, dal nodo ascendente la rotta diminuirà fino al vertice ($R_v=270^\circ$).

Figura 15.4 - Ortodromia

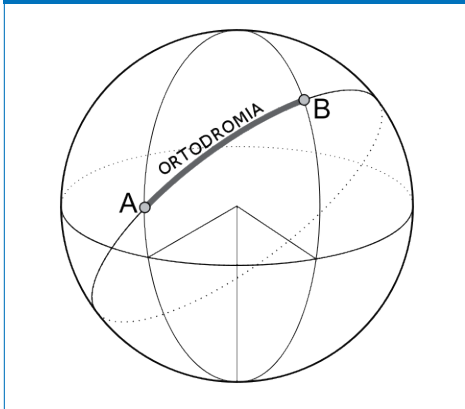
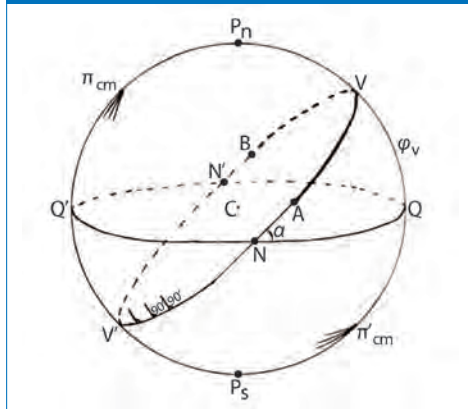


Figura 15.5 - I vertici dell'ortodromia



1.15.2.1 Equazione dell'ortodromia

L'equazione dell'ortodromia è relazione che lega i parametri dell'arco ortodromico (φ_v e λ_v) con le coordinate di un punto "n" qualsiasi.

$$\begin{aligned}\tan \varphi_n &= \tan \varphi_v \times \cos \Delta \lambda_{vn} \\ \Delta \lambda_{vn} &= \lambda_v - \lambda_n\end{aligned}$$

La **massima variazione di rotta** che si può avere seguendo un'ortodromia è pari a:

$$\Delta R = 2 \times \varphi_V$$

1.15.2.2 Calcoli ortodromici

La risoluzione dei problemi di navigazione ortodromica prevede la conoscenza dei teoremi propri della trigonometria sferica (Figura 15.6).

Primo teorema del coseno (di Eulero) In un triangolo sferico il coseno di un lato è uguale al prodotto dei coseni degli altri due lati aumentato del prodotto dei loro seni per il coseno dell'angolo sferico tra essi compreso.

Calcoli preliminari

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A \quad \Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$$

Calcolo del cammino ortodromico

Applicando il teorema di Eulero al triangolo sferico ortodromico, per determinare il cammino m_o tra A e B, occorre applicare la seguente formula:

$$\cos m_o = \cos(90^\circ - \varphi_A) \times \cos(90^\circ - \varphi_B) + \sin(90^\circ - \varphi_A) \times \sin(90^\circ - \varphi_B) \times \cos \Delta\lambda$$

Dalla trigonometria è noto che il coseno del complemento di un angolo è pari al seno dello stesso angolo; analogamente per il seno.

Quindi si può scrivere:

$$\cos m_o = (\sin \varphi_A \times \sin \varphi_B) + (\cos \varphi_A \times \cos \varphi_B \times \cos \Delta\lambda) \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow m_o \text{ in GRADI}$$

Per ottenere il valore di m_o in miglia occorre moltiplicare per 60

Calcolo della Rotta iniziale

Il teorema di Eulero si applica solo ai lati di un triangolo sferico. Pertanto, per poter calcolare il valore angolare della Rotta iniziale R_i occorre partire dal lato del triangolo $(90^\circ - \varphi_B)$, che abbia R_i come angolo opposto.

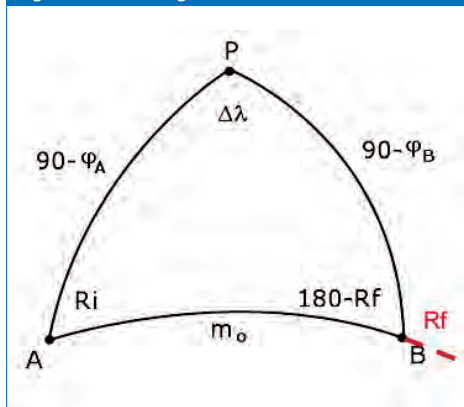
$$\cos(90^\circ - \varphi_B) = \cos(90^\circ - \varphi_A) \times \cos m_o^\circ + \sin(90^\circ - \varphi_A) \times \sin m_o^\circ \times \cos R_i$$

Da cui, facendo le dovute trasformazioni trigonometriche, si ricava R_i :

$$\cos R_i = \frac{\sin \varphi_B - (\sin \varphi_A \times \cos m_o^\circ)}{(\cos \varphi_A \times \sin m_o^\circ)} \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow R_i \text{ E/W}$$

Il valore è semicircolare. Il suffisso dipende da $\Delta\lambda$.

Figura 15.6 - Triangolo sferico



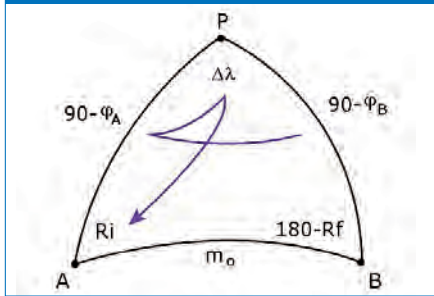


Trasformare il valore di R_i in R_v

se il suffisso è «E» $\rightarrow R_v = R_i$ se il suffisso è «W» $\rightarrow R_v = 360^\circ - R_i$

N. B. nelle formule i segni vanno inseriti solo per le funzioni di “seno” e “tangente” delle latitudini.

Figura 15.7 - Triangolo sferico con applicazione della regola di Vietà



In alternativa si può usare la **regola di Vietà o formula delle cotangenti**. È una formula empirica che lega tra loro quattro elementi consecutivi di un triangolo sferico: due lati e due angoli (Figura 15.7).

La regola è descritta dalla seguente struttura di formula:

$$\cotan(\) \text{sen}(\) = \cos(\) \cos(\) + \text{sen}(\) \cotan(\)$$

Per individuare gli argomenti delle sei funzioni trigonometriche si procede come segue:

$$\cotan(90^\circ - \varphi_B) \times \text{sen}(90^\circ - \varphi_A) = \cos(90^\circ - \varphi_A) \times \cos \Delta\lambda + \text{sen} \Delta\lambda \times \cotan r_i$$

$$\tan \varphi_B \times \cos \varphi_A = \text{sen} \varphi_A \times \cos \Delta\lambda + \text{sen} \Delta\lambda \times \cotan r_i$$

$$\cotan r_i = \frac{\tan \varphi_B \times \cos \varphi_A - \text{sen} \varphi_A \times \cos \Delta\lambda}{\text{sen} \Delta\lambda}$$

$$\tan r_i = \frac{\text{sen} \Delta\lambda}{(\tan \varphi_B \times \cos \varphi_A) - (\text{sen} \varphi_A \times \cos \Delta\lambda)}$$

$$\rightarrow \tan^{-1} \rightarrow N/S \ r_i \ E/W$$

Il prefisso della rotta iniziale (quadrantale) dipende dal segno algebrico del valore di “tan r_i” mentre il suffisso dipende da $\Delta\lambda$.

Occorre poi trasformare il valore di r_i in R_{vi}

Lo stesso procedimento si segue per determinare l'angolo di rotta finale (poco utilizzato).

$$\tan r_f = \frac{\text{sen} \Delta\lambda}{(\text{sen} \varphi_B \times \cos \Delta\lambda) - (\tan \varphi_A \times \cos \varphi_B)}$$

$$\rightarrow \tan^{-1} \rightarrow N/S \ r_f \ E/W$$

Il prefisso della rotta finale (quadrantale) dipende dal segno algebrico del valore di “tan r_f” mentre il suffisso dipende da $\Delta\lambda$. Occorre poi trasformare il valore di r_f in R_{vf} .



UTILIZZO DELLE TAVOLE NAUTICHE 18

Si possono utilizzare anche le Tavole 18 (A, B, C) adattandone l'uso come segue:

- ▶ si prende **A** con il valore di $\Delta\lambda$ sulle ascisse e di φ_B sulle ordinate; il valore sarà "+" se φ_A e φ_B sono **omonimi**, "-" se **eteronimi**

TAVOLA 18																
Tavole A - B - C per il calcolo dell' Azimut																
Decl.	ANGOLO AL POLO (30° - 45°)															A
	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
2	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
6	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
7	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7
8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0
9	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2
10	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5
11	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7
12	4.3	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0
13	4.6	4.5	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3
14	5.0	4.8	4.7	4.6	4.5	4.3	4.2	4.1	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.5
15	5.4	5.2	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.9	3.8
16	5.7	5.6	5.4	5.3	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1
17	6.1	5.9	5.8	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3
18	6.5	6.3	6.1	6.0	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.6
19	6.9	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4	5.2	5.1	5.0	5.0	4.9
20	7.3	7.1	6.9	6.7	6.5	6.3	6.2	6.0	5.9	5.8	5.7	5.5	5.4	5.3	5.2	5.1
21	7.7	7.5	7.2	7.0	6.9	6.7	6.5	6.4	6.2	6.1	6.0	5.9	5.7	5.6	5.5	5.4
22	8.1	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.9	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	6.0	5.9	5.8	5.7
23	8.5	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.1	6.9	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	6.1	6.0
24	8.9	8.6	8.4	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4	7.2	7.1	6.9	6.8	6.7	6.5	6.4	6.3

- ▶ si prende **B** con il valore di $\Delta\lambda$ sulle ascisse e di φ_A sulle ordinate; il valore sarà "+" se $\Delta\lambda > 90^\circ$ e, "-" se $\Delta\lambda < 90^\circ$

TAVOLA 18																
Tavole A - B - C per il calcolo dell' Azimut																
Lat.	ANGOLO AL POLO (30° - 45°)															B
	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°	41°	42°	43°	44°	
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
3	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1
7	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2
8	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4
9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6
10	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8
11	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9
12	3.7	3.5	3.4	3.3	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1
13	4.0	3.8	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3
14	4.3	4.1	4.0	3.8	3.7	3.6	3.4	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5

- ▶ con **C=A+B** sulle ascisse e il valore di φ_A sulle ordinate si ricava la rotta iniziale quadrantale r_i che avrà prefisso il cardine "N" se C è positivo, "S" se C è negativo. Il suffisso dipenderà dal segno del $\Delta\lambda$



TAVOLA 18																
C	Tavole A - B - C per il calcolo dell' Azimut															C
Lat.	A + B															
	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	
ANGOLO AZIMUTALE QUADRANTE Z'																
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
0	73.3	72.8	72.3	71.7	71.2	70.7	70.2	69.7	69.2	68.7	68.2	67.7	67.2	66.7	66.3	65.8
2	73.3	72.8	72.3	71.7	71.2	70.7	70.2	69.7	69.2	68.7	68.2	67.7	67.2	66.7	66.3	65.8
4	73.3	72.8	72.3	71.8	71.3	70.8	70.2	69.7	69.2	68.7	68.2	67.8	67.3	66.8	66.3	65.8
6	73.4	72.9	72.3	71.8	71.3	70.8	70.3	69.8	69.3	68.8	68.3	67.8	67.3	66.8	66.4	65.9
8	73.5	72.9	72.4	71.9	71.4	70.9	70.4	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.9	66.5	66.0
10	73.5	73.0	72.5	72.0	71.5	71.0	70.5	70.0	69.5	69.0	68.5	68.0	67.5	67.0	66.6	66.1
11	73.6	73.1	72.6	72.1	71.5	71.0	70.5	70.0	69.5	69.1	68.6	68.1	67.6	67.1	66.6	66.2
12	73.6	73.1	72.6	72.1	71.6	71.1	70.6	70.1	69.6	69.1	68.6	68.1	67.7	67.2	66.7	66.2
13	73.7	73.2	72.7	72.2	71.7	71.2	70.7	70.2	69.7	69.2	68.7	68.2	67.7	67.3	66.8	66.3
14	73.8	73.3	72.8	72.2	71.7	71.2	70.7	70.3	69.8	69.3	68.8	68.3	67.8	67.4	66.9	66.4
15	73.8	73.3	72.8	72.3	71.8	71.3	70.8	70.3	69.8	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	67.0	66.5
16	73.9	73.4	72.9	72.4	71.9	71.4	70.9	70.4	69.9	69.4	69.0	68.5	68.0	67.5	67.1	66.6
17	74.0	73.5	73.0	72.5	72.0	71.5	71.0	70.5	70.0	69.5	69.1	68.6	68.1	67.6	67.2	66.7
18	74.1	73.6	73.1	72.6	72.1	71.6	71.1	70.6	70.1	69.6	69.2	68.7	68.2	67.8	67.3	66.8
19	74.2	73.7	73.2	72.7	72.2	71.7	71.2	70.7	70.2	69.8	69.3	68.8	68.3	67.9	67.4	67.0

► il valore di r_i (quadrantele) andrà trasformato in R_v (circolare)

Calcolo delle coordinate del vertice

Le formule per calcolare un elemento di un triangolo sferico rettangolo (o rettilatero), come rappresentato in *Figura 15.8*, sono quelle sviluppate da **Nepero**:

- il coseno di un elemento è uguale:
- al prodotto delle cotangenti degli elementi adiacenti, oppure
- al prodotto dei seni degli elementi opposti (più lontani nel pentagono)

Si costruisce un pentagono, nel quale inserire i valori, partendo da un elemento qualunque e procedendo in un verso qualunque, **saltando l'angolo retto**.

Per i due **cateti**, $(90-\varphi_v)$ e m_1 , si inserisce nel pentagono il **complemento**, ovvero: $(90-\varphi_v)$ e $(90-m_1)$ (*Figura 15.9*).

Figura 15.8 - Triangolo sferico rettangolo/rettilatero

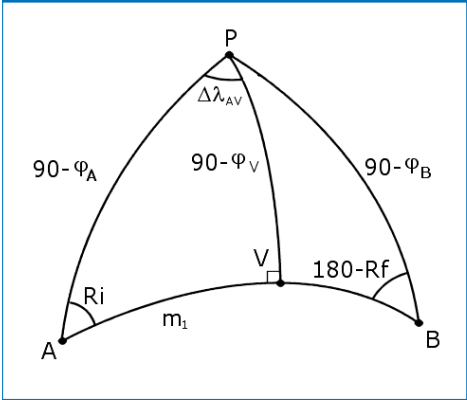
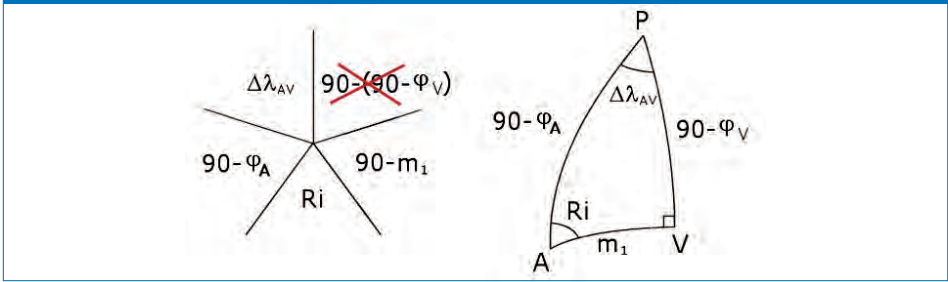


Figura 15.9 - Pentagono con applicazione di Nepero





Per calcolare la latitudine del vertice, applicando Nepero, si ha:

$$\cos \varphi_V = \sin(90^\circ - \varphi_A) \times \operatorname{sen} r_i$$

da cui, trasformando debitamente:

$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_A \times \operatorname{sen} r_i \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow \varphi_V$$

Nella formula si inserisce la rotta iniziale come valore quadrante; il segno di φ_V dipenderà dal prefisso di r_i .

Per calcolare la differenza di longitudine tra A e V, si applica l'**equazione dell'ortodromia**:

$$\tan \varphi_A = \tan \varphi_V \times \cos \Delta \lambda_{AV}$$

Per cui:

$$\cos \Delta \lambda_{AV} = \frac{\tan \varphi_A}{\tan \varphi_V} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \Delta \lambda_{AV}$$

Il segno è lo stesso del $\Delta \lambda$ tra A e B.

Per calcolare la longitudine del vertice si applica la formula, algebrica:

$$\lambda_V = \lambda_A + \Delta \lambda_{AV}$$

1.15.2.3 Metodi per seguire l'ortodromia

I metodi per seguire l'ortodromia sono:

- ▶ **spezzata lossodromica** si scelgono vari punti sull'arco ortodromico equidistanti in $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$ o Δm e si seguono i tratti di lossodromia che uniscono tali punti;
- ▶ **successive Rotte iniziali** si considerano varie ortodromie da congiungere al punto in cui si trova la nave con il punto di arrivo;
- ▶ **navigazione mista** qualora si navighi in latitudini troppo elevate, si fissa un parallelo limite da non superare.

Il problema più consistente dell'ortodromia è rappresentato dal fatto che non risulta possibile seguire una Rotta costante. Pertanto si ricorre ai metodi della spezzata lossodromica e della navigazione mista.

C'è da dire, comunque, che sulle moderne navi automatizzate c'è la possibilità di seguire quasi fedelmente l'ortodromia perché con i sistemi integrati e con i computer che svolgono i calcoli, è il sistema stesso che calcola continuamente la nuova R_i e la smista al pilota automatico.

Con ulteriori calcoli automatici i navigatori computerizzati controllano se la nave si mantiene in rotta e avvertono se deriva e scarroccio conducono la nave fuori rotta, oltre un prefissato limite di tolleranza detto *Cross Track Error* ed indicato con XTE o XTC.



1.15.2.4 Spezzata lossodromica

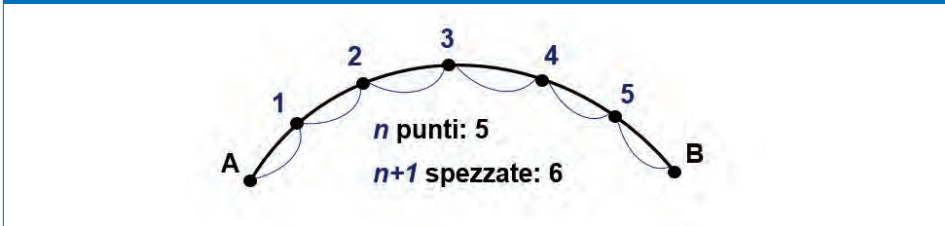
Il metodo più pratico per seguire l'ortodromia consiste nella spezzata lossodromica:

- ▶ si traccia l'ortodromia sulla carta gnomonica (una linea retta);
- ▶ si prendono le coordinate di 9 o 10 punti equidistanti e si riportano sulla carta di Mercatore;
- ▶ si congiungono questi punti e si ottiene così una spezzata lossodromica. In definitiva si cambia rotta solo per 9 o 10 volte, cioè al termine di ogni tratto di lossodromia (Figura 15.10).

L'arco ortodromico A-B viene suddiviso in punti equidistanti in $\Delta\lambda$ o $\Delta\varphi$ o m.

Metodo con punti equidistanti in longitudine

Figura 15.10 - Spezzata lossodromica



Considerando l'esempio in Figura 15.10, il numero dei punti, "n" è 5.

Il primo calcolo consiste nel determinare il $\Delta\lambda$, costante, tra i vari punti:

$$\Delta\lambda_n = \frac{\Delta\lambda_{AB}}{(n+1)}$$

Il segno è dipendente, ovviamente, dal $\Delta\lambda$ tra A e B, riportato al numeratore della formula (n+1) rappresenta il numero di percorsi lossodromici sottesi tra i punti (nell'esempio, essendo i punti 5, gli archi sono 6). La determinazione della longitudine dei vari punti, che verrà indicata con λ_n , si effettua con la formula (algebrica):

$$\lambda_n = \lambda_A + (n \times \Delta\lambda_n)$$

Dove "n" è il numero del punto considerato. Risulta evidente che, per il primo punto, essendo n=1, il calcolo si effettua sommando alla longitudine di partenza il valore di $\Delta\lambda_n$. Per il secondo punto, invece, il valore di $\Delta\lambda_n$ andrà moltiplicato per 2 (e così via per gli altri punti).

La latitudine si calcola con la formula:

$$\tan\varphi_n = \tan\varphi_V \times \cos(\lambda_V - \lambda_n) \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \varphi_n$$

Il segno di φ_n è lo stesso di φ_v se il vertice è interno; ha segno opposto di φ_v se il vertice è esterno.

Con le formule già utilizzate nella lossodromia si calcolano la Rotta vera e il cammino:

$$\Delta\varphi_{An} = \varphi_n - \varphi_A$$



Dalla Tavola Nautica n. 4 (o con le formule) si ricava:

$$\Delta\varphi_{An} = \varphi_n - \varphi_A$$

Il prefisso N/S dipende dal $\Delta\varphi_{An}$; il suffisso E/S dipende dal $\Delta\lambda_n$.

$$\Delta\varphi_{CA_n} = \varphi_{Cn} - \varphi_{CA} \quad \text{algebraica}$$

$$\tan r_v = \frac{|\Delta\lambda_n|}{|\Delta\varphi_{CA_n}|} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow r_v \text{ (da trasformare in } R_v)$$

Il risultato è in GRADI; quindi va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA).

$$m = \frac{|\Delta\varphi_{An}|}{\cos r_v}$$

Metodo con punti simmetrici in longitudine rispetto al vertice

$$\Delta\lambda_n = 5^\circ \div 15^\circ$$

Punti a "E" rispetto al vertice: $\lambda_n = \lambda_V + n\Delta\lambda_n$

Punti a "W" rispetto al vertice: $\lambda_n = \lambda_V - n\Delta\lambda_n$

Si procede come sopra per determinare la latitudine dei punti.

148

Metodo con punti equidistanti in latitudine

Il primo calcolo consiste nel determinare il $\Delta\varphi$, costante, tra i vari punti:

$$\Delta\varphi_n = \frac{\Delta\varphi_{AB}}{(n+1)}$$

Il segno è dipendente, ovviamente, dal $\Delta\varphi$ tra A e B, riportato al numeratore della formula. (n+1) rappresenta il numero di percorsi lossodromici sottesi tra i punti (nell'esempio, essendo i punti 3, gli archi sono 4). La determinazione della latitudine dei vari punti (1, 2, 3), che verrà indicata con φ_n , si effettua con la formula (algebraica):

$$\varphi_n = \varphi_A + (n \times \Delta\varphi_n)$$

Dove "n" è il numero del punto considerato. Risulta evidente che, per il primo punto, essendo n=1, il calcolo si effettua sommando alla longitudine di partenza il valore di $\Delta\varphi_n$. Per il secondo punto, invece, il valore di $\Delta\varphi_n$ andrà moltiplicato per 2 (e così via per gli altri punti). La differenza di longitudine si calcola con l'equazione dell'ortodromia:

$$\cos\Delta\lambda_{Vn} = \frac{\tan \varphi_n}{\tan \varphi_V} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \Delta\lambda_{Vn}$$

Il segno è lo stesso del $\Delta\lambda$ tra A e B.

La longitudine di "n" sarà pari a:

$$\lambda_n = \lambda_V - \Delta\lambda_{Vn} \quad \text{algebraica}$$



Con le formule già utilizzate nella lossodromia si calcolano la Rotta vera e il cammino:

$$\Delta\lambda_{An} = \lambda_n - \lambda_A$$

Dalla Tavola Nautica n. 4 (o con le formule) si ricava:

$$\Delta\varphi_{CA_n} = \varphi_{Cn} - \varphi_{CA} \quad \text{algebraica}$$

$$\tan r_v = \frac{|\Delta\lambda_{An}|}{|\Delta\varphi_{CA_n}|} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow r_v \text{ (da trasformare in } R_v)$$

Il prefisso N/S dipende dal $\Delta\varphi_n$; il suffisso E/S dipende dal $\Delta\lambda_{An}$

$$m = \frac{|\Delta\varphi_n|}{\cos r_v}$$

Il risultato è in GRADI; quindi va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA)

Metodo con punti equidistanti in cammino

$$m_s = \frac{m}{(n+1)}$$

Occorre calcolare il cammino, in gradi, costante per ogni tratto:

$$m_n^\circ = n \times \frac{m_s}{60}$$

Dove "n" è il numero del waypoint da determinare.

Si calcola la latitudine del punto "n", applicando Eulero:

$$\sin\varphi_n = (\sin\varphi_A \times \cos m_n^\circ) + (\cos\varphi_A \times \sin m_n^\circ \times \cos Ri) \rightarrow \sin^{-1} \rightarrow \varphi_n \text{ (stesso segno di } \varphi_A)$$

La rotta va inserita in valore semicircolare.

La differenza di longitudine si calcola con l'**equazione dell'ortodromia**:

$$\cos\Delta\lambda_{Vn} = \frac{\tan\varphi_n}{\tan\varphi_V} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \Delta\lambda_{Vn}$$

Il segno è lo stesso del $\Delta\lambda$ tra A e B.

La longitudine di "n" sarà pari a:

$$\lambda_n = \lambda_v - \Delta\lambda_{Vn} \quad \text{algebraica}$$

Con le formule già utilizzate nella lossodromia si calcola la Rotta:

$$\Delta\varphi_{An} = \varphi_n - \varphi_A$$

$$\Delta\lambda_{An} = \lambda_n - \lambda_A$$

Dalla Tavola Nautica n. 4 (o con le formule) si ricava:

$$\Delta\varphi_{CA_n} = \varphi_{Cn} - \varphi_{CA} \quad \text{algebraica}$$

$$\tan r_v = \frac{|\Delta\lambda_{An}|}{|\Delta\varphi_{CA_n}|} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow r_v \text{ (da trasformare in } R_v)$$

Il prefisso N/S dipende dal $\Delta\varphi_{An}$; il suffisso E/S dipende dal $\Delta\lambda_{An}$.

1.15.2.5 Navigazione mista

Un altro problema dell'ortodromia risiede nel fatto che si spinge troppo in alto come latitudine: questo si traduce nella possibilità concreta di incontrare condizioni meteo avverse o, addirittura, ghiacci. Si fissa, pertanto, un parallelo limite di latitudine φ_L da non superare (Figura 15.11).

L'intersezione del parallelo limite con l'ortodromia individua due punti, 1 e 2. Nel tratto A-1 si naviga per ortodromia (nella pratica per spezzata lossodromica); così vale per il tratto 2-B. Nel tratto 1-2, invece, si naviga per lossodromia; nella fattispecie per parallelo (lossodromia degenera). Nei tratti A-1 e 2-B, occorre determinare la longitudine di 1 e 2. Si utilizza l'equazione dell'ortodromia:

$$\cos \Delta \lambda_{A1} = \frac{\tan \varphi_A}{\tan \varphi_L} \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow \Delta \lambda_{A1}$$

Con lo stesso segno di $\Delta \lambda$ tra A e B

$$\lambda_1 = \lambda_A + \Delta \lambda_{A1} \quad \text{algebrica}$$

$$\text{sen } r_i = \frac{\cos \varphi_L}{\cos \varphi_A} \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow r_i \quad (\text{da trasformare in } R_{vi})$$

Il prefisso N/S dipende dal $\Delta \varphi_{A1}$; il suffisso E/S dipende dal $\Delta \lambda_{A1}$

$$\cos m_1 = \frac{\text{sen } \varphi_A}{\text{sen } \varphi_L} \rightarrow \text{sen}^{-1} \rightarrow m_1$$

Il risultato è in GRADI; quindi va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA)

$$\cos \Delta \lambda_{2B} = \frac{\tan \varphi_B}{\tan \varphi_L} \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow \Delta \lambda_{2B}$$

Con lo stesso segno di $\Delta \lambda$ tra A e B

$$\lambda_2 = \lambda_B - \Delta \lambda_{2B} \quad \text{algebrica}$$

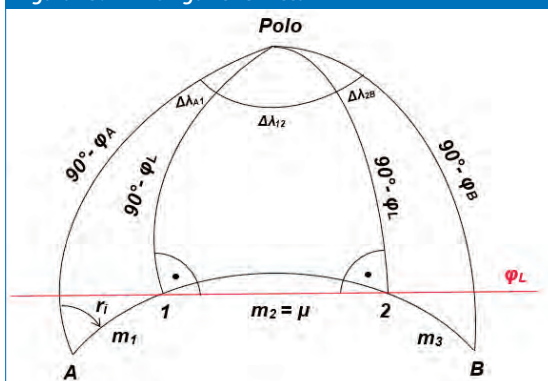
$$\text{sen } r_f = \frac{\cos \varphi_L}{\cos \varphi_B} \rightarrow \cos^{-1} \rightarrow r_f \quad (\text{da trasformare in } R_{vi})$$

Il prefisso N/S è l'opposto di quello di r_i ; il suffisso E/S dipende dal $\Delta \lambda_{2B}$

$$\cos m_3 = \frac{\text{sen } \varphi_B}{\text{sen } \varphi_L} \rightarrow \text{sen}^{-1} \rightarrow m_3$$

Il risultato è in GRADI; quindi va moltiplicato per 60 per ottenerlo in PRIMI (MIGLIA).

Figura 15.11 - Navigazione mista





Nel tratto 1-2

$$m_2 = |(\lambda_2 - \lambda_1)| \times \cos \varphi_L$$

da moltiplicare per 60 per avere il risultato in MIGLIA.

La R_v è 090° o 270° a seconda del segno del $\Delta\lambda$ tra A e B.

Punti di incontro dell'ortodromia con un parallelo di latitudine φ_x

$$\cos \Delta\lambda_{VX} = \frac{\tan \varphi_X}{\tan \varphi_V} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \Delta\lambda_{VX}$$

$$\lambda_{X1} = \lambda_v - \Delta\lambda_{VX}$$

$$\lambda_{X2} = \lambda_v + \Delta\lambda_{VX}$$

Punto di incontro dell'ortodromia con un meridiano di longitudine λ_x

$$\Delta\lambda_{VX} = \lambda_V - \lambda_X$$

$$\tan \varphi_X = \tan \varphi_V \times \cos \Delta\lambda_{VX} \rightarrow \tan^{-1} \rightarrow \varphi_X$$



1.16 NAVIGAZIONE INTEGRATA

Per **navigazione integrata** (*integrated navigation*) si intende un sistema capace di trattare informazioni continue e di diversa provenienza, tutte concorrenti alla determinazione ottimale della posizione e dei parametri di guida della nave (rotta, velocità, ecc.) (Figura 16.1).

La **SOLAS al cap. V reg. 19** tratta dei **sistemi integrati di navigazione (INS, Integrated Navigation System)**, definito come «l'aiuto alla sicurezza della navigazione mediante la valutazione dei segnali d'ingresso da più sensori indipendenti e la loro combinazione per fornire tempestivamente **avvisi (warnings)** di pericoli potenziali e di degrado dell'integrità di queste informazioni». Le **Ris. MSC 86(70)** e **MSC 252(83)**, invece, dettano i performance standard di un **IBS (Integrated Bridge System)**, definito come «una combinazione di sistemi interconnessi allo scopo di permettere l'accesso centralizzato alle informazioni dei sensori o il comando/controllo da workstations, con lo scopo di aumentare una gestione efficace e sicura da parte di personale adeguatamente preparato».

I sistemi coinvolti in un sistema integrato sono:

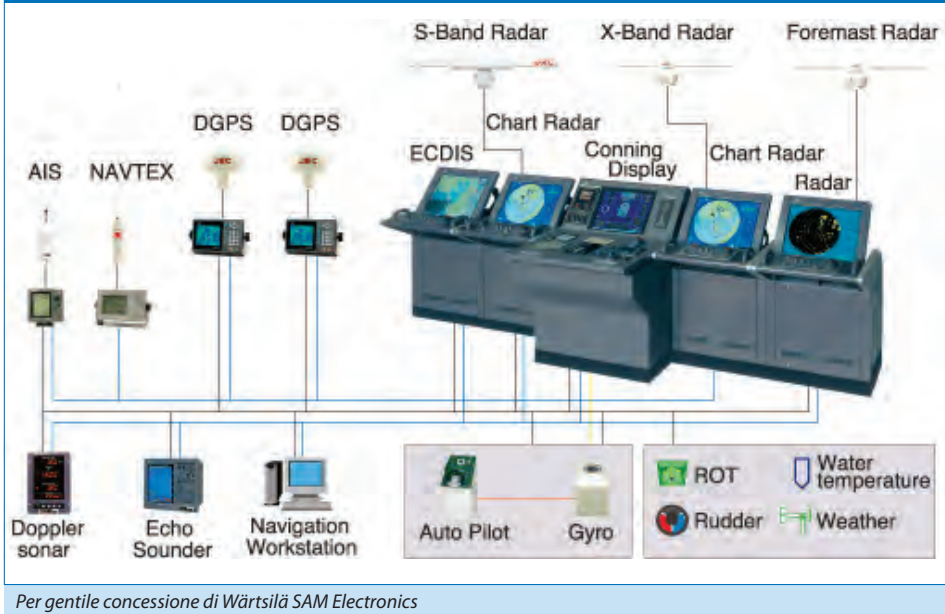
- ▶ Radar ARPA
- ▶ ECDIS con backup
- ▶ GNSS
- ▶ Girobussola
- ▶ Solcometro
- ▶ Ecoscandaglio
- ▶ VDR
- ▶ AIS
- ▶ Mezzi di comunicazione interna (Public Address - PA, magnetofoni, talkback)
- ▶ Sistema di monitoraggio dello stato della nave (sinottico antincendio e compartimentazione)
- ▶ Ricevitori meteo (anemometro, anemoscopio, termometri, barometri)
- ▶ Sinottico Sala Macchine (stato motori, linee acqua dolce, linee zavorra, linee bilanciamento, linee acque grigie e nere, ecc.)
- ▶ CCTV (Closed Circuit Television), per scopi di security (anti-intrusione)

Ogni sensore del sistema integrato converte i dati analogici in dati digitali e quindi li invia al **calcolatore** che svolge le seguenti funzioni:

- ▶ **esamina** i dati in ingresso, li filtra e li corregge;
- ▶ **monitorizza** l'intero sistema nave e **gestisce** il sistema degli allarmi;
- ▶ **esegue** i calcoli di navigazione e controlla che la posizione sia coerente con la rotta programmata;
- ▶ **effettua** scelte opportune per il mantenimento della nave sulla rotta programmata;
- ▶ **fornisce** in uscita sul display tutte le indicazioni e gli elementi richiesti quali info nautiche, di manovra e di stato della nave.



Figura 16.1 - Integrazione dei vari sistemi di navigazione



L'elaborazione dei dati è di tipo statistico ed avviene attraverso un apposito algoritmo, detto filtro di Kalman; ad ogni sensore, in fase di installazione, viene attribuito un peso, che dipende dalla qualità e dall'affidabilità delle info che fornisce e che viene corretto continuamente a seconda della precisione effettiva, determinata mediante il filtraggio.

Se la precisione è troppo bassa, il sensore diventa inaffidabile e le info da esso fornite vengono escluse dal calcolo; tale esclusione termina quando la precisione ritorna ad essere accettabile.

La **Circolare MSC 982 - Human Machine Interfaces (HMI)** definisce alcune funzionalità che devono essere soddisfatte da una work station, che verrà definita task station a seconda del preciso compito che deve svolgere (Figura 16.2). Requisiti **SOLAS cap. V – reg. 15** sulla disposizione INS:

- ▶ facile valutazione della situazione e delle operazioni da svolgere per Ufficiali e Piloti;
- ▶ garantire l'accesso continuo alle informazioni di base, che devono essere il più possibile standardizzate a livello di simboli, colori e non ambigue (architettura funzionale e intuitiva);
- ▶ disporre indicazioni dello stato di funzionamento degli apparati automatizzati (strumentazione adeguata, affidabile, ridondante e che fornisca allarmi in caso di malfunzionamento);
- ▶ evitare affaticamento e distrazione degli operatori, minimizzando il rischio di errore umano (postazioni di lavoro ergonomiche, qualifiche adeguate e ottima familiarizzazione sull'uso dei vari sistemi, disponibilità di procedure operative per l'uso dei vari sistemi, piano regolare di prove e collaudi).

Figura 16.2 - Esempio di INS, fornito dal ponte di comando di una moderna nave da crociera



Sul ponte di comando si distinguono le seguenti **work station**:

- ▶ *for navigating and manoeuvring* (postazione principale, centrale)
- ▶ *for manual steering* (postazione del timoniere)
- ▶ *for monitoring* (ECDIS per il controllo della navigazione)
- ▶ *for planning and documentation* (postazione ECDIS del VP Officer)
- ▶ *for docking* (alette)
- ▶ *for safety* (sicurezza nave – antincendio, compartimentazione, security)
- ▶ *for communication* (GMDSS)

Si definisce **CCRS (Consistent Common Reference System)** un sistema di controllo e distribuzione dei dati affinché questi siano validi (fonte sicura), plausibili (verosimili e quindi compresi entro certi limiti fissati) e tempestivi.

A tal proposito è definito **CCRP (Consistent Common Reference Point)** il punto, sulla nave, dal quale sono prese tutte le misure orizzontali di targets RADAR/ARPA (rotta e velocità relative, distanza, CPA, TCPA), oggetti e punti cospicui e dal quale si originano EBL, VRM e l'indicazione della nave propria sullo schermo (Figura 16.3).

Tale punto coincide con il **ponte di comando (conning position)**, ma può essere riferito anche all'antenna Radar o alla "Track" (in tal caso, corrisponde al ponte di comando e risulta particolarmente utile per le navi che hanno la plancia a poppa).

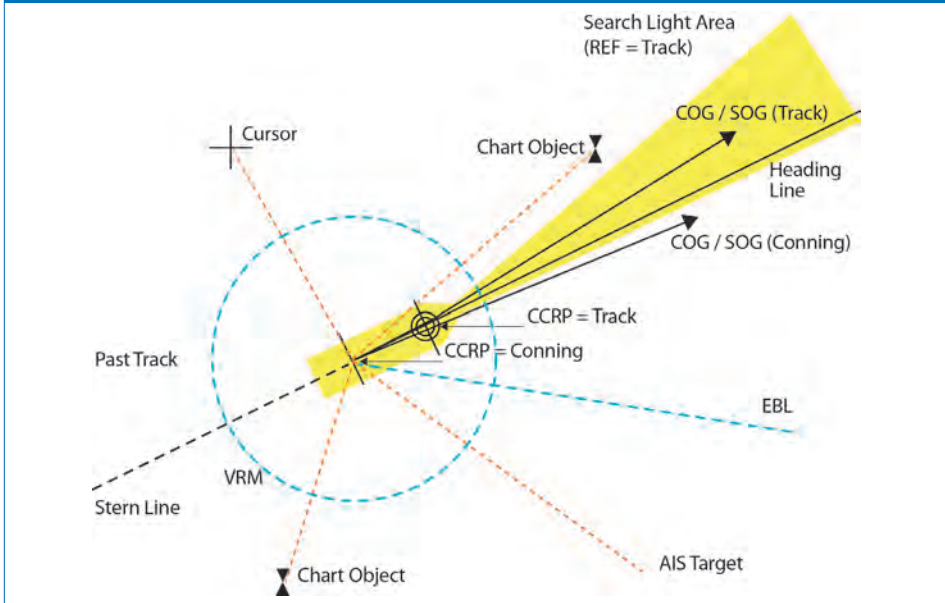
Il sistema INS e, di conseguenza, tutti i molteplici sensori cui è asservito, deve essere alimentato da entrambe le fonti di energia della nave (principale e di emergenza).

1.16.1 AUTOPILOTA

Il sistema di **pilotaggio automatico** è regolato dalla **SOLAS al cap. V regg. 19 e 24**. Ogni sistema automatico deve essere inserito dall'Ufficiale di guardia sul ponte di comando,



Figura 16.3 - CCRS



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

il quale deve poter tornare immediatamente al governo manuale in caso di condizioni pericolose (traffico, meteo, avarie).

Si ricorda che, il pilotaggio manuale (hand steering), può essere:

- ▶ **FOLLOW UP (FU)**, quando il timone segue i movimenti della barra, muovendosi fino a raggiungere l'angolo impostato. Se la barra verrà messa al centro o in altre posizioni, il timone risponderà al nuovo ordine
- ▶ **NON FOLLOW UP (NFU)**, quando il timone si muove fino a raggiungere l'angolo impostato per rimanervi indipendentemente dalla posizione della barra. Su alcune navi è presente una **leva di emergenza (emergency tiller)** che effettua l'override degli altri sistemi di controllo (Figura 16.4)

L'autopilota si definisce come un automatismo che sostituisce completamente il timoniere nel governo della nave. L'**autopilota tradizionale** è detto **giropilota (heading control)** e opera mantenendo una determinata prora (Figura 16.5). È costituito da un servo-regolatore collegato ad un telemotore, attraverso una tecnologia di trasmissione **CAN-Bus (Controller Area Network)**, che comanda l'agghiaccio del timone in base agli input della girobussola; un filtro passa basso ne esclude l'intervento per piccole e rapide oscillazioni attorno il valore impostato. L'autopilota moderno è chiamato **adattivo (ATP, Automatic Track Pilot)**: grazie all'asservimento con i GNSS e l'ECDIS è possibile effettuare regolazioni più raffinate, in relazione alle diverse condizioni ambientali e di carico della nave.

La **Risoluzione MSC 74(69)** detta i performance standards dell'**autopilota (track control system)**, definendolo come un sistema atto a mantenere una traiettoria rispetto al fondo in varie condizioni, utilizzando i **dati di posizione, prora e velocità**.

Il sistema deve fornire vari allarmi, sul confronto con i valori pre-impostati di XTD (Cross Track Limit), differenza tra prora e rotta (drift), riduzione di velocità (generalmente intorno agli 8 kts) e malfunzionamenti generici di sistema.

Figura 16.4 - Sistema di pilotaggio manuale nella console centrale



Per gentile concessione di Raytheon Anshütz

Figura 16.5 - Giropilota



Per gentile concessione di Raytheon Anshütz

1.16.1.1 Funzioni del Trackpilot

Il **Multipilot** combina tutti i principali sistemi di navigazione e strumenti correlati alla navigazione (GYRO, RADAR-ARPA, ECDIS, ATP, GNSS, etc.). In *Figura 16.6* è riportata la tastiera del Trackpilot, nella quale si può notare il joystick.

Con il **Trackpilot** inserito possono essere utilizzate le seguenti modalità operative, riportate in *Figura 16.7*:

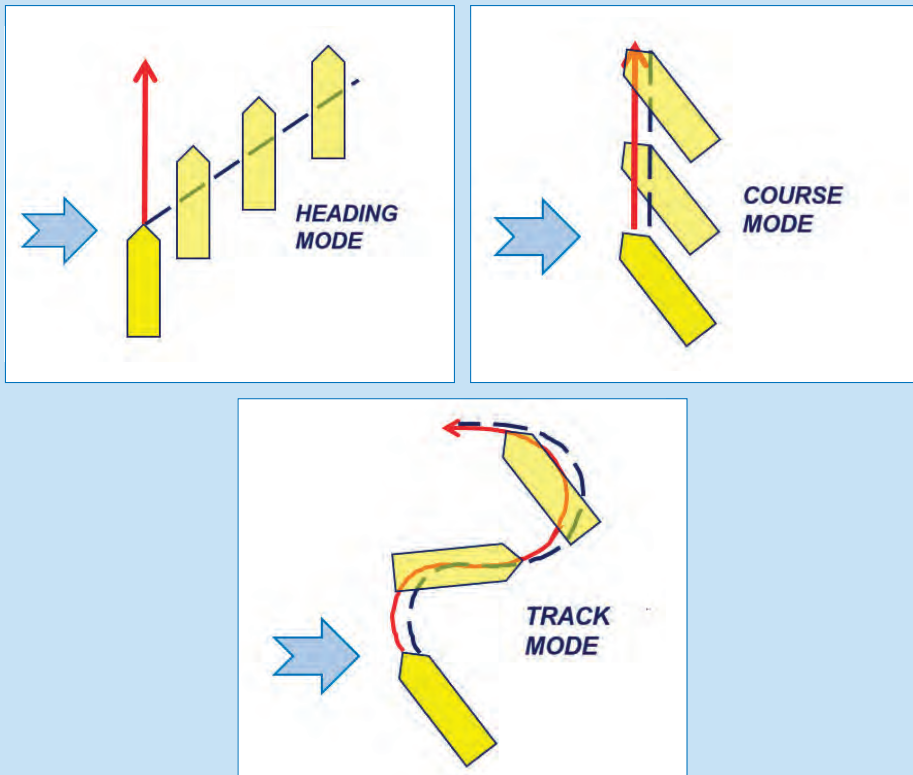
- **Heading Mode** - la nave viene governata seguendo una prora (heading) senza tenere conto delle correzioni relative alla corrente ed al vento (come un pilota automatico convenzionale). Le correzioni relative allo scostamento dalla rotta devono essere eseguite manualmente dall'ufficiale di guardia.
- **Course Mode** - la nave viene mantenuta in **rotta (COG, Course Over Ground)** tenendo in considerazione le componenti della deriva (corrente) e dello scarroccio (vento). Ciò avviene se sono disponibili le informazioni dei rispettivi sensori. Con il *course mode*, viene quindi compensato il drift angle (risultato dell'azione congiunta di vento e corrente) (*Figura 16.8*).
- **Track Mode** - vengono utilizzati i piani di viaggio predefiniti tramite le coordinate geografiche dei waypoints. La rotta pianificata prende il nome di track. Le accostate vengono eseguite in automatico dal sistema, previa accettazione dell'ufficiale di guardia, utilizzando radius pre-impostati in fase di pianificazione della traversata.

Figura 16.6 - Autopilota Trackpilot



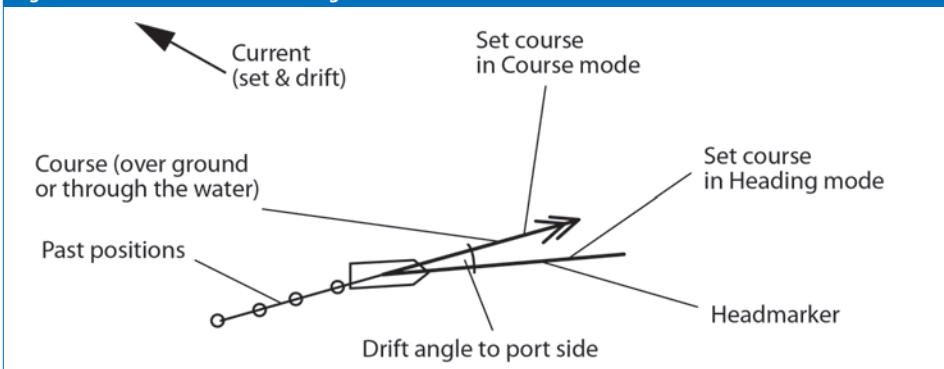


Figura 16.7 - Sistemi di operazione: heading, course e track mode



157

Figura 16.8 - Correzione del Drift Angle



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

Il **radius** è il raggio di curvatura di un'accostata. Tale valore è pre-impostato in fase di pianificazione, oppure definito dall'ufficiale di guardia utilizzando il joystick sulla tastiera del Multipilot. Il valore di radius può variare da 0.25 miglia (accostata con curvatura molto stretta), a 4.00 miglia (accostata con raggio di curvatura larga).



Le impostazioni dell'autopilota devono tener conto dell'accuratezza dei sensori di input.

Hanno influenza sulla sensibilità della correzione:

- ▶ **rudder economy (RE)** - indice di ottimizzazione della tenuta della rotta con l'uso del timone. Viene assegnata una maggiore tolleranza al sistema in caso di condizioni meteo avverse e viceversa;
- ▶ **rudder limit (RL)** - massimo angolo di timone o controtrimone usato dal sistema per accostare (il valore massimo impostabile è 35°);
- ▶ **course limit (CL)** - differenza tra la rotta impostata con il sistema in *course mode* e la rotta vera della nave rispetto al fondo (COG). Da esso dipende l'entità di correzione per garantire il **rientro in rotta**, che avverrà sempre con radius pre-impostato di 1 miglio. Il rientro in rotta, in *track mode*, è consentito solo se la differenza tra COG e rotta settata (*track*) è inferiore al valore del *course limit* e se la nave si trova all'interno del *track limit*. L'angolo di timone per il rientro in *track* sarà dato dalla metà del *course limit* ($CL/2$) se la rotta è convergente rispetto al *track*, o dalla somma tra il *course limit* e metà del *course limit* ($CL + CL/2$), se la rotta è divergente rispetto alla *track* (Figura 16.9).
- ▶ **drift limit (DL)** - angolo limite sopra il quale il drift non è più compensato (tale funzione è attiva in *course* e *track mode*). Il calcolo del drift è ricavato da appositi sensori, che rilevano la differenza tra *Course Over Ground* e *Heading*.
- ▶ **track limit (TL)** - distanza limite del fuori rotta (in metri), entro la quale è possibile attivare il *track mode*. Tale valore è rappresentato dal **XTD (Cross Track Limit)**. Intorno alla nave è generato un **corridoio di sicurezza (guard band)**, limitato da due nav-lines, di ampiezza massima compresa fra 300-800 m (margine di 150-400 m sui due lati della nave).

Il track pilot segnala il raggiungimento dei massimi valori di rudder/course/track/drift limit attraverso un apposito allarme. Nel caso specifico del rudder limit e del drift limit, il sistema non userà timone né per accostare (o mantenere la rotta), né per compensare un drift superiore a quello impostato nel settaggio.

Il **track control** fornisce i dati di distanza e tempo (*DTG, Distance to Go* e *TTG, Time To Go*), eventualmente ETA, dalla posizione attuale fino al successivo WP e WOP oltre ai dati del nuovo leg e del turning radius. Relativamente alle accostate il sistema fornisce un allarme prima del raggiungimento del WOP, in una posizione chiamata AP (*approaching point*) in modo che l'Ufficiale possa acconsentire all'accostata mediante pressione dell'apposito comando EXECUTE per tacitare l'allarme; l'*approaching point* è collocato a 30 secondi dal WOP ed il suo raggiungimento azionerà l'allarme *WOP execution*, tuttavia è solitamente impostabile dall'utente un allarme precedente ad esempio fino a 180 secondi, detto *waypoint approaching* (Figura 16.10).

Alcune case produttrici forniscono anche un **sistema di controllo della velocità (speed pilot)** come espansione dell'autopilota, che servirà ad effettuare le regolazioni necessarie per giungere a destinazione a un orario stabilito; in altri casi è disponibile la modalità anchor control per mantenere una certa prora quando ancorati.

Ogni autopilota, in fase di installazione, viene regolato in base alle caratteristiche di manovrabilità della nave, impostando una **banda morta (dead band)**, ampia qualche decina di metri, entro cui non viene effettuata alcuna correzione di rotta (Figura 16.11).



Figura 16.9 - Rientro in rotta con rotta convergente e divergente

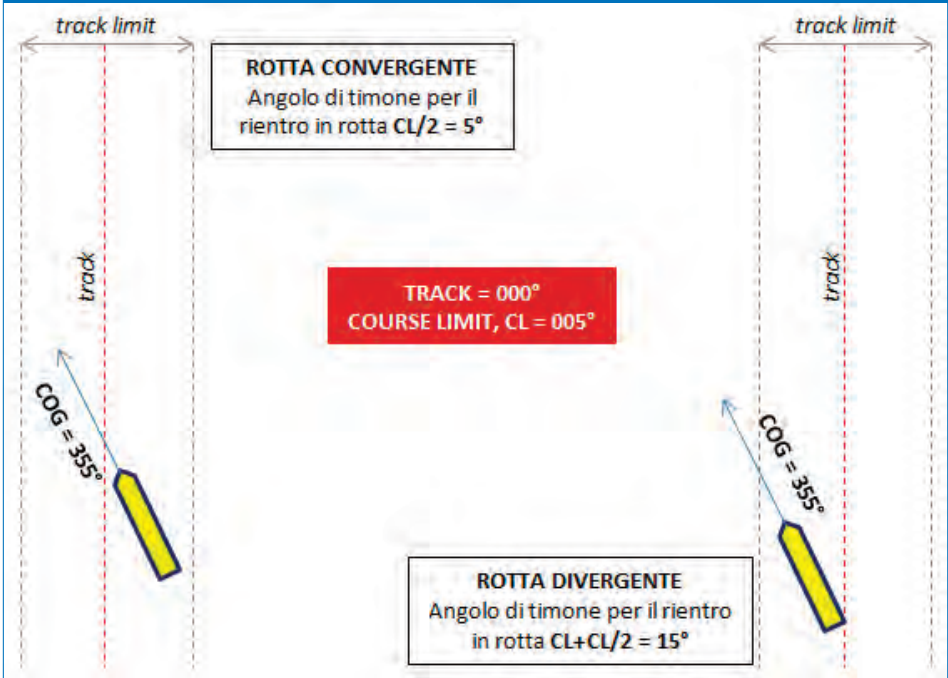


Figura 16.10 - Track control

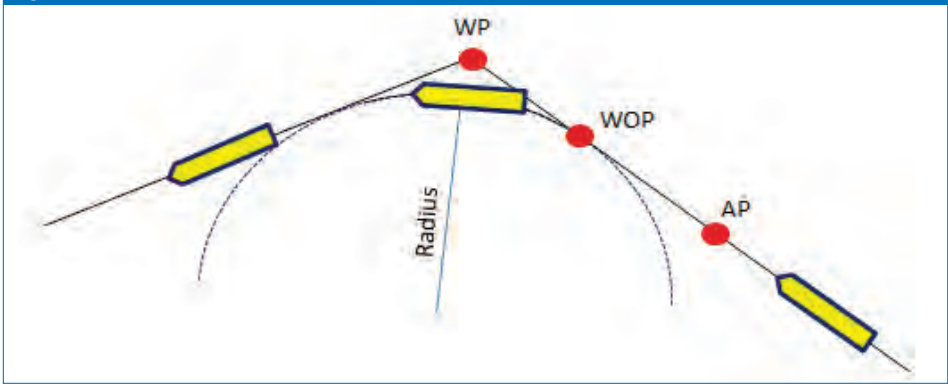
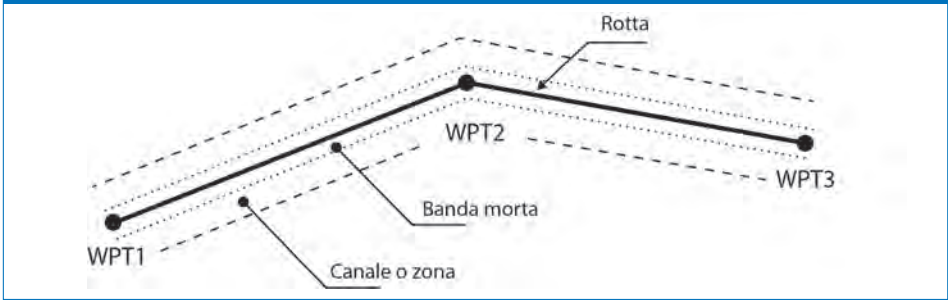


Figura 16.11 - Banda morta

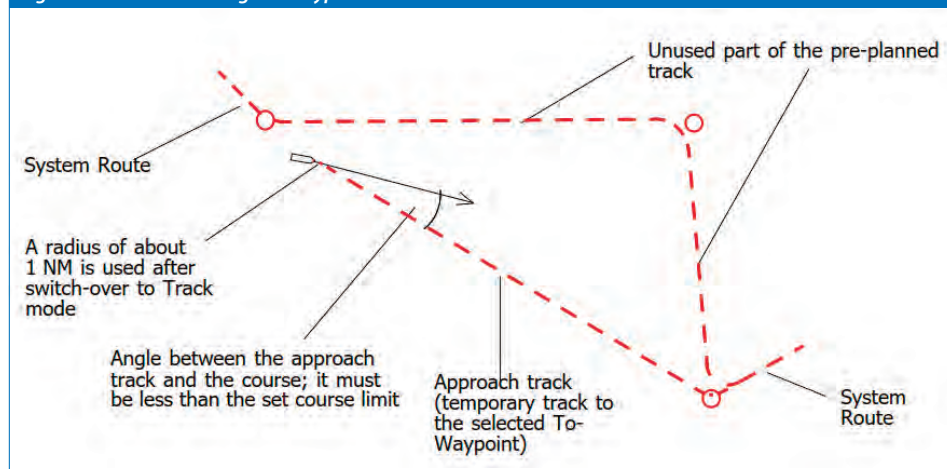




Quando la nave è fuori rotta, l'autopilota ordina il rientro in rotta con due possibili metodi:

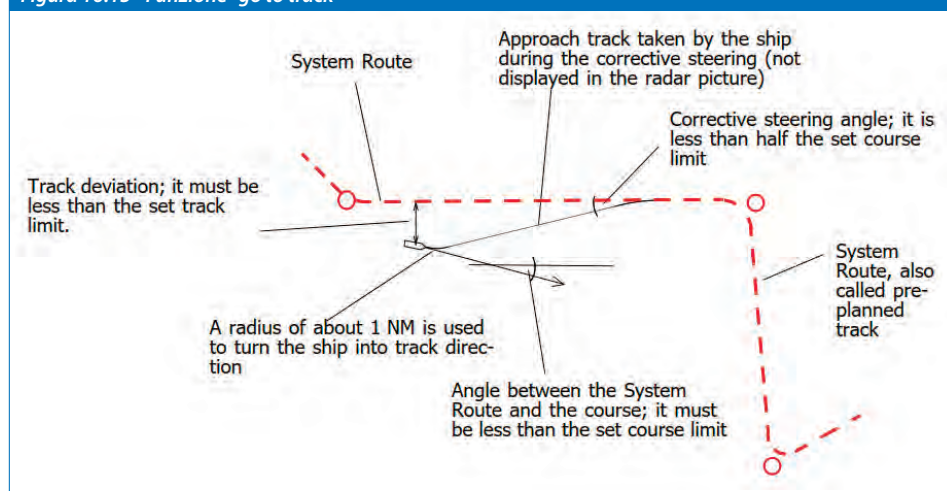
- **go to Waypoint** il sistema genera una nuova traiettoria che congiunge il punto di fuori rotta con il nuovo WP (Figura 16.12)
- **go to Track** la nave rientra, nel minor tempo e compatibilmente alle sue capacità di manovra, sulla traiettoria pianificata (Figura 16.13)

Figura 16.12 - Funzione "go to waypoint"



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

Figura 16.13 - Funzione "go to track"



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

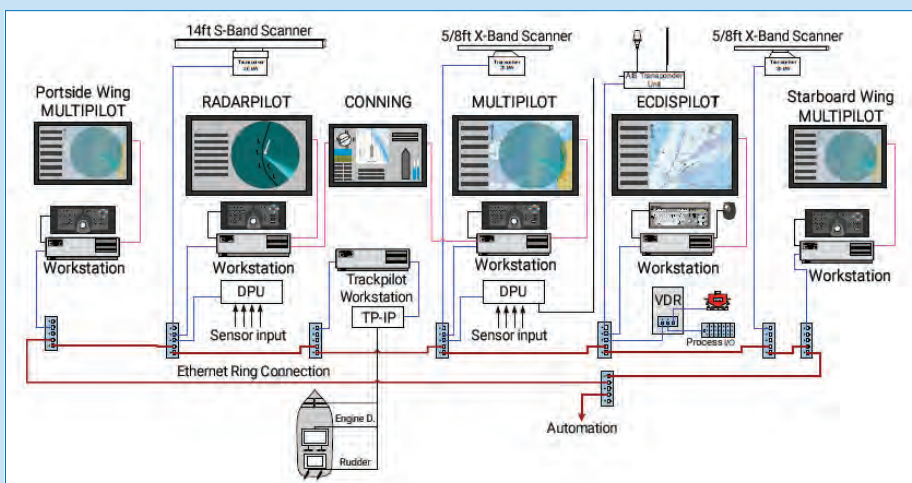
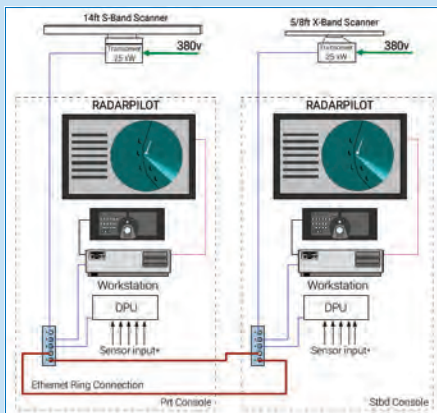


1.16.2 RADAR

Il **RADAR (Radio Detection and Ranging)** è uno strumento che misura rilevamento e distanza degli oggetti che si trovano entro la sua portata (Figura 16.14). È composto essenzialmente da:

- ▶ un trasmettitore che genera e trasmette **energia elettromagnetica (e.m.)** ad impulsi;
- ▶ un ricevitore che riceve e amplifica l'energia re-irradiata dai bersagli;
- ▶ un'antenna che irradia durante l'emissione degli impulsi e riceve nell'intervallo fra un impulso e il successivo;
- ▶ un deviatore elettronico che collega l'antenna alternativamente al trasmettitore e al ricevitore (**duplexer**);
- ▶ uno schermo (**PPI, Plan Position Indicator**) che mostra gli echi di ritorno dei bersagli che si trovano sull'orizzonte ed entro la portata del radar.
- ▶ Il **modulatore** è l'unità che genera e controlla gli impulsi radar, definendone durata, forma e frequenza di ripetizione. Garantisce la sincronizzazione del sistema e influenza direttamente portata, risoluzione e qualità dell'immagine radar;

Figura 16.14 - Schema a blocchi di un RADAR



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

- ▶ **l'amplificatore** è il componente che aumenta la forza degli echi ricevuti dall'antenna, così da renderli abbastanza forti da poter essere elaborati e visualizzati. Senza amplificazione, molti segnali sarebbero troppo deboli per essere rilevati;
- ▶ **il magnetron** genera le onde elettromagnetiche utilizzate dal radar per trasmettere gli impulsi, costituendo la sorgente primaria del segnale radar.

1.16.2.1 Principio di funzionamento

Quando l'energia e.m. colpisce il bersaglio, essa viene re-irradiata e ritorna all'antenna. La misura del tempo impiegato dagli impulsi per percorrere due volte (andata e ritorno) la distanza nave-bersaglio consente di determinare la **distanza dell'oggetto (d)**:

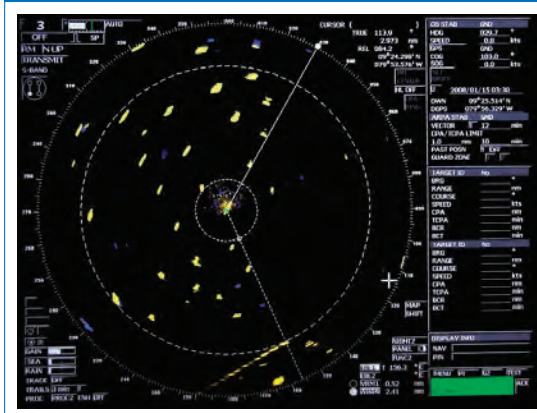
$$d = \frac{(c \times \Delta t)}{2}$$

La **misura del rilevamento** è invece resa possibile dalla piccola **apertura angolare (aperture width)**, di circa 1°, del solido d'irradiazione/ricezione dell'antenna nel piano orizzontale.

Nel piano verticale l'apertura è invece di circa 25°, per non perdere i bersagli nei movimenti di rollio e di beccheggio della nave (*Figura 16.15*). A bordo si trovano generalmente due radar:

- ▶ uno in **banda S** con **lunghezza d'onda $\lambda = 10$ cm e frequenza $f = 3$ GHz** utilizzato per la scoperta dei bersagli più lontani e anche in presenza di piovaski.
- ▶ Uno in **banda X** con **lunghezza d'onda $\lambda = 3$ cm e frequenza $f = 9.2 / 9.5$ GHz** più adatto per la scoperta di particolari, utilizzato specialmente in navigazione costiera e in presenza di traffico intenso. Inoltre, il radar banda X, è utile in alto mare per attivare il SART (Search and Rescue Transponder) di eventuali naufraghi e ricevere i suoi segnali. I radar a banda X sono altresì meno soggetti al clutter (assorbimento degli impulsi dovuto a pioggia, sabbia, neve).

Figura 16.15 - Misura del rilevamento



Si definiscono **Automatic Plotting Aids** i software di cui sono affiancati, oggi, i radar, capaci di elaborare i dati cinematici dei bersagli grazie all'interfaccia con alcuni strumenti di bordo.

Tra gli Automatic Plotting Aids troviamo l'EPA (*Electronic Plotting Aid*), l'ATA (*Automatic Tracking Aid*), l'ARPA (*Automatic Radar Plotting Aid*).

La **SOLAS**, al **cap. V reg. 19** prescrive che le navi di stazza lorda pari o superiore alle 3000t devono avere un radar in banda X, uno in banda S e due ATA.

1.16.2.2 Caratteristiche di un radar

Le caratteristiche di un radar sono:

- ▶ **potenza di picco (peak power)**, per i radar di grande portata può arrivare sino a 50 KW



- **portata massima (*maximum range*)**, dipende dalla distanza alla quale si trova l'oggetto, dalle dimensioni di quest'ultimo, dalla potenza emessa e dal guadagno dell'antenna

L'apertura orizzontale del diagramma di irradiazione determina il **potere separatore in azimut**, cioè la facoltà del radar di distinguere due oggetti vicini posti alla stessa distanza e su due rilevamenti vicini.

La durata degli impulsi, invece, determina il potere separatore in distanza, cioè la facoltà di distinguere due oggetti vicini posti sullo stesso rilevamento. Esso è pari a:

$$\text{p.s.d.} = \frac{1}{2} t c$$

La **distanza di minima localizzazione** è espressa dalla formula:

$$d = \frac{3}{4} t c$$

La portata geografica del radar è data dalla formula:

$$P = 2,23 \times (\sqrt{e} + \sqrt{H})$$

dove e esprime l'altezza dell'antenna, mentre H l'altezza del bersaglio.

2,23 è un coefficiente correlato alle condizioni di propagazione dell'onda: può assumere valori compresi tra 2,16 e 2,30 (Figura 16.16).

Figura 16.16 - Portata massima del radar



1.16.2.3 Regolazioni del radar

- **Regolazione del guadagno (*gain*)** viene adoperata per variare la sensibilità del ricevitore e quindi per modificare la forza degli echi; se regolato troppo debole, potrebbero non essere rilevati gli echi, mentre, se fosse eccessivamente alto, distorcerebbe il segnale, rendendo difficoltosa l'individuazione. Ogni volta che si cambia scala, passando da una alta ad una più bassa, è bene diminuire il guadagno, viceversa se si passa da una scala bassa ad una più alta. **Il guadagno di un radar** è il rapporto tra la potenza che emana il radar nella direzione di massima emissione e la potenza emanata da un radiatore isotropo ideale (che emette a 360°). Ha maggiore guadagno il radar in banda X rispetto a quello in banda S (di circa 11 volte); infatti il radar in banda S ha antenna più grande di quello a banda X proprio per aumentare il guadagno.

$$G = K \times \frac{4\pi \times A}{\lambda^2} \quad \text{dove } A = \text{area antenna, } k=0.65, \lambda = \text{lunghezza d'onda}$$

- **Regolazione della scala** sono diversi i fattori che influiscono sulla scelta di una scala, ma, in buona approssimazione, è bene tenere presente che le scale corte sono da adoperare in situazioni in cui è necessario avere informazioni su bersagli vicini (es. in zone di intenso traffico). In mare aperto, occorre usare scale più lunghe in modo tale da avere tempestivamente informazioni su avvicinamenti pericolosi di altri bersagli (Figura 16.17). È bene ricordare che la portata di un radar dipende da molti fattori, come l'altezza dell'antenna sul livello del mare, l'altezza e la natura dei bersagli e, non ultime, le condizioni di propagazione.

Figura 16.17 - Scale del radar

Range	250m	500m	0,25NM	0,5NM	0,75NM	1,5NM	3NM	6NM	12NM	24NM	48NM	96NM
Distance Ring	50m	100m	0,05NM	0,1NM	0,25NM	0,25NM	0,5NM	1,0NM	2NM	4NM	8NM	16NM

- **Rain clutter (A/C RAIN)** serve per ridurre i disturbi creati dalla pioggia; in sostanza si attenua, per una breve frazione di tempo (50μs), l'amplificazione del segnale in arrivo.
- **Sea clutter (A/C SEA)** le onde generano degli echi che possono causare un disturbo, che può coprire la parte centrale dello schermo; più alte sono le onde e più alta è l'antenna sul livello del mare, tanto maggiore risulta questo disturbo. Si manifesta come una numerosa e fitta presenza di piccoli echi che agiscono negativamente sulle prestazioni dello strumento, rendendo praticamente impossibile rilevare la presenza dei bersagli nascosti dal disturbo. Un anti-clutter troppo spinto potrebbe, però, far scomparire, assieme al disturbo, anche la presenza di qualche debole eco. È buona norma lasciare sempre un po' di disturbo per assicurare che i piccoli echi non vengano persi.
- **Electronic bearing line (EBL)** è una linea che si può spostare nella direzione di un bersaglio per misurarne il rilevamento (Figura 16.18).
- **Variable range marker (VRM)** è una circonferenza che si può spostare nella direzione di un bersaglio per rilevarne la distanza (cerchio di ugual distanza).

1.16.2.4 Settori ciechi e disturbi

Tutti i radar hanno **settori ciechi (blind sectors)**, legati alla presenza di elementi strutturali della nave (fumaio, gru, altre antenne radar). Gli **echi fantasma** sono i cosiddetti falsi echi, dovuti ad eventuali

deviazioni delle onde radar sulle strutture della nave o a **riflessioni multiple (multiple echoes)** del segnale di ritorno dalla nave sullo stesso bersaglio (che ne genera uno nuovo posto a distanza doppia dal primo).

Figura 16.18 - EBL e VRM

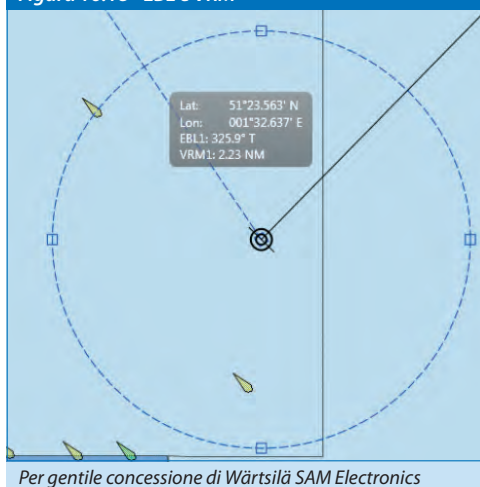
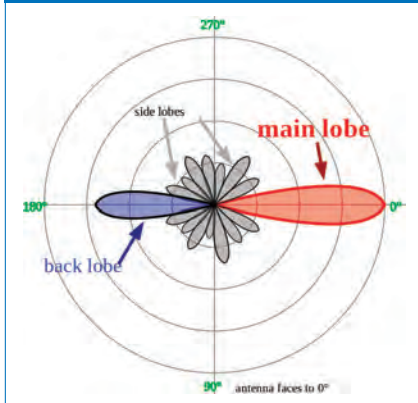




Figura 16.19 - Settori ciechi di un radar



A causa della forma del lobo di irradiazione del radar, composto da vari lobi secondari, essi possono rilevare bersagli in direzioni diverse da quella di puntamento. Gli **echi** così ottenuti sono detti **di trascinamento (side echoes)**. Essi appaiono sulla stessa circonferenza di quello principale e, quindi, sono facilmente riconoscibili (Figura 16.19).

1.16.2.5 Utilizzo pratico del radar

Il radar è uno strumento per la navigazione in quanto permette l'identificazione della costa, delle boe (soprattutto nell'atterraggio), fornendo rilevamento e distanza dei punti cospicui e quindi ottenendo un PN con buona precisione geometrica (i due LOP s'intersecano a 90° tra loro).

Ma, soprattutto, il radar è utilizzato come **strumento anticollisione**: con due battute di un bersaglio, generalmente intervallate di 6 minuti (1' di ora), è possibile ricavare VR (velocità relativa) e indicatrice del moto del bersaglio stesso, il **CPA (Closest Point of Approach)**, il **TCPA (Time to CPA)**, la Rotta e la velocità vere, l'eventuale manovra evasiva per passare ad una distanza minima prefissata (funzione ARPA del *Trial Manoeuvre*). Si parla di **PPC (Predicted Points of Collision)** o di **PAD (Predicted Area of Danger)** quando si è in rotta di collisione con un bersaglio (l'indicatrice di moto passa per la posizione della nave propria).

In base alle indicazioni fornite dal radar, in caso di bersaglio ritenuto pericoloso, è possibile determinare l'accostata o la riduzione di velocità necessaria per passare ad una distanza di sicurezza prefissata dal bersaglio in questione.

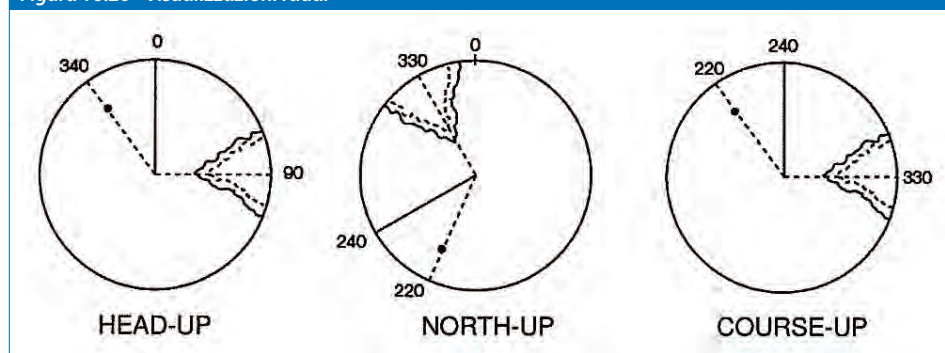
1.16.2.6 Visualizzazioni radar

L'asservimento con la girobussola rende possibile le seguenti visualizzazioni (Figura 16.20):

- ▶ **Head Up (HU) - Prora in alto** è la classica rappresentazione radar, quella più semplice e più adoperata, soprattutto sulle piccole imbarcazioni. La nostra nave si trova al centro dello schermo e la direzione assunta dalla Prora è quella diretta in alto sullo schermo e rappresentata dalla Heading Line (Linea di fede, HL) luminosa. Tutti i rilevamenti sono polari e, quindi, riferiti alla nostra prua.
- ▶ **Course Up (CU) - Rotta in alto** questa modalità viene attivata una volta che l'imbarcazione si trova in rotta. Il radar è quindi asservito alla girobussola o al GPS, la nostra imbarcazione viene sempre raffigurata al centro dello schermo radar, Rotta e Prora sono rappresentate in alto dalla Heading Line, il cerchio azimutale ha lo 0° in corrispondenza della nostra Rotta, mentre la direzione del Nord sarà raffigurata da una traccia luminosa sul cerchio azimutale. È utilizzata da molti piloti, nelle fasi di pilotaggio.

- **North Up (NU) - Nord in alto** è una modalità che richiede l'asservimento del radar ad una girobussola e ad un GPS o qualunque altro sensore capace di dare indicazioni sulla rotta che si sta seguendo. Nella modalità moto relativo e North Up (NU) lo 0° della graduazione della scala azimutale coincide con la direzione del Nord, mentre la Heading Line, che rappresenta la direzione della prua, è orientata secondo il suo valore. La costa sul radar viene raffigurata come sulle carte nautiche, con il Nord in alto. È la rappresentazione utilizzata a bordo, grazie all'asservimento con l'ECDIS.

Figura 16.20 - Visualizzazioni radar



Nei radar moderni è stata introdotta la funzione Head Up stabilized, ovvero indicante il valore della prua (fornita dalla girobussola) lungo la linea di fede, con la differenza che i rilevamenti non sono polari ma veri (Figura 16.21).

Con la rappresentazione di **moto relativo (RM, relative motion)** la posizione della nostra imbarcazione è ferma al centro dello schermo, mentre bersagli e costa si muovono di moto relativo. Uno scoglio o una boa non saranno visti immobili sullo schermo radar, ma li si vedrà muovere con rotta contraria alla nostra e con velocità uguale a quella della nostra imbarcazione. Una nave che naviga parallela alla nostra, con stessa velocità, apparirà ferma.

Il **moto vero (TM, True Motion)** ci consente di vedere sullo schermo radar il moto vero, vale a dire bersagli fermi (costa, boe, scogli, etc.), appariranno immobili, mentre oggetti in movimento si vedranno muovere sullo schermo con il loro moto vero (indipendentemente quindi dal nostro moto). Per avere questa rappresentazione il radar deve essere asservito a strumenti che forniscano rotta vera e velocità effettiva della nostra imbarcazione. La posizione della nostra imbarcazione sullo schermo radar sarà sempre posizionata all'inizio della heading line, che si sposta sullo schermo con rotta e velocità dipendenti da quelli della nostra imbarcazione. Quando lo spostamento raggiunge una certa percentuale del raggio dello schermo, la posizione viene automaticamente resettata e riportata nella parte bassa dello schermo. La posizione può essere resettata anche manualmente dall'operatore.

L'indicazione del **vettore di velocità** sullo schermo Radar dipende dal settaggio del sensore: *water* se considera la *STW (Speed Through the Water)*, **ground** se considera la *SOG (Speed Over Ground)*. Nel primo caso il vettore avrà una sola freccia, mentre nel secondo due frecce (Figura 16.22). La lunghezza del vettore è espressa in minuti e così la lunghezza delle scie (path). Una funzione molto importante dei radar moderni (specialmente



durante le manovre) è la prediction, previsione del moto della nave nei prossimi secondi (da 30 a 360); tale funzione calcola l'andamento della nave in base al ROT e alle velocità (avanti/addietro e laterali) con la scala settata a meno di 1.5 nm (Figura 16.23).

Figura 16.21 - Differenza tra Head Stab e Head Up

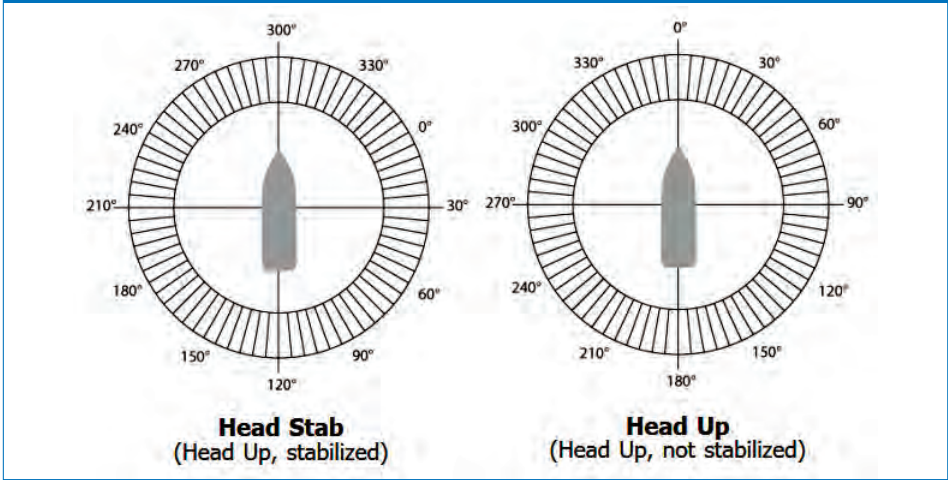


Figura 16.22 - Indicazione del vettore di velocità

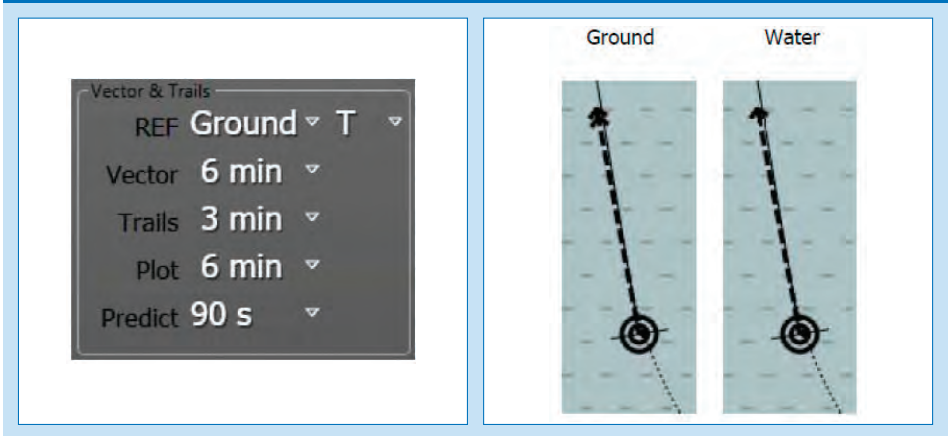
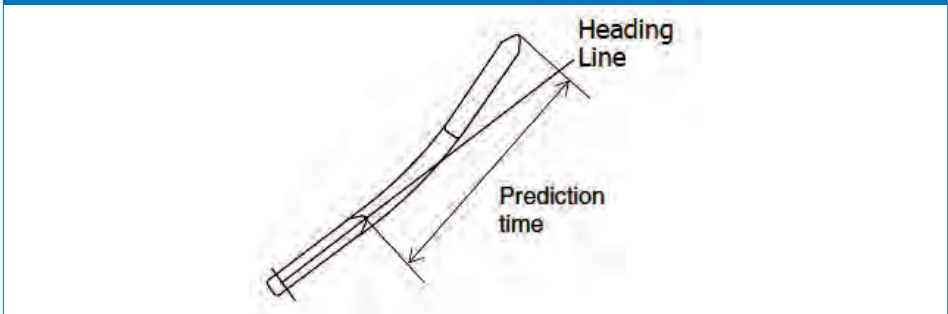


Figura 16.23 - Prediction





1.16.2.7 Il radar ARPA

Acronimo di **Automatic Radar Plotting Aid** è il radar moderno, che si trova a bordo oramai di tutte le navi, che grazie ad uno sofisticato computer incorporato può acquisire i dati cinematici e di sicurezza e mostrarli sul video. La **Risoluzione IMO Res. A422(XI)** stabilisce le funzioni dell'ARPA:

- ▶ asservimento obbligatorio alla girobussola e ad un sensore di velocità;
- ▶ ad ogni bersaglio acquisito viene associato un vettore che indica la rotta e la velocità (relativa o assoluta);
- ▶ deve essere in grado di acquisire, elaborare, rappresentare contemporaneamente sullo schermo e aggiornare continuamente le info di almeno 10 bersagli (se l'acquisizione è manuale) o 20 bersagli (se l'acquisizione è automatica);
- ▶ il tempo di acquisizione per ogni bersaglio non deve superare i 3 minuti;
- ▶ si possono attivare allarmi per essere avvisati in tempo utile se un bersaglio passa ad una distanza minore di quella impostata dall'operatore;
- ▶ si può avere un'idea sull'azione evasiva da intraprendere in caso di probabile rischio di collisione con la modalità «trial manoeuvre».

Il **tracking (acquisizione)** di un bersaglio si attiva selezionando manualmente (puntando il cursore sopra il target desiderato, come riportato in *Figura 16.24*) o automaticamente (**auto-tracking**). Quest'ultima operazione è possibile grazie alla funzione **Guard Zone**, per mezzo della quale vengono definiti appositi settori angolari centrati sulla propria prora, di ampiezza angolare ed estensione regolabili, ed entro i quali ogni bersaglio viene acquisito automaticamente previa segnalazione attraverso un allarme (*Figura 16.25*).

I dati forniti dal sistema sono:

- ▶ distanza attuale del bersaglio
- ▶ angolo di rilevamento
- ▶ distanza prevista del bersaglio al più prossimo punto di avvicinamento (CPA)
- ▶ tempo previsto al più prossimo punto di avvicinamento (TCPA)
- ▶ rotta vera calcolata del bersaglio
- ▶ velocità vera calcolata del bersaglio

Gli Ufficiali di coperta devono conoscere le limitazioni del sistema ARPA, sia in generale che relative al particolare apparato in dotazione.

Quando si usa la funzionalità **Trial Manoeuvre** su ARPA e Multipilots, deve essere posta la dovuta attenzione affinché sia assicurata una completa familiarità con tale modalità di funzionamento e un'approfondita conoscenza delle informazioni fornite, sia attraverso i vettori sullo schermo, che attraverso i dati digitali mostrati per specifici bersagli designati. Sugli schermi, quando si usa la Trial Manoeuvre, lampeggia una lettera «T» ben in evidenza (*Figura 16.26*).



Figura 16.24 - Tracking dei bersagli

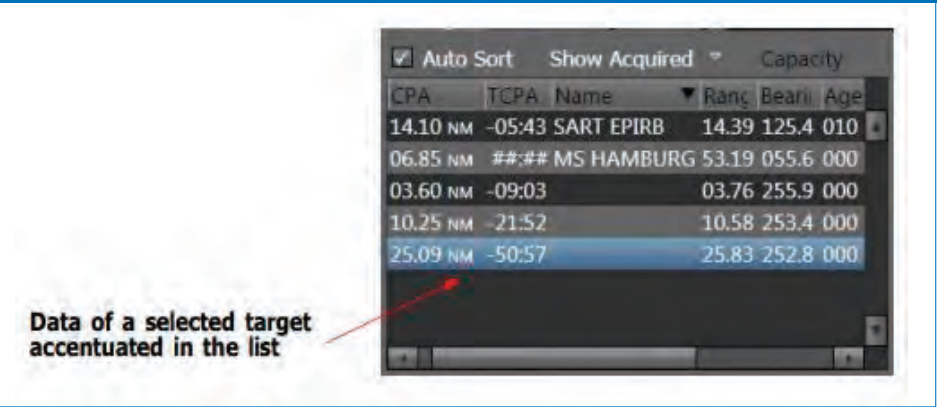


Figura 16.25 - Autotracking e Guard Zone

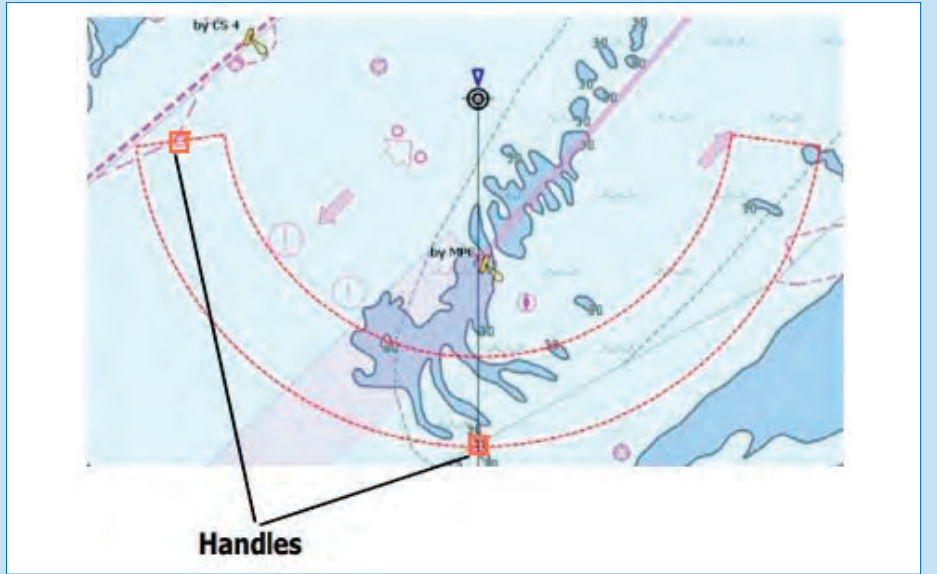
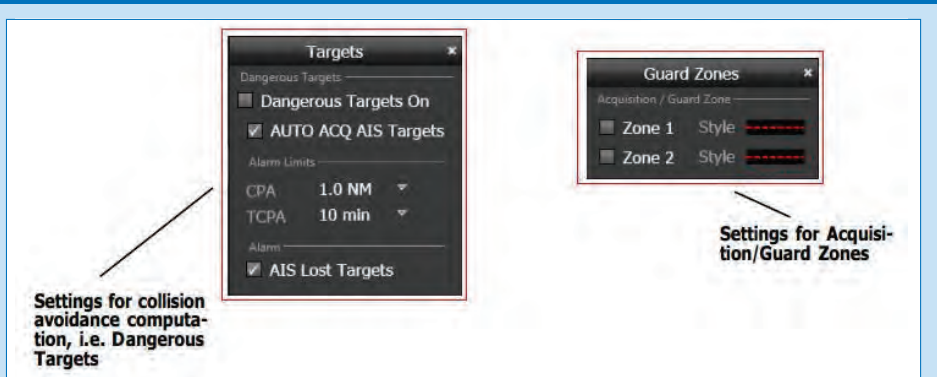
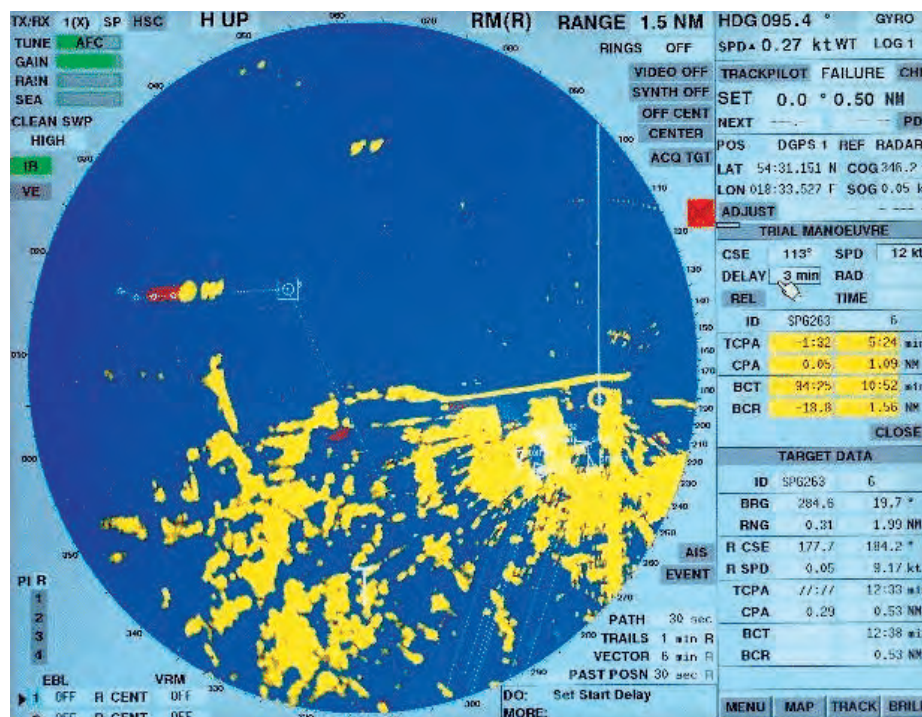


Figura 16.26 - Trial Manoeuvre



Per gentile concessione di Wärtsilä SAM Electronics

1.16.2.8 Racon e Ramark

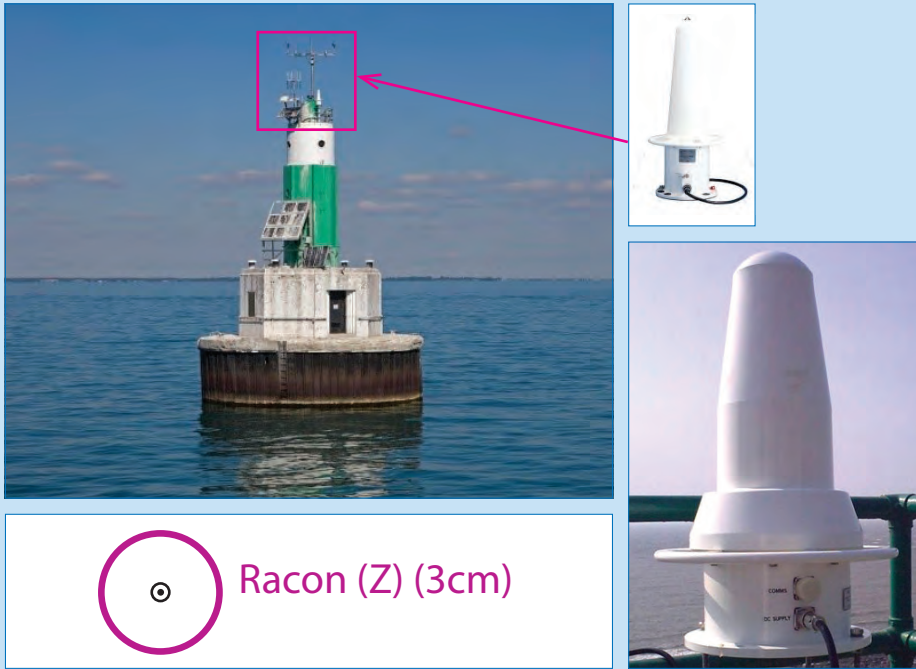
Il **Racon** è un radiotrasmettitore omnidirezionale, che emette un segnale distintivo quando viene innescato da un impulso radar emesso dal radar di una nave. Dal segnale emesso dal Racon è possibile dedurre distanza e rilevamento, essendo il segnale di ritorno attivato solo quando l'antenna del radar posto sulla nave è puntata su di esso. Il segnale appare sullo schermo radar come una linea radiale che parte dal Racon o come segnale Morse.

Il **Ramark** è un altro tipo di beacon, che effettua una trasmissione continua su una frequenza in continuo cambiamento, in modo da spaziare in tutta la banda di frequenze radar. Il suo segnale appare come una linea continua o con una serie di puntini o trattini.

La differenza tra racon e ramark è che il primo è un **radiotrasmettitore attivo**; l'altro, invece, è **passivo** (Figura 16.27).



Figura 16.27 - Racon e Ramark



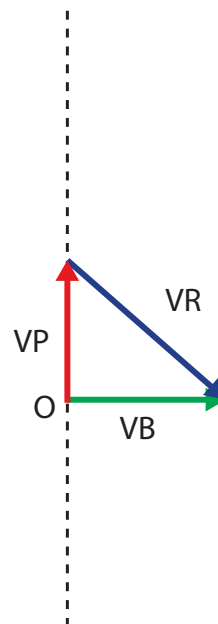
171

1.16.3 CINEMATICA NAVALE

La cinematica navale studia la soluzione grafica dei problemi del moto relativo di una nave rispetto ad un'altra. Il moto di una nave può essere rappresentato da un **vettore**, il cui orientamento coincide con la sua rotta e il cui modulo è rappresentato da un segmento di lunghezza proporzionale alla sua velocità, secondo una scala prescelta. Il punto di applicazione di tale vettore, nei radar moderni, corrisponde con il **CCRP** (trattato in questo capitolo).

Indicando con **nave propria (own ship)** la nostra nave, che sullo schermo radar è rappresentata al centro e con **bersaglio (target)** qualsiasi altra nave oltre la nostra, possiamo rappresentare il **triangolo delle velocità**, indicando i vettori (Figura 16.28).

Figura 16.28 - Triangolo delle velocità



VP Rotta e velocità Nave propria (Rp; Vp)

VB Rotta e velocità Nave bersaglio (Rb; Vb)

VR Rotta e velocità relative (Rr; Vr)

Attraverso il triangolo delle velocità si possono ricavare due dei sei elementi (noti gli altri quattro), rispettando le seguenti condizioni:

- ▶ il triangolo deve sempre essere costruito sullo stesso punto di origine (O);
- ▶ i vettori VP e VB devono avere un'origine comune (O);
- ▶ il vettore VR deve partire dalla cuspide del vettore VP e la sua cuspide deve coincidere con quella di VB.

1.16.3.1 Plotting

Nelle pagine precedenti abbiamo già definito il plotting, indicandolo come l'acquisizione (sui radar in maniera automatica o manuale) e il monitoraggio degli elementi cinematici dei target. In base al moto considerato, si distinguono due tipi di plotting: geografico e relativo.

Il **plotting geografico** rappresenta il moto assoluto delle navi con riferimento alla superficie terrestre: in pratica vedremo muovere le navi secondo i propri vettori di Rotta e velocità vere (come se le osservassimo dall'alto).

Nell'esempio in *Figura 16.29* il bersaglio passerà di poppa alla nave propria all'istante t_3 con una distanza d_1 .

Il **plotting relativo**, invece, rappresenta il moto relativo del bersaglio rispetto alla nave propria, ferma al centro dello schermo radar.

In *Figura 16.30* si nota come al bersaglio venga applicato il vettore $-VP$; di conseguenza non si muoverà più secondo il proprio vettore VB ma sulla nuova risultante, detta **indica-trice del moto relativo (I)**, alla nuova velocità VR .

$$VR = VB + (-VP)$$

Figura 16.29 - Plotting geografico

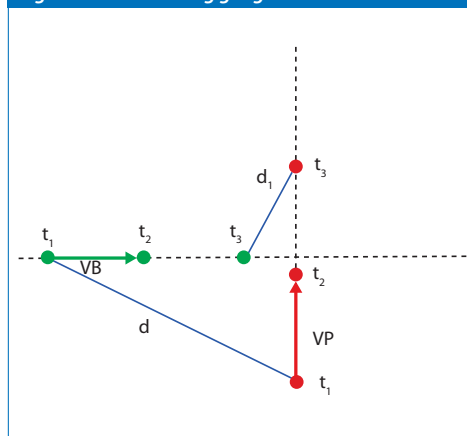
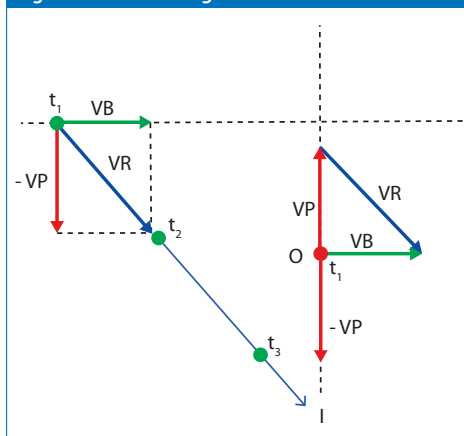


Figura 16.30 - Plotting relativo





All'istante t_3 il bersaglio apparirà di poppa alla nave propria.

Sulla nave propria, nel punto O, si trasportano i vettori VB e VR, ottenendo il triangolo delle velocità, che consente la risoluzione di tutti i problemi di cinematica, attraverso la seguente relazione:

$$VB = VP + VR$$

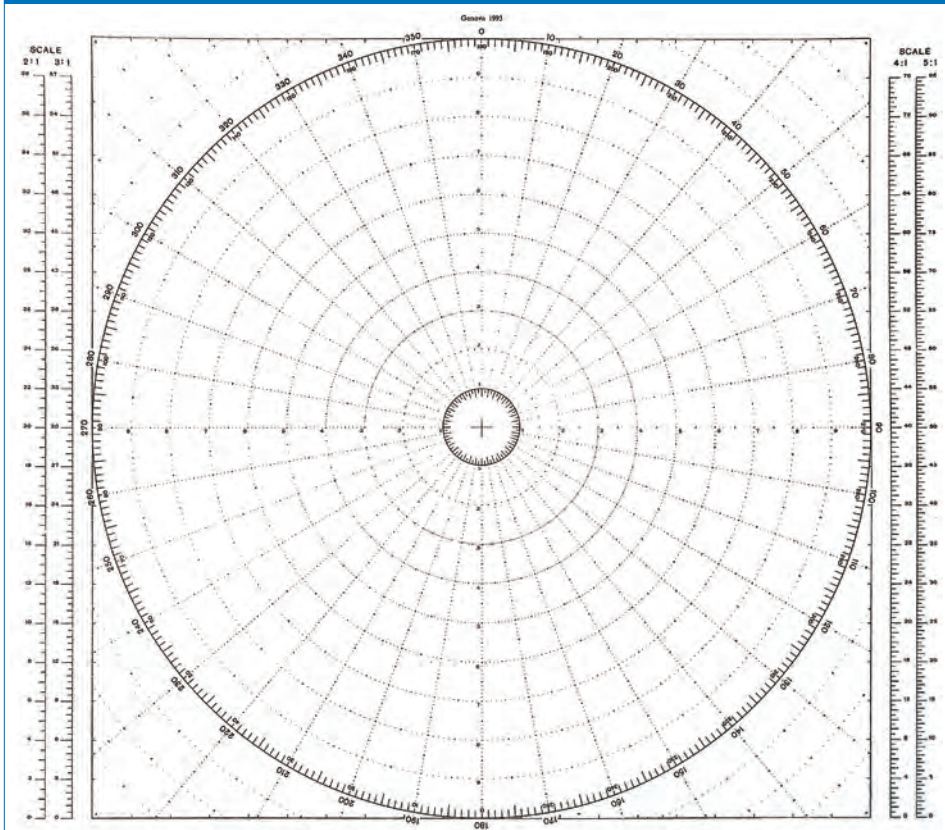
1.16.3.2 Rapportatore diagramma

Il **rapportatore diagramma** (*maneuvering board*) permette la soluzione grafica dei problemi di cinematica (Figura 16.31).

Esso fornisce la rappresentazione di una zona di mare circostante la nave propria; ha dei cerchi concentrici, ugualmente intervallati, numerati da 1 a 10 che possono essere usati per qualsiasi incremento di velocità o di spazio. Il cerchio esterno è graduato da 0 a 360° e i raggi che si susseguono di 10° in 10° sono punteggiati con 100 punti equidistanti.

Lateralmente, su entrambi i lati, ci sono quattro scale, usate per misurare le distanze e la velocità. Nella parte inferiore sono presenti tre scale logaritmiche dei tempi, spazi e velocità, che risolvono la nota formula fisica $s = v \times \Delta t$.

Figura 16.31 - Rapportatore diagramma



Come misurare la velocità (Figura 16.32). Noti il cammino e il tempo impiegato, occorre puntare l'estremità sinistra del compasso sul valore delle miglia percorse e l'estremità destra sui minuti impiegati, sulla scala delle velocità (la terza in fondo). Dopodiché, mantenendo la stessa apertura del compasso, riportare l'estremità destra sul valore 60: l'estremità sinistra indicherà il valore della velocità, in nodi.

Come misurare il cammino (Figura 16.33). Noti la velocità e il tempo impiegato, occorre puntare l'estremità destra del compasso sul valore 60 e l'estremità sinistra sulla velocità (scala delle velocità). Mantenendo la stessa apertura del compasso, riportare l'estremità destra sui minuti: l'estremità sinistra indicherà il cammino.

Come misurare il tempo impiegato (Figura 16.34). Noti la velocità e il cammino, occorre puntare l'estremità destra del compasso sul valore 60 e l'estremità sinistra sulla velocità (scala delle velocità). Mantenendo la stessa apertura del compasso, riportare l'estremità sinistra sulle miglia percorse: l'estremità destra indicherà il tempo impiegato.

Figura 16.32 - Misura della velocità

Noti lo spazio percorso di 5 mg e l'intervallo di tempo di 10', la velocità risulta 30 kts

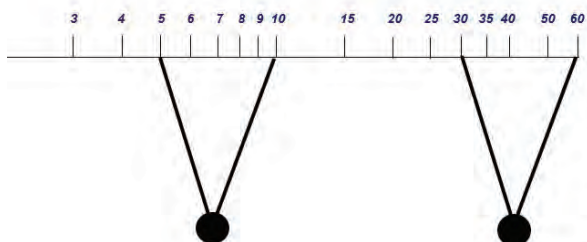


Figura 16.33 - Misura del cammino

Noti la velocità 25 kts e l'intervallo di tempo 10', il cammino risulta 4,1 mg

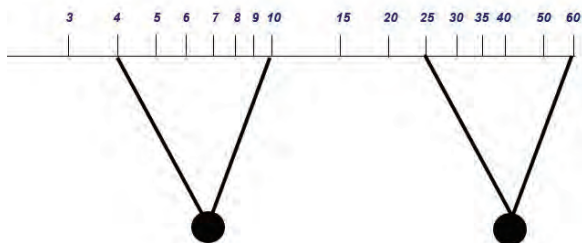
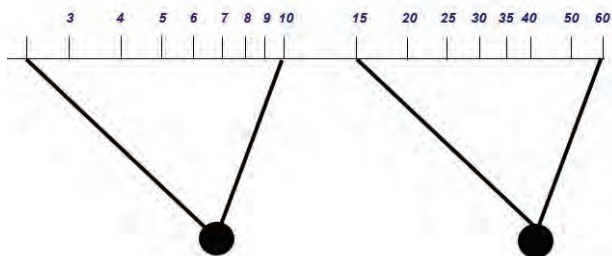


Figura 16.34 - Misura del tempo impiegato

Noti la velocità di 15 kts e il cammino di 2.5 mg, l'intervallo di tempo risulta 10'



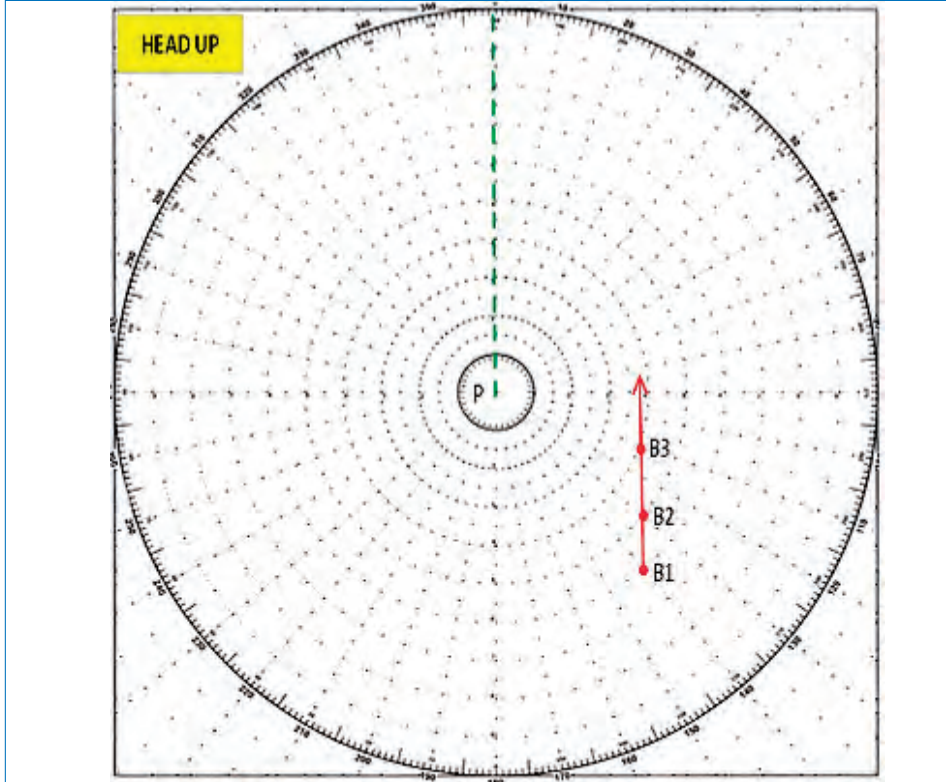


L'utilizzo pratico del rapportatore diagramma permette di studiare la successione di battute dei bersagli (l'indicatrice del moto relativo), esaminando la situazione cinematica.

In *Figura 16.35* è riportato un tipico esempio di rotte parallele: il bersaglio sta sorpassando la nave propria, avendo velocità maggiore della nostra nave. La velocità relativa è data dalla differenza delle due velocità:

$$Vr = Vb - Vp$$

Figura 16.35 - Caso di rotte parallele



175

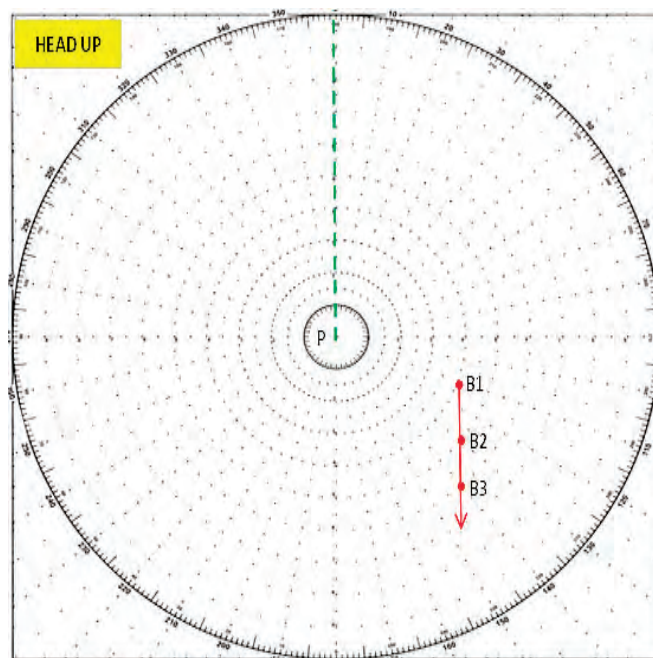
In *Figura 16.36* è riportato, invece, un esempio che può avere tre interpretazioni:

- ▶ rotte parallele, con velocità della nave propria maggiore di quella del bersaglio; in questo caso la velocità relativa è: $Vr = Vp - Vb$;
- ▶ rotte opposte, con velocità relativa pari alla somma delle due velocità: $Vr = Vp + Vb$;
- ▶ bersaglio fermo, con velocità relativa uguale a quella della nave propria: $Vr = Vp$.

In *Figura 16.37* il bersaglio mantiene sempre lo stesso rilevamento e la stessa distanza: siamo nel caso di rotte parallele con velocità uguali $Vb = Vp$; la velocità relativa è nulla $Vr = 0$.

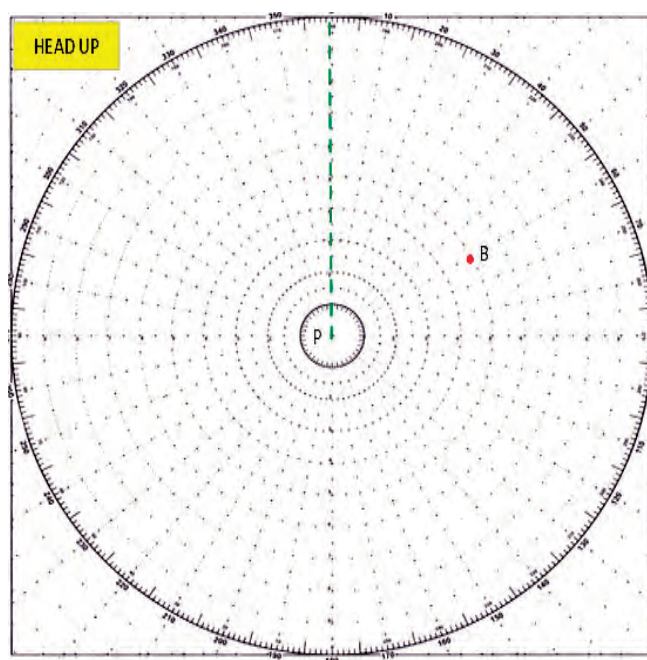


Figura 16.36 - Caso di rotte parallele, opposte o bersaglio fermo



176

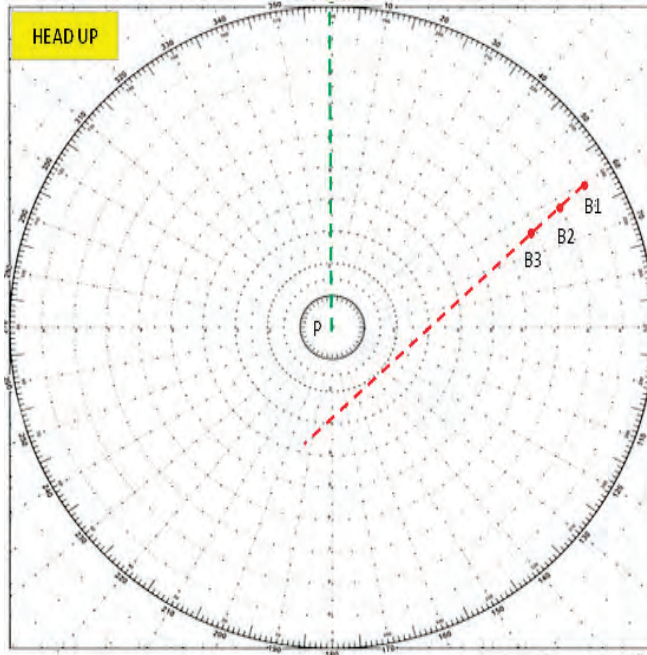
Figura 16.37 - Caso di rotte parallele con velocità uguali





In *Figura 16.38* il bersaglio mantiene sempre lo stesso rilevamento ma la distanza diminuisce: si tratta di una situazione di rotta di collisione. Occorre monitorare il bersaglio e agire seguendo le COLREG.

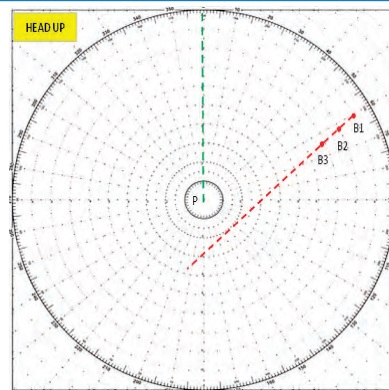
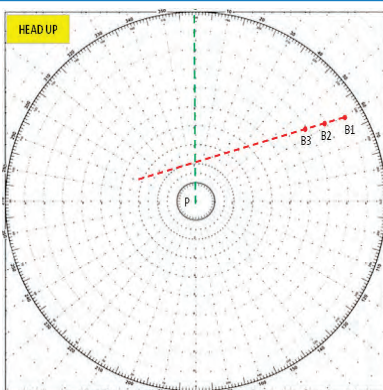
Figura 16.38 - Caso di rotta di collisione



177

Risulta evidente che la collisione esiste in quanto l'indicatrice del moto del bersaglio passa esattamente per la nave propria. Il bersaglio "guadagna" se il rilevamento aumenta con il tempo (passaggio di prora) mentre "scade" se diminuisce (passaggio di poppa). In *Figura 16.39* si riportano i due casi appena descritti.

Figura 16.39 - Passaggio di prora e passaggio di poppa



In *Figura 16.40*, infine si riporta il caso in cui il bersaglio si rilevi dritto di prora. In tal caso ci si può trovare in una situazione di rotte opposte, nella quale entrambe le navi devono accostare a dritta, oppure in una situazione di nave raggiungente, con rotte uguali e con velocità della nave propria maggiore di quella del bersaglio.

1.16.3.3 Problema preliminare

Per affrontare il problema preliminare della cinematica, ossia il plotting relativo e la costruzione del triangolo delle velocità, occorre avanzare le seguenti supposizioni:

- ▶ il moto delle navi si considera rettilineo uniforme;
- ▶ le navi, alle accostate, si considerano ruotare intorno alla verticale baricentrica, trascurando l'avanzo e lo spostamento laterale;
- ▶ la navi, passando da una velocità all'altra, assumono istantaneamente il nuovo valore.

Ad intervalli di 3, 6 o 12 minuti si misurano rilevamento e distanza; dopo due o tre battute si traccia la retta congiungente i punti trovati, ottenendo l'**indicatrice del moto relativo** del bersaglio rispetto alla nave propria. La direzione e il verso dell'indicatrice del moto (I) forniscono dati istantanei sul movimento del bersaglio e sui potenziali rischi associati.

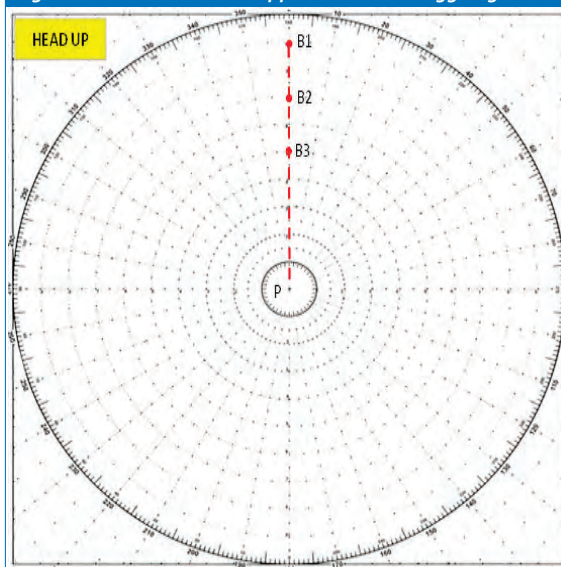
Per far questo occorre stabilire le adeguate scale delle distanze e delle velocità.

Successivamente si costruisce il triangolo delle velocità:

- ▶ si traccia il vettore VP ;
- ▶ si calcola la **velocità relativa**, V_r , in base alla distanza percorsa dal bersaglio in un dato intervallo di tempo;
- ▶ dalla cuspidi di VP si traccia il vettore VR , parallelamente all'indicatrice del moto e nello stesso verso;
- ▶ si chiude il triangolo con il vettore VB in modo che la sua cuspidi coincida con quella del vettore VR ;
- ▶ si misura, sulla scala delle velocità, il vettore VB , ottenendo la **velocità assoluta del bersaglio**, V_b ; la direzione indica invece la **Rotta del bersaglio**, R_b .

Di fondamentale importanza nello studio della cinematica è il **CPA (Closest Point of Approach)**, che rappresenta il punto in cui il bersaglio transiterà più vicino alla nave propria.

Figura 16.40 - Caso di rotte opposte o di nave raggiungente





Si ottiene tracciando dal centro del rapportatore diagramma una perpendicolare all'indicatrice del moto relativo e misurando tale segmento sulla scala delle distanze. L'ora del passaggio al CPA, indicata come **TCPA (Time to Closest Point of Approach)** è data dalla somma del tempo dell'ultima battuta del bersaglio (B_u) e del tempo necessario (dt) impiegato per percorrere lo spazio tra l'ultima battuta e il CPA alla velocità relativa, V_r :

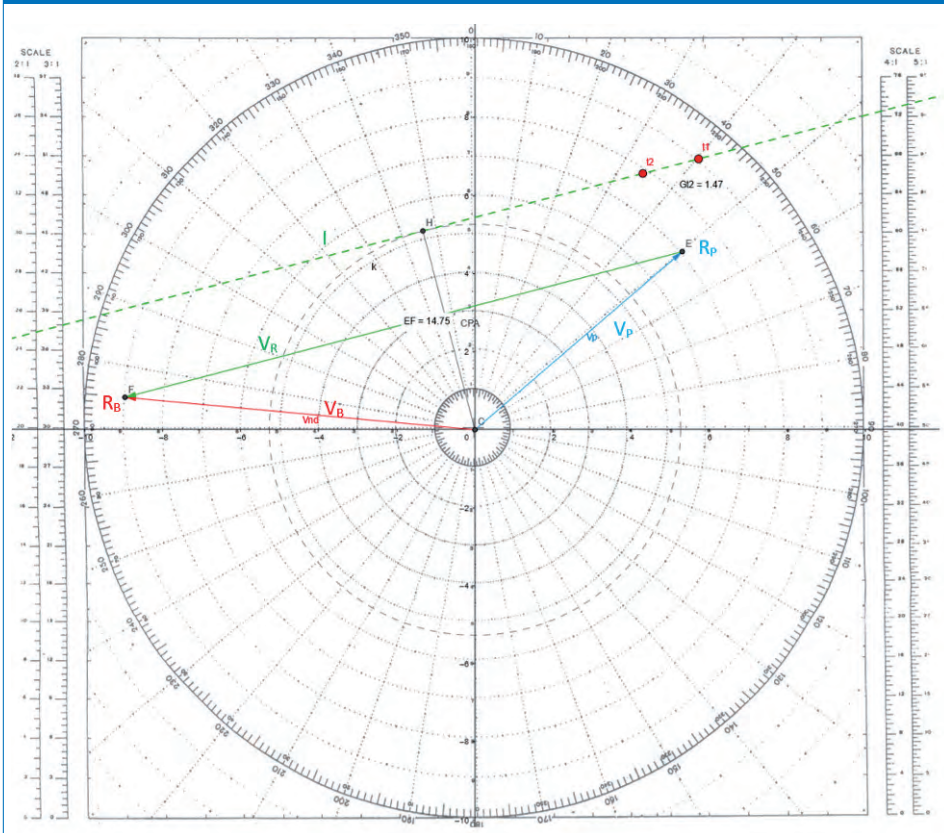
$$dt = \frac{\text{distanza tra ultima battuta e CPA}}{V_r}$$

$$TCPA = B_u + dt$$

Le disposizioni di Compagnia e del Comandante prevedono il rispetto, da parte degli ufficiali di guardia, di un CPA minimo di sicurezza nelle diverse situazioni cinematiche (rotte opposte, rotte incrociate). È possibile calcolare anche il passaggio al traverso, tracciando la perpendicolare alla rotta della nave propria, R_p , dal centro del rapportatore diagramma e sull'indicatrice del moto; come per il CPA, tale segmento viene misurato sulla scala delle distanze. L'ora del passaggio del bersaglio al nostro traverso è data dalla somma del tempo dell'ultima battuta del bersaglio (B_u) e del tempo necessario (dt) impiegato per percorrere lo spazio tra l'ultima battuta e il traverso alla velocità relativa, V_r .

Si riporta, in *Figura 16.41* un esempio sul problema preliminare.

Figura 16.41 - Risoluzione del problema preliminare di cinematica



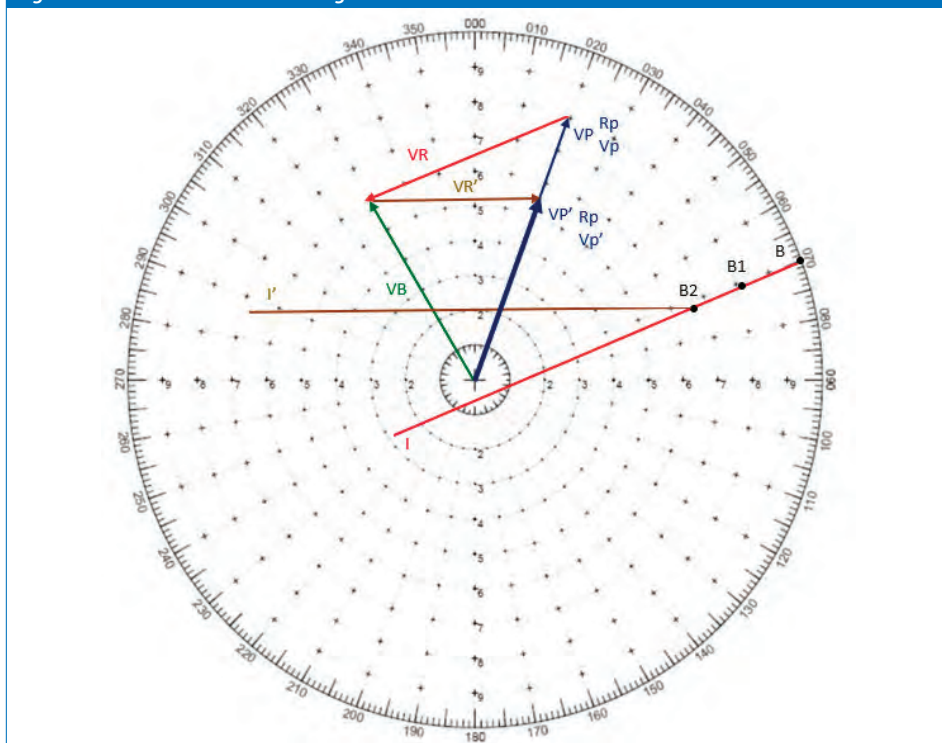
1.16.3.4 Manovra evasiva

Qualsiasi **manovra evasiva** deve essere svolta secondo quanto riportato nelle COLREG, tenendo bene a mente che il rischio di collisione esiste anche in caso di solo dubbio.

La manovra evasiva può essere costituita da una variazione di rotta (accostata), da una riduzione di velocità o da entrambe. Il plotting relativo, come detto in precedenza, ci dà indicazioni sulla situazione cinematica: se l'indicatrice del moto passa ad un CPA inferiore al limite di sicurezza stabilito oppure se passa per il centro del rapportatore diagramma, è necessario che la nave propria manovri **tempestivamente, ampiamente e con decisione** per far passare il bersaglio ad un'adeguata distanza di sicurezza. È importante, nella pianificazione e nell'esecuzione di una manovra evasiva, valutare attentamente lo scenario circostante (condizioni meteo marine, traffico, zona di mare in cui si naviga), al fine di non sfociare in un'ulteriore situazione di pericolo (es. se si manovra per un caso di rotte incrociate, occorre evitare di trovarsi, al termine della manovra evasiva, in una situazione di nave raggiungente). Per questo motivo la manovra evasiva si riterrà conclusa quando il bersaglio sarà *"past and clear"*. Occorre considerare, inoltre, le dimensioni delle navi (nave propria e bersaglio): un rilevamento in leggera diminuzione per due navi petroliere di 300 metri di lunghezza, non indica l'assenza del rischio di collisione!

In *Figura 16.42* si riporta un esempio di manovra evasiva con un bersaglio, consistente in un'accostata.

Figura 16.42 - Accostata su un bersaglio



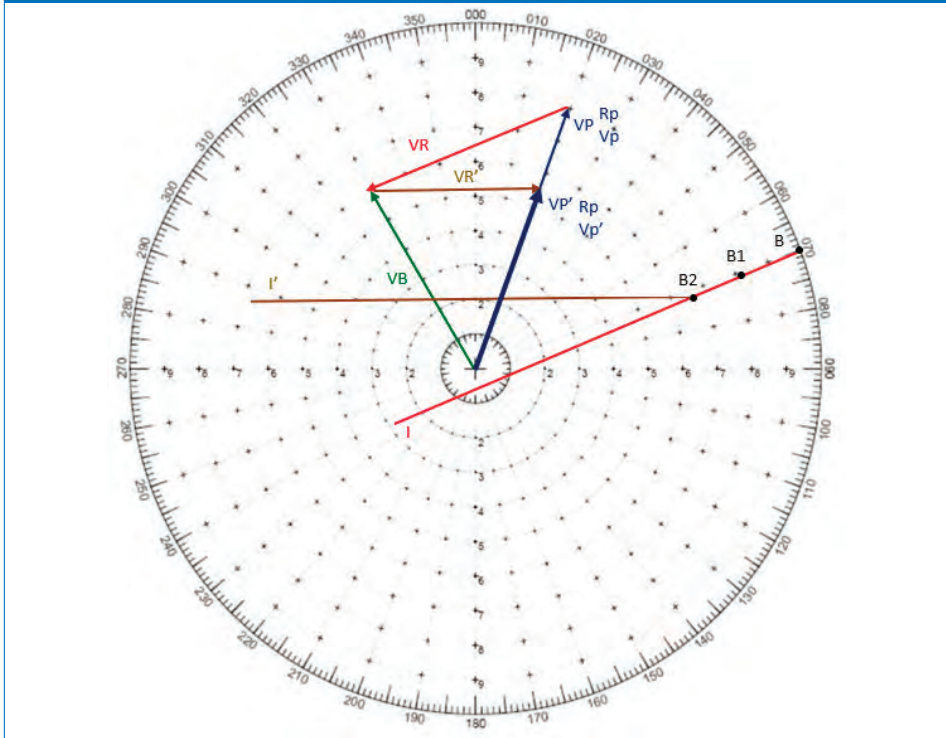


Il plotting relativo evidenzia che il bersaglio è in collisione con la nave propria (l'indicatrice del moto passa quasi per il centro del rapportatore diagramma). Una volta costruito il triangolo delle velocità, occorre manovrare per far passare il bersaglio ad un nuovo CPA da noi stabilito (nell'esempio 2 mg):

- ▶ dall'ultima battuta del bersaglio (o dall'istante in cui si intende iniziare la manovra) si traccia la nuova indicatrice del moto (I'), tangente al cerchio di 2 mg;
- ▶ si traccia la parallela a I' sul vettore VB ;
- ▶ si traccia il nuovo vettore VP' nel punto in cui I' incontra il cerchio pari alla V_p ; V_p resta invariata, mentre la direzione del vettore VP' indica la nuova rotta della nave propria, R_p' , risultato della manovra evasiva sul bersaglio.

Riferendoci allo stesso esempio, in *Figura 16.43* si mostra la manovra evasiva con la sola riduzione di velocità, individuata dal vettore VP' .

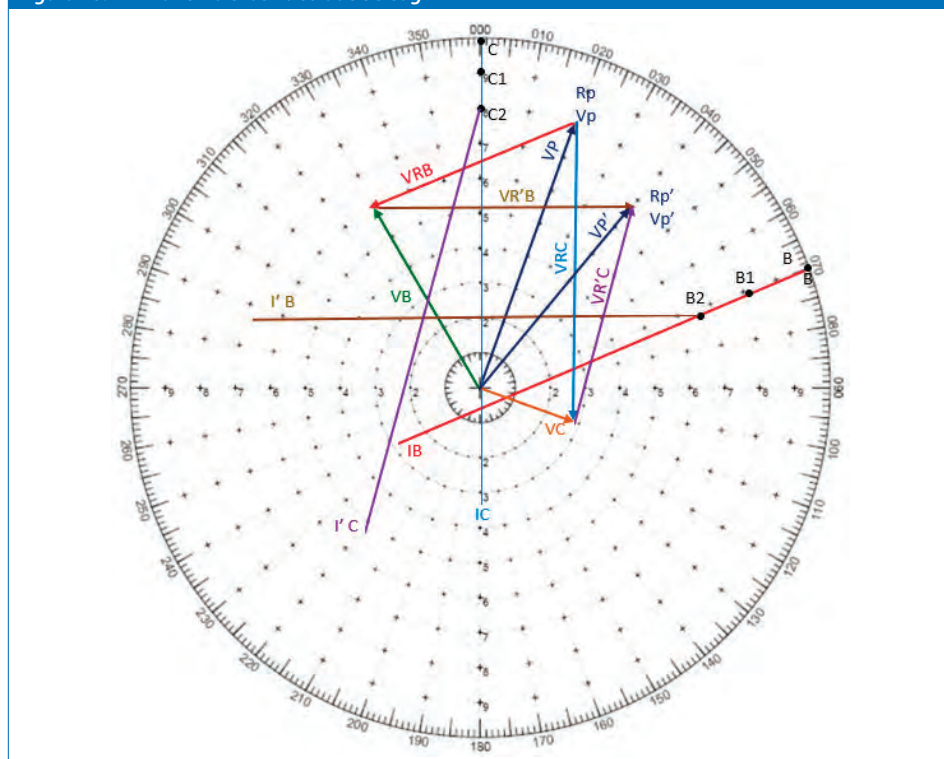
Figura 16.43 - Riduzione di velocità



In *Figura 16.44* si analizza la situazione cinematica con due bersagli sullo schermo radar.

Occorre valutare quale dei due bersagli sia più pericoloso e, di conseguenza, effettuare la manovra evasiva migliore. Dopo aver svolto le operazioni descritte in precedenza, si traccia il nuovo vettore VP' (R_p' , V_p') nel punto in cui si intersecano i vettori VR_C e VR_B : si nota come l'accostata a dritta e la riduzione di velocità da parte della nave propria, rappresenti la manovra ideale per far passare le navi B e C al CPA minimo richiesto di 2 mg:

Figura 16.44 - Manovra evasiva su due bersagli



1.16.3.5 Rendez-vous

L'uso del rapportatore diagramma permette anche la risoluzione dei problemi legati all'intercettazione di una nave in pericolo, che richiede assistenza.

In *Figura 16.45* si riporta un caso in cui la nave B, ad una data distanza (d) e su un certo rilevamento, richiede assistenza alla nave propria. A differenza dei casi analizzati in precedenza, al centro del rapportatore diagramma occorre mettere la nave B con il suo vettore VB , di lunghezza pari a V_b e direzione pari a R_b . L'indicatrice del moto I rappresenta la direzione del rilevamento della nave B passante per il centro del rapportatore diagramma. Si riporta la parallela all'indicatrice del moto sul vettore VB : il punto di incontro con il vettore VP' (di lunghezza pari a $V_{p'}$, corrispondente alla velocità massima che la nave propria può sviluppare per prestare soccorso) individua il vettore VR (e quindi la velocità relativa V_r). La direzione di VP' individua la rotta di soccorso, $R_{p'}$, da assumere per intercettare la nave B.

Per calcolare l'intervallo di tempo necessario per raggiungere la nave B è sufficiente dividere la distanza tra le due navi con la velocità relativa V_r :

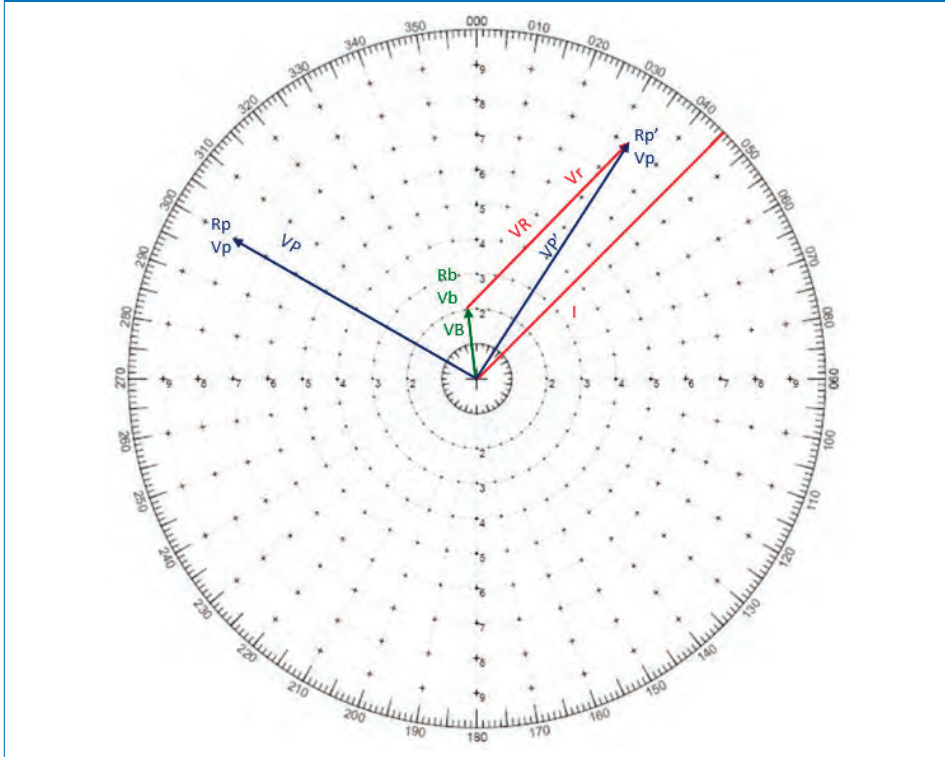
$$\Delta t = \frac{d}{V_r}$$



Tale intervallo di tempo si sommerà poi all'istante in cui inizia la manovra di soccorso per determinare l'orario di arrivo, ETA.

Occorre tenere presente che, nella realtà, la nave a cui bisogna prestare soccorso resta ferma in balia delle onde. È necessario, quindi, conoscere le condizioni meteo-marine della zona di soccorso per valutare gli effetti di vento e corrente sulla nave in avaria: alcuni studi hanno dimostrato che la nave ferma scarrocci con una velocità pari al 3% della velocità del vento.

Figura 16.45 - Rotta di intercettazione



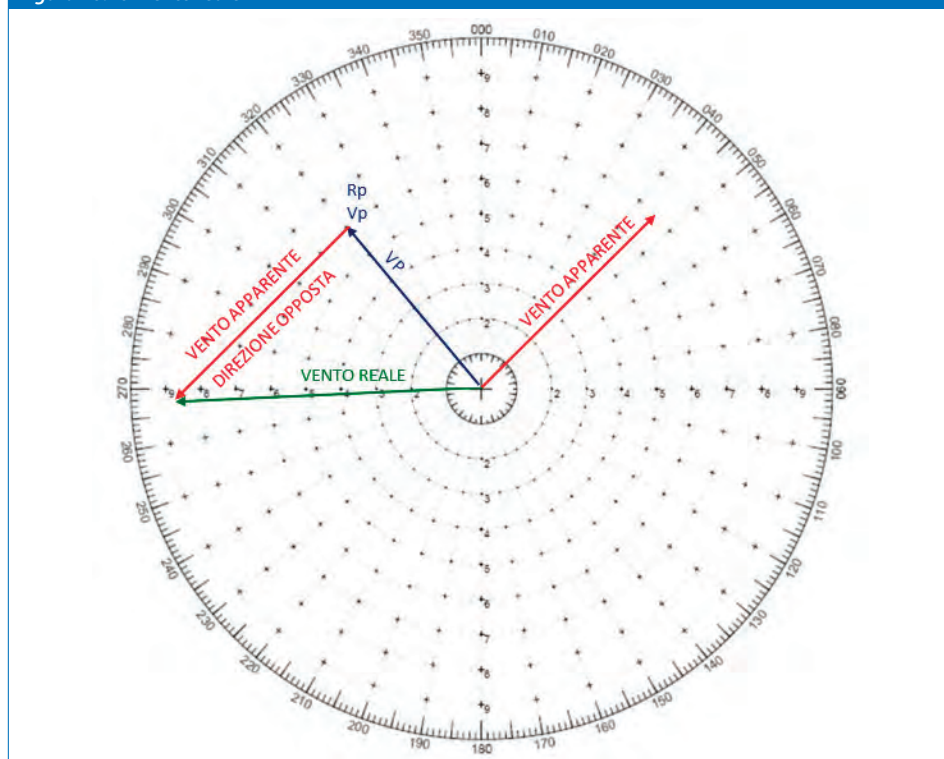
1.16.3.6 Vento reale e vento apparente

Grazie al triangolo delle velocità è possibile determinare la forza e la direzione del **vento reale** (direzione e forza vere, misurate da un punto fisso sulla terra), partendo dal **vento apparente** (direzione e forza relative, misurate dalla nave in movimento).

Si traccia VP e dalla cuspide del vettore si riporta la direzione del vento apparente, percepito a bordo, in direzione opposta, con lunghezza pari alla velocità.

Il triangolo viene chiuso ottenendo il vettore che identifica la direzione e la velocità del vento reale (Figura 16.46).

Figura 16.46- Vento reale



1.16.3.7 Problemi della corrente

Anche in questo caso è possibile risolvere i problemi della corrente conoscendo quattro dei sei elementi in gioco:

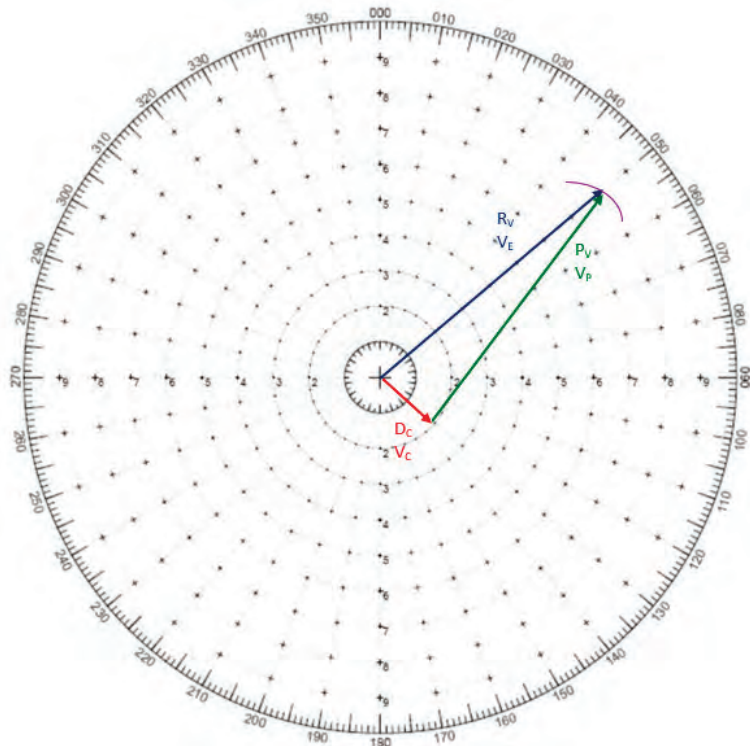
- ▶ **Rotta vera, R_v → Velocità effettiva, V_e**
- ▶ **Prora vera, P_v → Velocità propulsiva, V_p**
- ▶ **Direzione (o azimuth) della corrente, D_c → Velocità della corrente, V_c**

In Figura 16.47 è riportato il secondo problema della corrente, ovvero il più comune.

Si traccia il vettore riportante la Rotta vera, R_v di lunghezza arbitraria. Dopodiché si traccia il vettore della corrente, direzione D_c e intensità V_c , dalla cui cuspide, con apertura di compasso pari alla velocità propulsiva, V_p , si determina la lunghezza della velocità effettiva, V_e e la direzione della Prora vera, P_v .



Figura 16.47- Problema della corrente

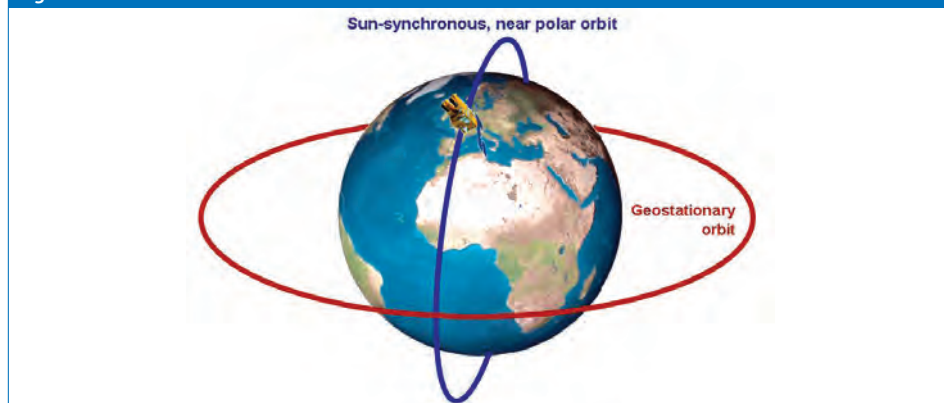


1.17 NAVIGAZIONE SATELLITARE

Esistono due tipi di satelliti (Figura 17.1):

- **geostazionari** sono collocati su un'orbita situata all'incirca sullo stesso piano equatoriale della Terra e orbitano in sincronia con la rotazione terrestre (24 ore); hanno sotto di sé sempre lo stesso scorcio della Terra, sono collocati a circa 36.000 km dalla superficie terrestre, la loro orbita è circolare (inclinazione dell'orbita rispetto al piano equatoriale 0°);
- **polari** la loro orbita non sempre è circolare, spesso è ellittica. Il piano dell'orbita è inclinato rispetto a quello equatoriale, fino ad essere ortogonale, (a 90°). Sono ad una quota di 800/900 km. La velocità non è costante ma varia in funzione della distanza dalla Terra ed è molto elevata per compensare in modo centrifugo l'attrazione terrestre. La rotazione è asincrona rispetto a quella terrestre. In conseguenza delle basse distanze dalla superficie terrestre, sono possibili scansioni più approfondite e dettagliate coprendo tutto il globo per effetto dei vari passaggi che interessano spicchi diversi della Terra. Sono lo strumento ideale per effettuare osservazioni ravvicinate e ricerche di ogni genere; sono utilizzati principalmente dai servizi meteorologici mondiali.

Figura 17.1 - Orbite dei satelliti



1.17.1 GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS) è un sistema di posizionamento globale con riferimento ai sistemi di geo-radiolocalizzazione e navigazione terrestre, che utilizzano una rete di satelliti artificiali in orbita.

I sistemi sono dedicati alla fornitura di un servizio di posizionamento geo-spaziale a copertura globale che permette a piccoli ed appositi ricevitori elettronici di determinare le loro **coordinate geografiche** (ϕ , λ ed altitudine) su un qualunque punto della superficie terrestre, con un errore di pochi metri, elaborando segnali a radiofrequenza trasmessi in linea di vista da tali satelliti. I principali GNSS sono il NAVSTAR-GPS (Dipartimento di Difesa USA), GLONASS (Russia), GALILEO (UE), ecc.



La **SOLAS al cap. V reg. 19** prevede che ogni nave, superiore alle 150 tonnellate di stazza lorda, sia provvista di un adeguato GNSS, al fine di aggiornare costantemente e automaticamente la posizione.

1.17.2 NAVSTAR GPS

NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Position System) è un sistema di posizionamento globale, continuo e tridimensionale, basato sulla ricezione a terra di segnali radio *UHF (Ultra High Frequency)* emessi da satelliti. Il sistema ha tre componenti:

- ▶ segmento spaziale
- ▶ segmento di controllo
- ▶ segmento utente

1.17.2.1 Segmento spaziale

È costituito dalla costellazione di circa 31 satelliti (24 in uso, 7 di riserva - per dati aggiornati consultare www.gps.gov) che orbitano intorno alla Terra su 6 orbite con inclinazione $i=55^\circ$. Le orbite sono circolari alla quota di 20.200 Km; il periodo T è 12h con $v=3.9$ km/s.

Ogni satellite è visibile per circa 5° e, da ogni parte della Terra, sono sempre visibili 4 satelliti contemporaneamente con $h>5^\circ$ sull'orizzonte.

I satelliti GPS trasmettono informazioni agli utenti, elaborano i dati, conservano il tempo e registrano i messaggi mandati dal segmento di controllo.

Il datum di riferimento del GPS è il WGS 84.

I satelliti trasmettono con continuità opportuni segnali codificati. I ricevitori, mediante un proprio orologio interno sincronizzato con quello dei satelliti, misurano la differenza di tempo tra l'istante di ricezione e quello di trasmissione. A tale differenza di tempo corrisponde la **distanza (range)** tra ricevitore e satellite.

Si ricava un luogo di posizione sferico avente per centro la posizione del satellite all'istante dell'osservazione e per raggio la distanza satellite-ricevitore. Teoricamente l'intersezione di tre sfere determina la posizione del ricevitore (lat, lon, quota).

I ricevitori di bordo, però, non dispongono di orologi atomici come i satelliti e le stazioni di controllo. Questo implica che la differenza di tempo misurata sia affetta da un **errore nei tempi**. La distanza tra ricevitore e satellite è quindi una **pseudo distanza (pseudo range)**.

L'errore nei tempi è risolto (matematicamente) dal sistema mediante l'osservazione di un ulteriore satellite (Figura 17.2).

Quindi, per il PN, occorrono almeno **4 satelliti** (è per questo motivo che, da ogni luogo della terra, è possibile «osservare» almeno 4 satelliti).

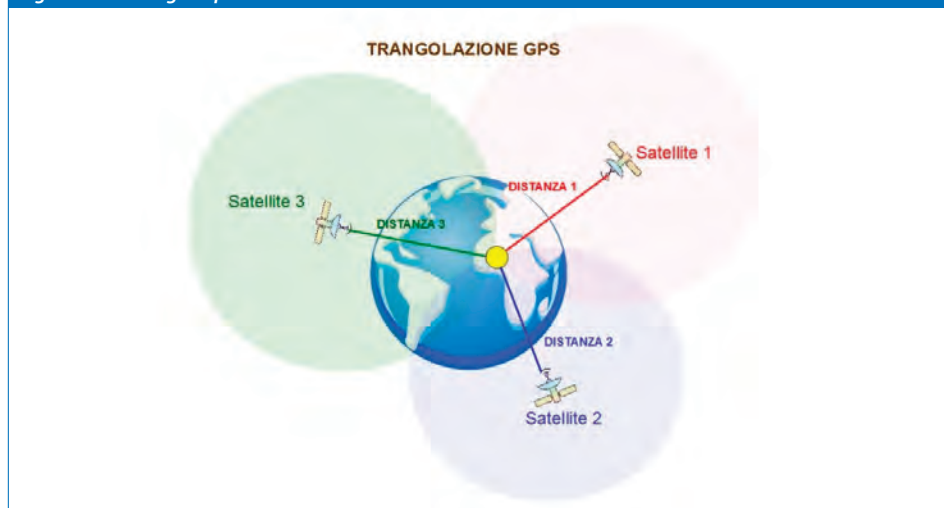
$$R = c \times \Delta t$$

$c=300.000$ m/s (velocità della luce)

d_1, d_2, d_3 sono tutte «pseudo distanze»

Mediante la risoluzione di complicati sistemi di equazioni, il GPS fornisce la posizione della nave (e l'altitudine), con l'osservazione di 4 satelliti.

Figura 17.2 - Luogo di posizione GPS



1.17.2.2 Frequenze in uso

I satelliti trasmettono su due **portanti** distinte, multiple di una **frequenza fondamentale di 10,23 MHz**:

$$L1 = 154 \times f_0 = 1575,42 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = 19 \text{ cm}$$

$$L2 = 120 \times f_0 = 1227,60 \text{ MHz} \rightarrow \lambda = 24 \text{ cm}$$

Entrambe le frequenze sono militari, ma L1 è fornita per gli scopi civili.

I codici che modulano le portanti sono sequenze binare deterministiche **PRN (Pseudo Random Noise)**. Essi sono:

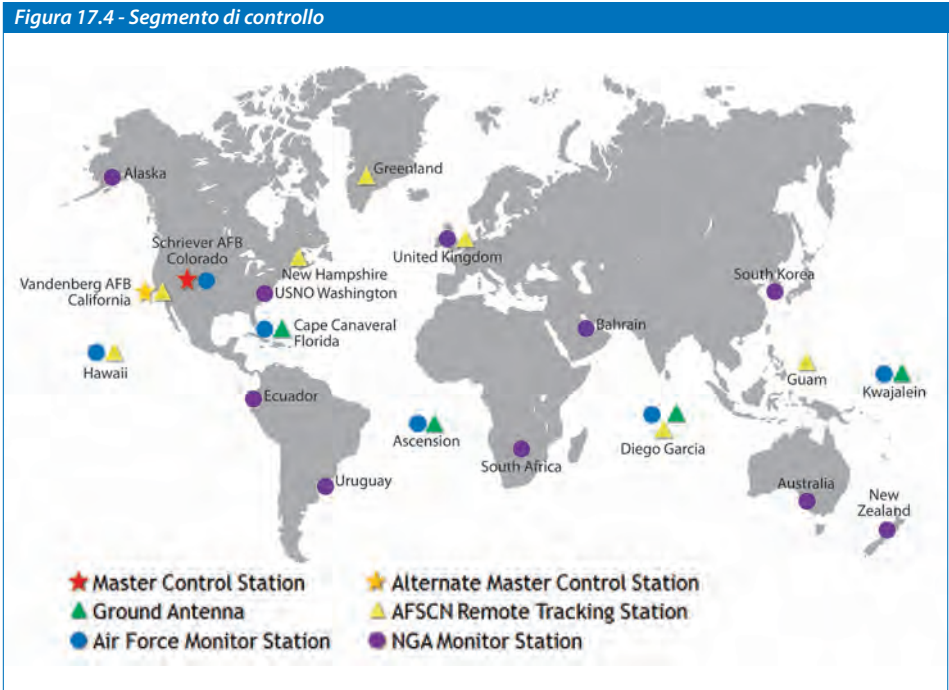
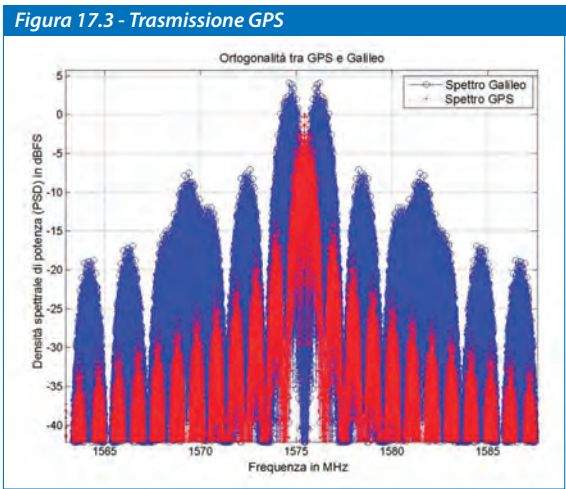
- ▶ **Codice P (Protected, Precision)** - modula L1 ed L2, permettendo di correggere molti ritardi di propagazione. Consente una maggiore precisione del ranging e, per questo motivo, è criptato ed utilizzato solamente dagli utenti autorizzati dagli USA. Il criptaggio è effettuato mediante l'inserimento di un errore, **AS (Anti-Spoofing)**, che può essere decodificato (e quindi annullato) solo da utenti autorizzati dal Dipartimento di Difesa degli USA (**PPS - Precision Position System**).
- ▶ **Codice C/A (Coarse Acquisition - Acquisizione Grossolana)** - trasmesso ogni millisecondo, modula solo L1. Il codice C/A può essere decodificato (riconosciuto) da ogni ricevitore, anche non autorizzato. La misura di distanza fatta utilizzando tale codice ha un'accuratezza minore.
- ▶ **Codice D (Data Navigation)** - modula entrambe le portanti. Ha lo scopo di inviare al ricevitore l'insieme di informazioni utili alla determinazione della posizione (es: effemeridi satelliti, tempo di invio del segnale, ecc.)



Il sistema GPS ha introdotto un'innovazione nella tecnologia dei sistemi di radio-posizionamento. Tutti i satelliti modulano due portanti con i codici descritti. Tutti i satelliti trasmettono sullo stesso canale di frequenze e, ciascun ricevitore, è in grado di discriminare i messaggi relativi al satellite di interesse (Figura 17.3).

1.17.2.3 Segmento di controllo

Il segmento di controllo è costituito da cinque stazioni: una è master (Colorado Spring) le altre sono subordinate (*slaves*). Le stazioni subordinate, situate sulla fascia equatoriale a circa 90° di longitudine di distanza fra di loro, raccolgono le varie informazioni riguardanti il satellite (effemeridi, tempo, ecc.) e le inviano alla master che provvede all'eventuale correzione dei dati (Figura 17.4).



1.17.2.4 Segmento utenti

Il segmento utenti è costituito dagli innumerevoli ricevitori GPS (Figura 17.5).

1.17.2.5 Errori nel sistema

I principali errori del sistema sono:

- ▶ **S.A. (Selective Availability)** la Selective Availability (disponibilità selettiva) consiste nell'introduzione di appositi errori nelle effemeridi dei satelliti per causare un errore sulla posizione (in generale sui 200-300 m). Tale degradazione agisce sul codice C/A (è stata disattivata dagli USA nel 2000)
- ▶ **errori sugli orologi atomici dei satelliti** gli orologi atomici di bordo sono leggermente meno precisi di quelli installati alla Master Control Station. Questo induce la possibilità di errori nella misurazione della distanza;
- ▶ **errori sulle effemeridi dei satelliti** la non perfetta conoscenza dei **parametri orbitali** fa sì che le effemeridi dei satelliti non siano accuratamente precise;
- ▶ **errori di propagazione atmosferica** causato dalla variazione di velocità di propagazione e dagli effetti della rifrazione dovuti all'attraversamento dell'atmosfera;
- ▶ **errori dovuti al Multipath** prodotti dai percorsi multipli del segnale ricevuto. Tale errore si manifesta particolarmente in presenza della superficie marina (molto riflettente alle onde e.m.). L'errore si riduce adottando **antenne direzionali e schermate**. Se tali provvedimenti non fossero adottati, il multipath causerebbe errori sulla posizione superiori ai 50 m (Figura 17.6);
- ▶ **errori del ricevitore** causati principalmente dal rumore interno del ricevitore e dalle imprecisioni del circuito correlatore;
- ▶ **errori dovuti al relativismo** gli orologi a bordo dei satelliti vengono corretti per gli effetti della **teoria della relatività** che porta a un anticipo del tempo sui satelliti. L'osservazione di tale anticipo è considerata una verifica della teoria di Einstein in un'applicazione al mondo reale. L'anticipo è l'effetto combinato di due fattori: la velocità relativa di spostamento rispetto a terra e la forza di attrazione gravitazionale. Per ovviare alla differenza tra orologi a bordo e a terra, gli orologi sul satellite sono corretti per via elettronica. Senza queste correzioni, il sistema GPS genera errori di posizione dell'ordine dei chilometri su un giorno di utilizzo (Figura 17.7).

Figura 17.5 - Ricevitore GPS



1.17.2.6 Accuratezza della posizione

Attualmente i livelli di precisione sul ranging sono molto elevati. La fonte ufficiale (www.gps.gov) afferma che il sistema ha un errore sul ranging di 7,8 m nel 95% dei casi (Figura 17.8).

$$\mathcal{E}R_{95\%} = \mathcal{E}R_{95\%} \times HDOP$$



Figura 17.6 - Multipath

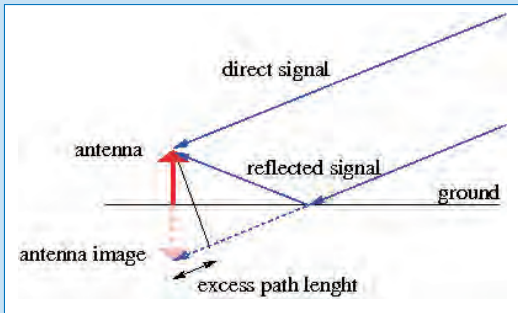
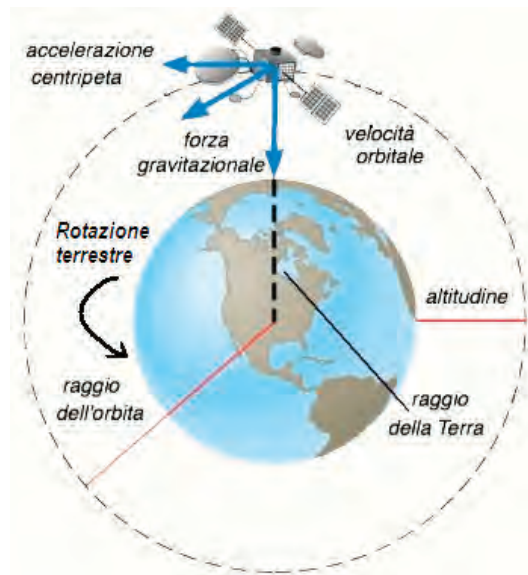


Figura 17.7 - Relativismo nella tecnologia GPS



Un parametro fondamentale per la precisione è l'HDOP (Horizontal Dilution of Precision), indice di espansione orizzontale della precisione, che tiene conto della disposizione geometrica dei satelliti.

Valori di HDOP=1-2 sono da ritenersi ottimi; superiori al 5 indicano errori rilevanti nella posizione fornita dal sistema. Oltre il 10, il sistema va automaticamente in DR (*dead reckoning*).

La configurazione di satelliti ideale è: uno allo Zenit e gli altri tre, sull'orizzonte, sfasati di 120° tra loro (valore HDOP=1.6)

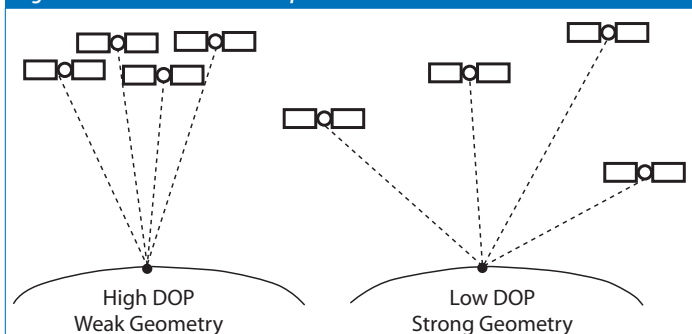
Il **GDOP (Geometrical Dilution of Position)** è l'indice globale che considera il parametro tridimensionale (PDOP) e temporale (TDOP). È quindi un valore che considera 4 dimensioni, poco pratico per una stima diretta della precisione del sistema (offerta, invece da HDOP). Tutti i valori di Dilution of Position sono visualizzabili sul ricevitore GPS (Figura 17.9).



Il sistema GPS è in grado di immagazzinare in memoria i dati della posizione della nave: l'operatore può impostare i secondi di registrazione. Utilizzando la **retta di regressione**, il sistema è in grado di calcolare il valore di COG e SOG (Figura 17.10). L'asservimento alla girobussola e al solcometro rende il sistema capace di calcolare il *drift*.

Geometricamente la retta di regressione è definita come la retta per la quale la somma dei quadrati delle distanze tra essa e i punti è minima.

Figura 17.8 - Accuratezza della posizione



Qualsiasi sistema di navigazione integrata, in caso di perdita del sensore della posizione, lavora in Dead Reckoning (DR): la posizione è stimata sulla base degli input ricevuti dalla girobussola (Heading) e dal sensore di velocità (SOG) selezionato.

Figura 17.9 - GDOP

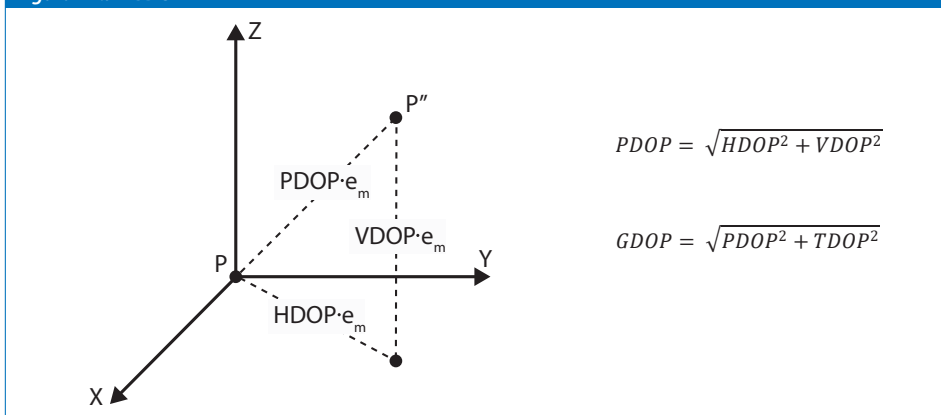
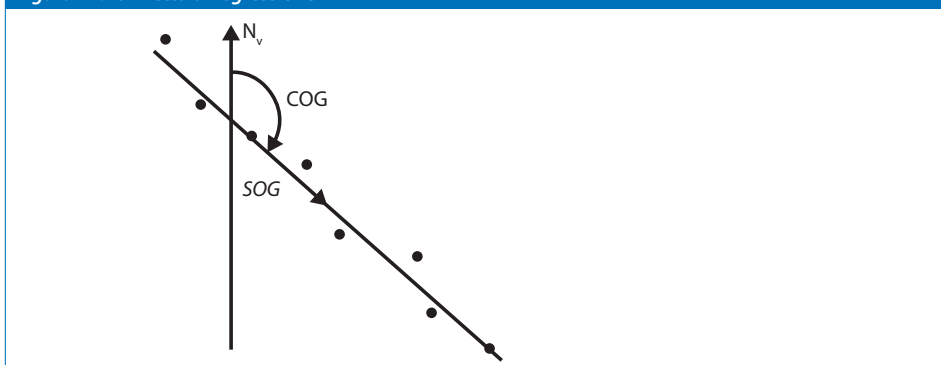


Figura 17.10 - Retta di regressione





1.17.2.7 Differential GPS

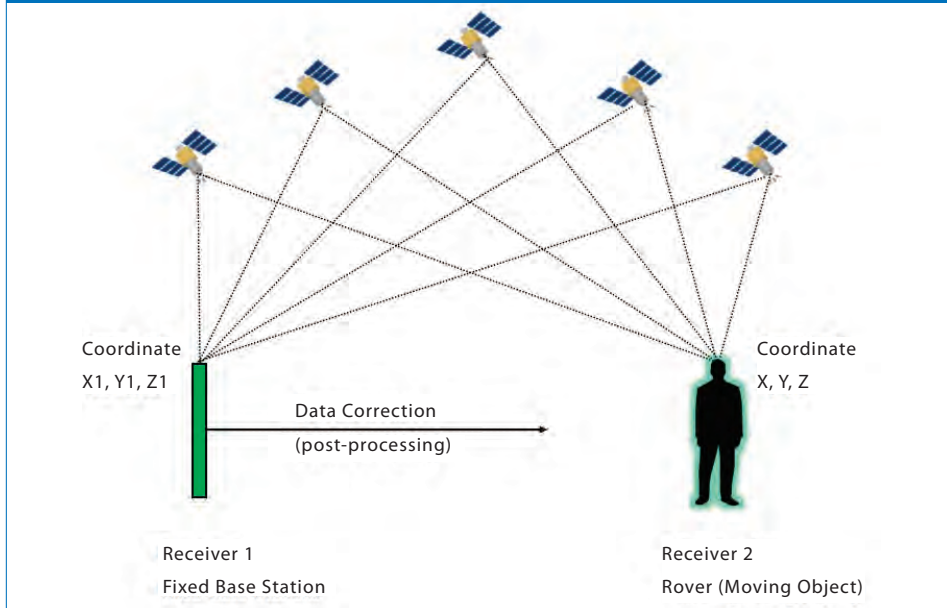
La tecnologia **DGPS (Differential GPS)** ha permesso di fornire un servizio di alta precisione anche agli utenti non autorizzati dal governo USA ad utilizzare il codice P (Figura 17.11).

Un ricevitore posto in una **stazione di riferimento** di coordinate geografiche ed altezza perfettamente note, confronta con continuità la sua posizione con quella calcolata.

Da tale confronto si possono determinare gli errori sistematici ed inviare le **correzioni** al ricevitore dell'utente. Per poter utilizzare tale potenzialità il ricevitore GPS deve essere dotato di opportuno optional: un ricevitore supplementare funzionante nella banda della stazione DGPS. Le correzioni vengono inviate ad intervalli variabili a seconda della distanza tra il ricevitore e la stazione.

Spesso il sistema DGPS è organizzato in modo che le stazioni trasmettano i dati ad una stazione di controllo che li elabora e spedisce le correzioni agli utilizzatori. Tale sistema prende il nome di **WADGPS (Wide Area DPGS)**. Per info a riguardo consultare ALRS vol 2.

Figura 17.11 - DGPS



1.17.3 GLONASS

I satelliti del GLONASS trasmettono messaggi di tipo PRN (Figura 17.12). A differenza del GPS, i satelliti hanno una frequenza dedicata e non trasmettono tutti sullo stesso canale.

Inoltre, non sono regolati sull'UTC, ma sul tempo di Mosca. Il datum di riferimento non è il WGS84 ma il PZ-90.02.

Figura 17.12 - GLONASS

	GLONASS	G.P.S.
Numero di satelliti	24	30
Numero di piani d'orbita	3	6
Inclinazione orbita	64°8'	55°
Altitudine	19.140 Km	20.180 Km
Durata dell'orbita	11h 15m	11h 58m
Base di lancio	Baikonur-Plesetsk	Cape Canaveral
Data del primo lancio	02/10/82	22/02/78
Numero di satelliti per lancio	1/3	1
L1	1602+K*0,5626	1575.42
L2	1246+K*0,4375	1227,60
Precisione orologio	1*10 ⁻¹³	1 sec/300.000 anni
Datum	PZ-90.02	WGS-84



1.17.4 EGNOS

Il sistema EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) è un sistema satellitare SBAS (Satellite Based Augmentation System). Il sistema è gestito dalla ESA, Eurocontrol e dalla commissione europea (Figura 17.13).

Il sistema ha lo scopo di potenziare l'affidabilità dei sistemi GPS e GLONASS. Il sistema si compone di:

- ▶ 6 satelliti geostazionari (di cui tre in affitto al sistema INMARSAT);
- ▶ stazioni a terra;
- ▶ dati GNSS

Nel sistema EGNOS le correzioni differenziali sono inviate sfruttando i satelliti geostazionari del sistema. I principali servizi offerti dal sistema sono:

- ▶ miglioramento della precisione rispetto all'utilizzo singolo del GPS o GLONASS;
- ▶ aumento della disponibilità dei dati;
- ▶ assicurazione di integrità e continuità dei dati in certi livelli di utilizzo.

Per **integrità** si intende la capacità del sistema di fornire avvertimenti in un tempo determinato all'utente circa l'affidabilità dei dati. Essa costituisce anche una tutela giuridica.

Altri sistemi SBAS che funzionano in modo analogo sono:

- ▶ WAAS (copertura USA)
- ▶ MSAS (copertura Giappone ed oriente)

I sistemi SBAS sono particolarmente utilizzati nella navigazione aerea e nelle utilizzazioni professionali ad alta precisione (off-shore, dove si richiede precisione milli/centimetrica per il posamento di cavi, ecc.) (Figura 17.14).



Figura 17.13 - EGNOS

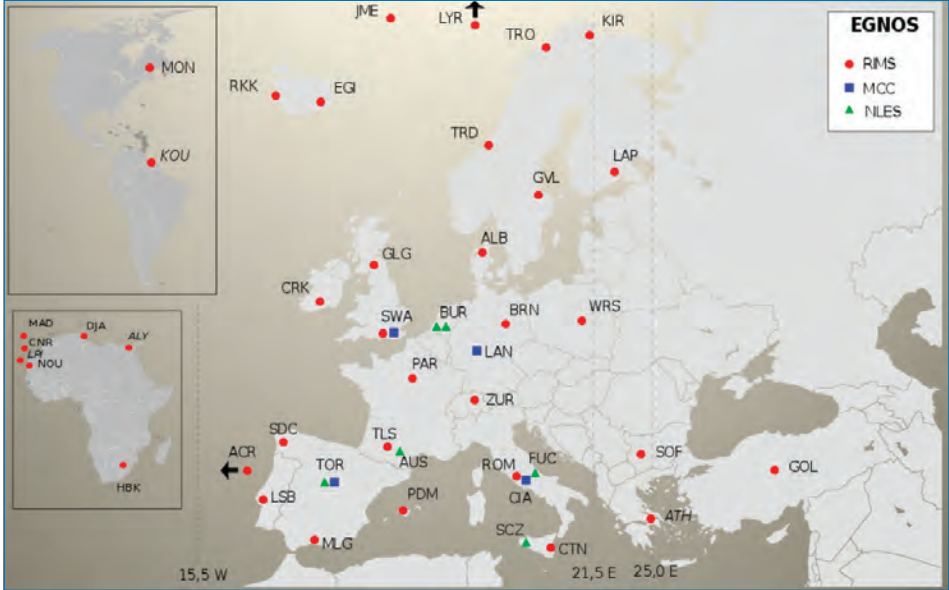
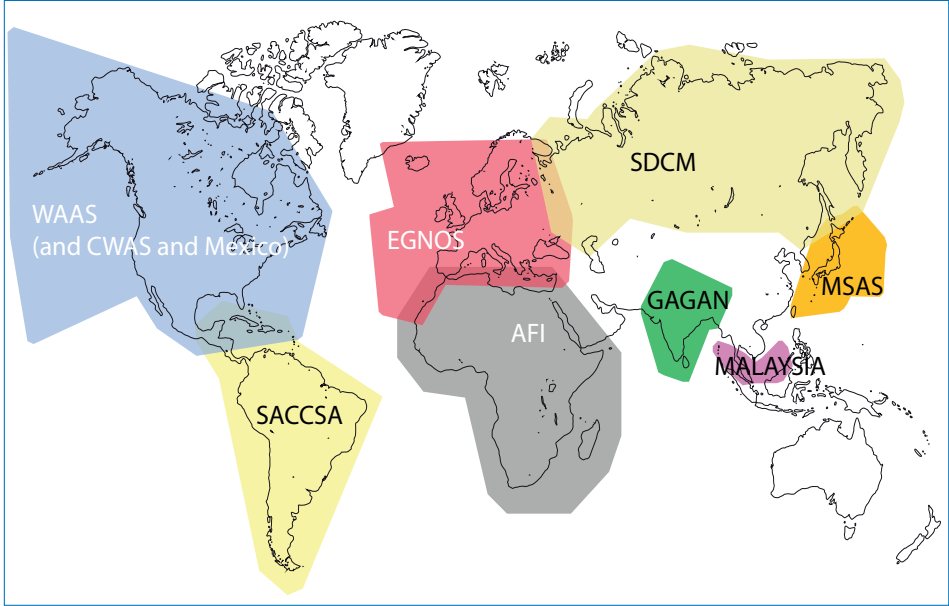


Figura 17.14 - SBAS





1.17.5 GALILEO

Il GALILEO è un sistema di posizionamento globale in corso di sviluppo dall' UE. Il sistema nasce esclusivamente per scopi civili e commerciali (*Figura 17.15*). I segnali inviati dai satelliti saranno notevolmente più complessi rispetto a quelli GPS e GLONASS, anche per questo il sistema garantirà elevate precisioni sulla posizione.

Figura 17.15 - GALILEO

	GALILEO 	GPS 	GLONASS 
Orbital planes	3	6	3
Number of Satellites (nominal satellites)	30	24 (32)	24 (29)
Altitude	23222 Km	20160 Km	19100 Km
Orbit inclination	56 degrees	55 degrees	65 degrees
Accuracy (95%)	< 4 metros	~ 5-10 metros	~10-15 metros





1.18 BNWAS

A causa dello sviluppo delle navi aventi sul ponte di comando una sola persona (**OMBO, One Man on the Bridge Only**), al fine di garantire la sicurezza per le persone e il carico a bordo, è stato istituito il **BNWAS (Bridge Navigational Watch Alarm System)**.

Tale sistema, facente parte della strumentazione di plancia, monitora le attività sul ponte ed attiva un allarme in caso di inoperatività dell'ufficiale di guardia (colto da sonno o da male). Il BNWAS consiste in un allarme periodico da disattivare a dimostrazione dell'operatività dell'ufficiale di guardia; le sue caratteristiche sono riportate nella **Risoluzione MSC 128(75)**. Il BNWAS rimane dormiente per un periodo che va da 3 a 12 minuti, dopodiché attiva una segnalazione visuale che, se ignorata, si trasforma in un allarme sonoro (Figura 18.1). Gli stadi del sistema sono i seguenti:

- ▶ **primo stadio (first stage)** viene attivato un allarme sul ponte dopo 15 secondi dall'indicazione visuale;
- ▶ **secondo stadio (second stage)** viene attivato un allarme nella cabina del comandante o di un altro ufficiale dopo 15 secondi dall'allarme di primo stadio;
- ▶ **terzo stadio (third stage)** viene attivato un allarme in altre zone, dove si trovano altri componenti dell'equipaggio in grado di intraprendere azioni correttive, dopo 90 secondi (estensibili fino a 3 minuti) dall'allarme di secondo stadio.

Figura 18.1 - BNWAS

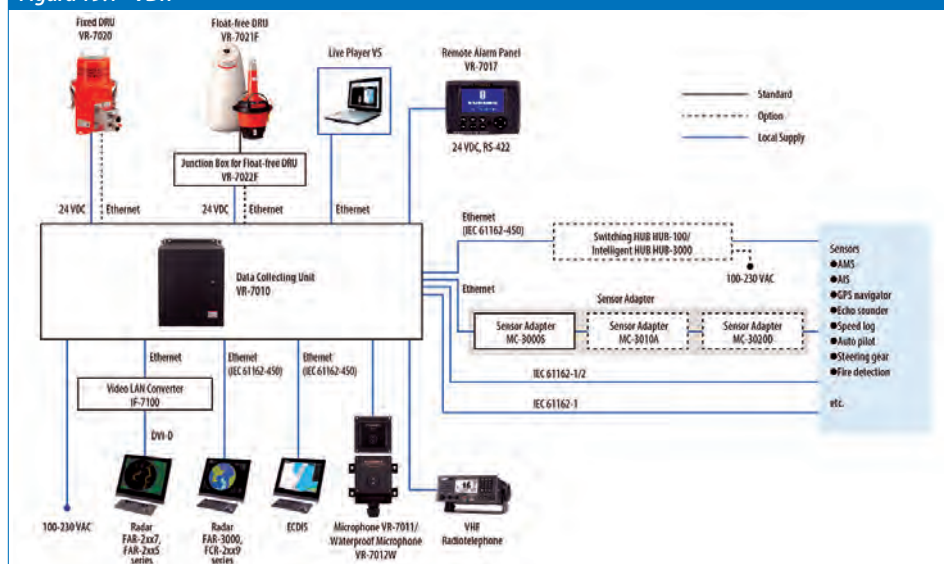


Il pulsante di **reset** deve essere accessibile solo dal ponte, associato a vari strumenti e postazioni (conning display, alette). Il sistema permette altresì di attivare allarmi del secondo e terzo stadio (**emergency call**).

1.19 VDR

Il **Voyage Data Recorder (VDR)** è la scatola nera della nave. È il registratore dei dati di navigazione, dispositivo collegato ai microfoni sul ponte di comando e a tutti i più importanti sensori di navigazione (Figura 19.1).

Figura 19.1 - VDR



Si resetta ogni 48 ore ed è indispensabile per ricostruire i sinistri; è imposto dal cap. V reg. 20 della SOLAS a tutte le navi, passeggeri e da carico, con Stazza Lorda maggiore alle 3.000 t, costruite a partire dal 1° luglio 2002. I performance standard del VDR sono riportati nella circolare MSC 333(90). Essa prevede che sia composto da:

- ▶ **supporto di registrazione fisso** capsula fissa in grado di resistere al fuoco, pressioni subacquee e shock meccanici per un lungo periodo, garantendo il mantenimento dei dati per 2 anni dall'arresto delle registrazioni. Deve essere di colore ad alta identificabilità, costruito con materiale retroriflettente e dotato di dispositivo di individuazione subacquea (Figura 19.2);
- ▶ **supporto di registrazione a galleggiamento libero** capsula galleggiante capace di trasmettere un segnale di individuazione per almeno 48 ore distribuite in un arco di 7 giorni. Deve essere capace di mantenere i dati per 6 mesi dopo l'arresto delle registrazioni;
- ▶ **supporto di registrazione a lungo termine** sistema interno alla nave, accessibile ma estraneo da ogni manipolazione, capace di conservare i dati per 720 ore (30 giorni).

Figura 19.2 - Supporto di registrazione fisso del VDR





1.20 AIS

Acronimo di **Automatic Identification System**, l'AIS è un ricetrasmittitore che trasmette e riceve informazioni in forma digitale sulle frequenze VHF 161,975 Mhz e 162,05 Mhz (canali 87 e 88) e, sulle navi moderne, via satellite (a lunga distanza) (Figura 20.1). L' AIS è imposto dalla SOLAS al Cap. V. e dalla IMO Resolution A.1106(29) a tutte le navi costruite a partire dal luglio 2002, divise in due categorie:

- ▶ A: navi o pescherecci che hanno l'obbligo imposto dalla SOLAS
- ▶ B: navi non soggette alla SOLAS

Il ricevitore è formato da una parte che riceve e memorizza informazioni (dati) provenienti dagli AIS delle altre navi e da un'altra parte dotata di un piccolo schermo sul quale appaiono le stesse navi sotto forma di punti neri o luminosi, posizionate rispetto alla nostra nave (al centro dello schermo), in base alle coordinate GPS inviate. Plottando su una nave è possibile osservare i dati forniti dal suo AIS ovvero:

- ▶ **messaggio STATICO** numero IMO, MMSI, tipo di nave, lunghezza, larghezza, stazza, posizione antenna;
- ▶ **messaggio DINAMICO** posizione, ora UTC, COG, SOG, HDG, stato di navigazione, ROT, (opzionale angolo di sbandamento trasv/long);
- ▶ **Voyage Related** immersione, tipo di carico, provenienza e destinazione, ETA, piano di viaggio con WPs, ecc.;
- ▶ **Short Related Safety Messages** invio di messaggi testuali ad altre navi o stazioni VTS costiere.

L'AIS deve essere asservito con:

- ▶ antenna VHF (la sua portata, essendo in funzione della propagazione VHF, si aggira intorno alle 30 miglia)
- ▶ antenna GPS
- ▶ unità elettronica (PC)
- ▶ sensori di navigazione (gyro, GPS, speed log)

Figura 20.1 - AIS



Per gentile concessione di Wärsilä SAM Electronics



Sulle navi moderne l'AIS è integrato al Radar ARPA, pertanto è possibile ricavare i dati AIS delle navi anche dalla schermata radar, plottando appositamente i targets desiderati. Però è necessario che:

- ▶ la differenza di velocità tra quella fornita dall'AIS e quella desunta dal Radar ARPA sia di 0,2 nodi;
- ▶ la differenza di rotte e rilevamenti (AIS – RADAR ARPA) sia pari a 3°.

Se la distanza tra le due navi è minore o uguale a 50 metri, si pone un unico bersaglio sulla linea che congiunge i due (Radar ARPA e AIS); se la distanza fra i due targets è maggiore di 50 metri, l'unico bersaglio si posiziona su quello dell'ARPA.

L'AIS non è uno strumento per l'anticollisione.

Prima di tutto, in virtù del suo nome: è un sistema di **identificazione**.

A bordo i bersagli vengono plottati con il Radar Arpa, più affidabile dell'AIS nello studio della situazione cinematica perché mostra la situazione reale dei targets.

L'AIS, infatti, potrebbe fornire informazioni errate, per la non perfetta calibrazione dei sensori di posizione, velocità e prora (delle altre navi).

L'AIS è molto importante a bordo, specie durante le manovre, in quanto, conoscendo il nome della nave con cui si vuole comunicare per la sicurezza della navigazione, la si può chiamare senza ambiguità e chiarire le intenzioni reciproche. Altresì è possibile riconoscere subito la manovra che sta effettuando un'altra nave, in quanto sull'AIS sono segnati i dati di velocità, ROT, ecc.

È possibile vedere bersagli piccoli, spesso non battuti dai radar a causa dei clutters «sea» e «rain», o semplicemente coperti dalla costa; con l'AIS si possono inviare informazioni meteo marine come correnti, venti, cattivo tempo, visibilità, ecc.; è utilissimo nelle operazioni SAR; permette di alleggerire il traffico VHF e le informazioni ricevute per iscritto, senza disturbo, si capiscono meglio.



1.21 LRIT

La regola 19-1 del capitolo V della SOLAS, introdotta con risoluzione IMO MSC.202 del 2006, stabilisce che le navi soggette alla convenzione stessa devono essere dotate di apparato satellitare denominato **Long-Range Identification and Tracking (LRIT)** in grado di trasmettere automaticamente le seguenti informazioni:

- ▶ identità
- ▶ posizione (latitudine e longitudine)
- ▶ data e orario

Contrariamente all'AIS, le informazioni LRIT sono soltanto **identità della nave, posizione** e relative **data e ora**: il sistema è interfacciato solo con il GNSS e non con tutta la sensoristica di bordo. Le informazioni trasmesse non vengono diffuse a chiunque sia in grado di riceverle, ma sono molto più riservate e vengono rese disponibili solo a chi ne ha diritto, ovvero:

- ▶ ciascuno Stato costiero qualora la nave si trovi entro 1000 mg dal proprio litorale;
- ▶ lo Stato di bandiera (MRCC);
- ▶ qualsiasi Stato se la nave è diretta verso un suo porto o comunque una zona sotto la sua giurisdizione.

Le trasmissioni avvengono normalmente via INMARSAT, con piccoli trasmettitori dedicati, generalmente 12 volte al giorno. Sostanzialmente si tratta di un modem **mini-C INMARSAT**, su alcune navi combinato allo **SSAS (Ship Security Alert System)**⁷. Nel caso del solo modem mini-C, lo strumento avrà un'antenna dedicata (Figura 21.1).

Anche nel sistema LRIT è prevista la possibilità di attivare la trasmissione delle informazioni su richiesta (*polling command*).

Figura 21.1 - LRIT: modem e antenna



⁷ Tali argomenti verranno trattati nel capitolo relativo alle Comunicazioni Marittime.

1.22 NAVIGAZIONE ASTRONOMICA

Prima di parlare di **navigazione astronomica**, che è quella che si effettua attraverso la misura delle altezze dei corpi celesti, occorre definire la **sfera celeste**, ovvero la sfera di raggio infinitamente grande con il centro nel punto in cui si trova l'osservatore (Figura 22.1). Si parlerà di sfera geocentrica se l'osservatore è sulla terra, eliocentrica se è sul sole, locale se è in un punto qualsiasi.

La **verticale** è la retta che passa per l'osservatore e che ha la direzione della forza di gravità. La verticale di un osservatore incontra la sfera celeste nello **Zenit, Z** e nel **Nadir, Z'** (diametralmente opposto). L'**orizzonte celeste** è il circolo massimo perpendicolare all'asse Zenit-Nadir; divide la sfera in due **emisferi**, quello **visibile** contenente lo Zenit e tutte le stelle osservabili, quello **invisibile** che contiene il nadir e le stelle non osservabili.

L'asse di rotazione terrestre prolungato incontra la sfera celeste in due punti, ovvero il **Polo Celeste Nord, P_{cn}** e il **Polo Celeste Sud, P_{cs}** ; l'angolo che rappresenta l'elevazione del polo rispetto all'orizzonte è la **latitudine dell'osservatore, φ** .

L'**equatore celeste** è il circolo massimo perpendicolare all'asse $P_{cn}-P_{cs}$.

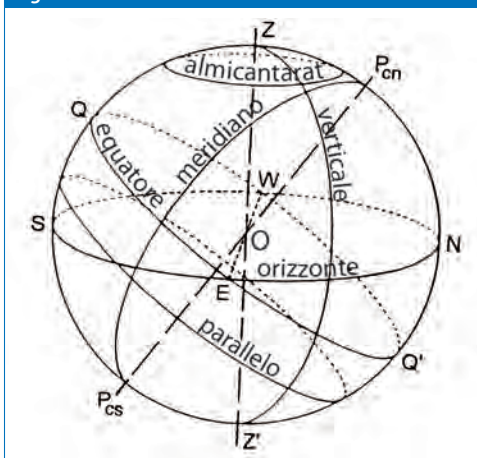
Il **meridiano dell'osservatore** è il circolo massimo passante per i due poli celesti, che contiene lo Z e il Z'; si suddivide in **meridiano superiore** che è l'arco di circolo massimo passante per $P_{cn}-Z-M_s-P_{cs}$ e in **meridiano inferiore** che è l'arco di circolo massimo che passa per $P_{cs}-Z'-M_i-P_{cn}$.

L'intersezione tra il meridiano superiore e l'equatore celeste è il **mezzocielo superiore, M_s o Q** mentre l'intersezione tra il meridiano inferiore e l'equatore celeste è il **mezzocielo inferiore, M_i o Q'**.

L'arco di meridiano M_s-Z è la **latitudine dell'osservatore**: se la latitudine è N il polo celeste elevato sarà il P_{cn} mentre quello depresso sarà il P_{cs} . Il meridiano dell'osservatore interseca l'orizzonte astronomico in due punti: il **punto cardinale nord, N** (più vicino al P_{cn}) e il **punto cardinale sud, S** (più vicino al P_{cs}); l'intersezione dell'equatore celeste con l'orizzonte astronomico individua gli altri due punti cardinali: l'**est (E)** a dritta del N e l'**ovest (W)** a sinistra del S.

Gli infiniti circoli massimi passanti per lo Z e il Z', perpendicolari all'orizzonte celeste sono i **verticali**, quelli minori (non passanti per il centro della sfera) e paralleli all'orizzonte astronomico sono detti **almicantarati**. I cerchi massimi passanti per i poli sono detti **meridiani o orari** e quelli minori e paralleli all'equatore celeste sono detti **paralleli di uguale declinazione** (quelli che descrivono gli astri).

Figura 22.1 - Sfera celeste



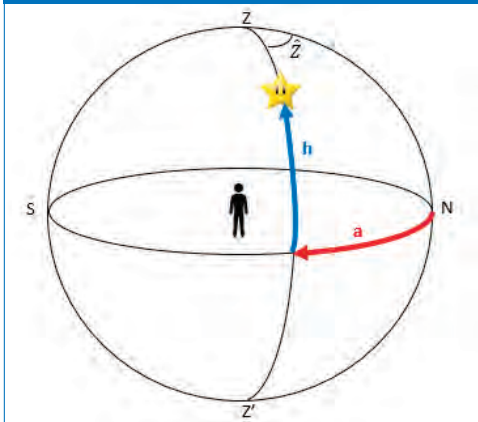


1.22.1 COORDINATE LOCALI ALTAZIMUTALI

Le **coordinate locali altazimutali** sono (Figura 22.2):

- ▶ **altezza, h** arco di verticale compreso fra l'orizzonte astronomico e l'astro, contato da 0 a 90° . Ha solo segno "+";
- ▶ **distanza zenitale, z** arco di verticale compreso fra lo Zenit e l'astro. È il complemento dell'altezza, $z=90^\circ-h$;
- ▶ **angolo zenitale, $\hat{Z}$** angolo compreso fra il verticale del Polo celeste elevato e il verticale dell'astro. Si conta da 0 a 180° verso E o verso W;
- ▶ **azimut, a** arco di orizzonte contato dal punto cardinale N fino al verticale dell'astro; si misura da 0 a 360° in senso orario.

Figura 22.2 - Coordinate locali altazimutali



$$z = 90^\circ - h$$

$$h = 90^\circ - z$$

$$a < 180^\circ$$

$$\hat{Z}E = a$$

$$a > 180^\circ$$

$$\hat{Z}W = 360^\circ - a$$

$$\text{astro a Est} \quad a = \hat{Z}E$$

$$\text{astro a West} \quad a = 360^\circ - \hat{Z}W$$

$$a = \hat{Z}E$$

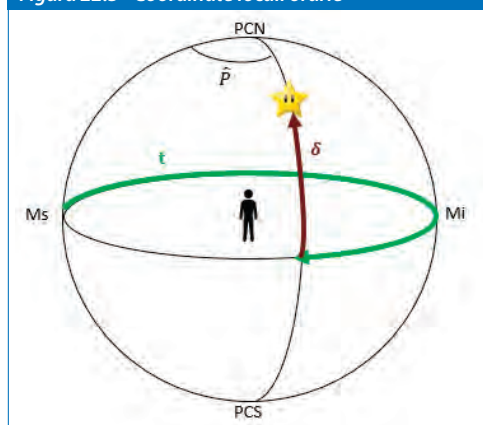
$$a = 360^\circ - \hat{Z}W$$

1.22.2 COORDINATE LOCALI ORARIE

Le **coordinate locali orarie** sono (Figura 22.3):

- ▶ **declinazione, δ** arco di meridiano compreso fra l'equatore celeste e l'astro. Si conta da 0 a 90° N o S a seconda che l'astro si trovi nell'emisfero N o S. **La Polare ha circa 90° di declinazione e azimut circa 0° ;**
- ▶ **distanza polare, p** arco di meridiano compreso fra l'astro e il polo elevato dell'osservatore. È il complemento della declinazione, infatti $p=90^\circ-\delta$;
- ▶ **angolo al Polo, $\hat{P}$** angolo tra il meridiano superiore e il meridiano dell'astro. Si misura da 0 a 180° verso E o verso W;
- ▶ **tempo o angolo orario, t** arco di equatore celeste fra il Ms e il meridiano passante per l'astro. Si misura da 0 a 360° in senso orario.

Figura 22.3 - Coordinate locali orarie



$$p = 90^\circ - \delta$$

$$\delta = 90^\circ - p$$

$$t < 180^\circ$$

$$\hat{P}W = t$$

$$t > 180^\circ$$

$$\hat{P}E = 360^\circ - t$$

$$\text{astro a West}$$

$$t = \hat{P}W$$

$$\text{astro a Est}$$

$$t = 360^\circ - \hat{P}E$$

1.22.3 IL MOTO APPARENTE DEGLI ASTRİ

Per effetto della rotazione della terra, che avviene in senso antiorario, gli astri sembrano muoversi in senso contrario: in pratica è come se ciascuno di essi descriva in un giorno **un parallelo di uguale declinazione**. Questo moto avviene in senso orario se visto dal P_{cN} (Figura 22.4).

Gli astri sorgenti e tramontanti devono soddisfare la seguente condizione:

$$|\varphi| + |\delta| < 90^\circ$$

- ▶ se φ e δ hanno lo stesso segno: arco diurno > arco notturno
- ▶ se φ e δ hanno segni diversi: arco diurno < arco notturno
- ▶ se $\varphi = 0$ o $\delta = 0$: arco diurno = arco notturno

Gli **astri circumpolari** devono soddisfare la seguente condizione: $|\varphi| + |\delta| > 90^\circ$

- ▶ se φ e δ hanno lo stesso segno: astro circumpolare visibile
- ▶ se φ e δ hanno segni diversi: astro circumpolare invisibile

Gli astri descrivono il massimo degli apparenti o degli occulti se: $|\varphi| + |\delta| = 90^\circ$

- ▶ se φ e δ hanno lo stesso segno: l'astro descrive il **massimo degli apparenti**
- ▶ se φ e δ hanno segni diversi: l'astro descrive il **massimo degli occulti**

Gli **astri passano allo Zenit**, nell'istante del meridiano superiore, quando $\varphi = \delta$ (omonime); in tale condizione si ha $z = 0$, $h = 90^\circ$.

Quando un **astro è al sorgere o al tramonto** la sua altezza h è pari a 0. In Figura 22.5 si riportano due casi particolari di sfera celeste: la sfera retta e la sfera parallela.

All'Equatore ($\varphi = 0$) si parla di sfera retta, nella quale:

- ▶ tutti gli astri sono sorgenti e tramontanti,
- ▶ l'arco diurno è uguale all'arco notturno,
- ▶ amplitudine = δ (per gli astri al sorgere e al tramonto).



Figura 22.4 - Condizioni di visibilità degli astri

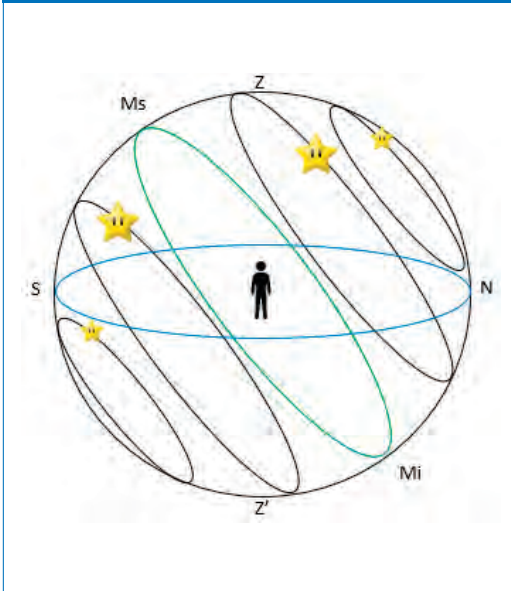
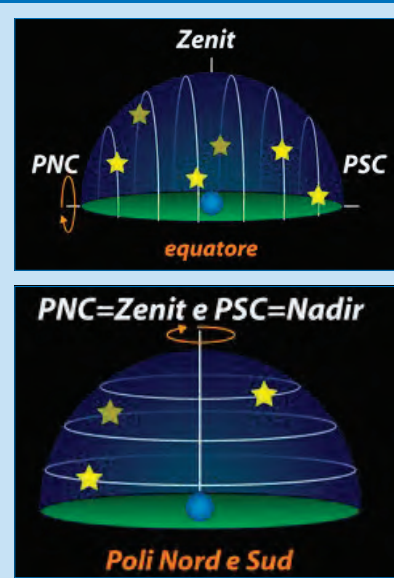


Figura 22.5 - Sfera retta e sfera parallela



Ai poli ($\varphi=90^\circ$) si parla di sfera parallela, nella quale:

- ▶ tutti gli astri sono circumpolari
- ▶ i paralleli coincidono con gli almicantarati
- ▶ $h=\delta$

La formula per calcolare l'**arco diurno** è $2\hat{P}^\circ$

in ore: $2\hat{P}^\circ/15$

La formula per calcolare l'**arco notturno** è $360^\circ-2\hat{P}^\circ$

in ore: $(360^\circ-2\hat{P}^\circ)/15$

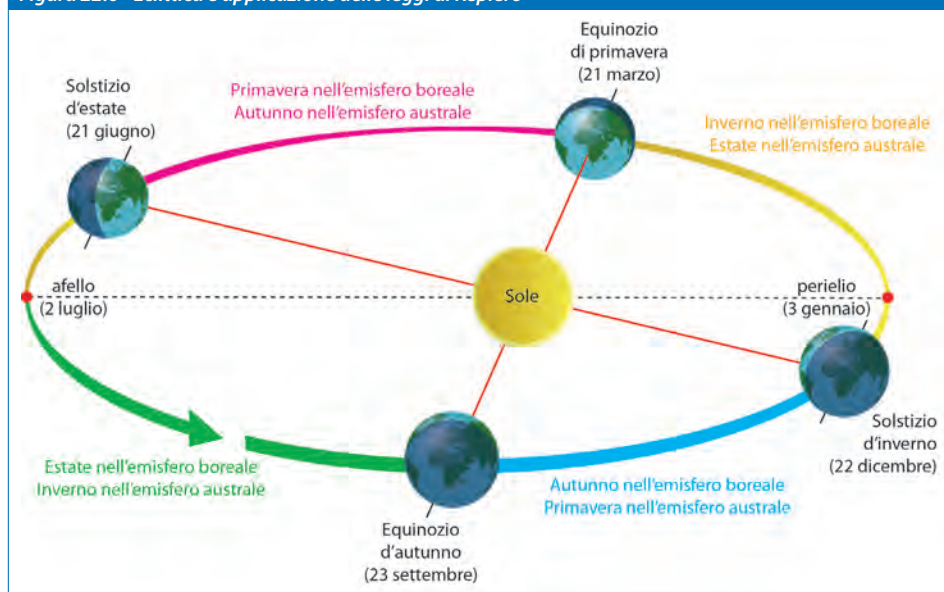
1.22.4 L'ECLITTICA

Il moto di **rivoluzione** della terra intorno al sole è regolato dalle leggi della meccanica celeste (**leggi di Keplero**). È sufficiente sapere che:

- ▶ l'orbita descritta dalla terra è di forma **eclittica** e il sole occupa uno dei due fuochi: la distanza terra-sole non è costante ma varia ed è massima all'**afelio** e minima al **perielio** ed è mediamente di circa 150 mila km (Figura 22.6).
- ▶ l'orbita viene descritta in senso diretto antiorario a velocità diversa: è massima quando la terra è più vicina al sole, è minima quando la terra è più lontana dal sole.
- ▶ il giro completo della terra attorno al sole è detto **rivoluzione siderale** e avviene in un **anno siderale**.

L'**eclittica** è la linea apparente che il Sole percorre in un anno, attraversando le dodici costellazioni dello Zodiaco. Il piano dell'eclittica interseca l'equatore celeste, formando con il piano equatoriale un angolo pari circa a **$23^\circ27'$** ; tale angolo rappresenta il valore massimo della **declinazione del Sole**.

Figura 22.6 - Eclittica e applicazione delle leggi di Keplero

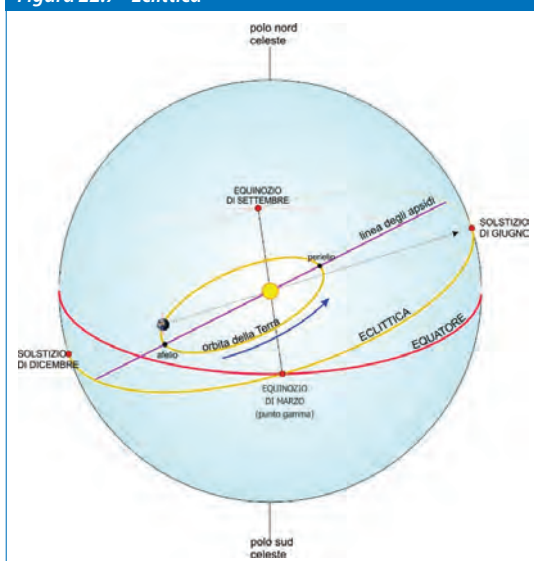


L'asse polare è inclinato, rispetto all'eclittica, di $66^{\circ}33'$. I due punti in cui l'eclittica interseca l'equatore celeste sono detti **nodi o equinozi**. Ogni anno, il Sole passa nel punto dell'equinozio vernale, cioè nel **nodo ascendente (punto γ)**, intorno al 21 di marzo, e nel punto dell'equinozio d'autunno, ossia nel **nodo discendente (punto Ω)**, intorno al 23 settembre. I punti dell'eclittica più lontani dall'equatore celeste sono invece detti **solstizi**, d'estate e d'inverno e si trovano circa a metà tra i due nodi. Il Sole giunge ai solstizi, rispettivamente, intorno al 21 giugno e al 22 dicembre.

Negli equinozi il Sole culminerà allo Zenit per chi si trova sull'equatore, mentre nel solstizio estivo i suoi raggi avranno minima inclinazione rispetto alla verticale per chi si trova nell'emisfero Nord, dove quindi farà più caldo, in particolare la nostra stella culminerà allo Zenit per chi si trova ad una latitudine di $23^{\circ}27'N$; nel solstizio invernale accadrà l'inverso (Figura 22.7).

A seconda della latitudine e del periodo dell'anno, l'inclinazione dell'eclittica provoca diverse condizioni di osservazione del Sole, che potrà

Figura 22.7 - Eclittica

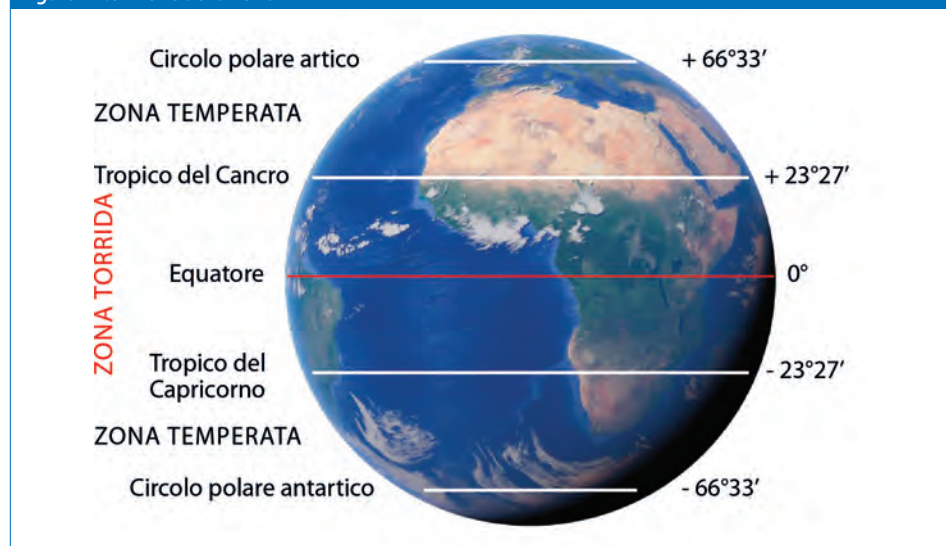




apparire come astro sorgente e tramontante o circumpolare. Una conseguenza è l'individuazione sulla Terra di paralleli particolari che la suddividono nelle diverse zone torrida, temperata e nelle calotte polari (Figura 22.8):

- ▶ **tropico del Cancro** avente latitudine $23^{\circ}27'N$
- ▶ **tropico del Capricorno** avente latitudine $23^{\circ}27'S$
- ▶ **circolo polare artico** avente latitudine $66^{\circ}33'N$ (complemento di $23^{\circ}27'$)
- ▶ **circolo polare antartico** avente latitudine $66^{\circ}33'S$ (complemento di $23^{\circ}27'$)

Figura 22.8 - Zone della Terra



Il **moto apparente annuale del Sole** avviene lungo l'eclittica, ma esso sarà costantemente soggetto anche al **moto apparente diurno**, che come sappiamo avviene lungo dei paralleli di declinazione, diversi a seconda della posizione del Sole sull'eclittica, quindi a seconda del giorno dell'anno.

Ricapitolando:

- ▶ il **21 marzo**, il sole si trova all'equinozio di primavera (punto γ) e la sua declinazione δ è **pari a 0**, passando da valori negativi a quelli positivi.
- ▶ il **21 giugno** il sole si trova al solstizio d'estate con declinazione pari a **$23^{\circ}27'N$** . E' estate nell'emisfero N e inverno in quello S.
- ▶ il **23 settembre** il sole si trova all'equinozio d'autunno e la sua **declinazione è nuovamente 0**, passando da valori positivi a valori negativi
- ▶ il **21 dicembre** il sole è al solstizio d'inverno con declinazione pari a **$23^{\circ}27'S$** . E' inverno nell'emisfero N e estate nell'emisfero S.

Per **coluro degli equinozi** si intende il circolo massimo che passa per i poli celesti e i punti equinoziali: è in pratica il circolo orario passante per tali punti. Il **coluro dei solstizi** è invece il circolo orario passante per i punti solstiziali.

1.22.5 COORDINATE URANOGRAFICHE EQUATORIALI

Le coordinate uranografiche equatoriali non dipendono dalla posizione dell'osservatore e sono (Figura 22.9):

- ▶ **declinazione, δ** già definita;
- ▶ **ascensione retta, α** arco di equatore compreso fra il punto γ e il meridiano dell'astro, contato in senso antiorario;
- ▶ **coascensione retta, $\text{co}\alpha$ (SHA, Sideral Hour Angle)** arco di equatore celeste compreso fra il punto γ e il meridiano dell'astro, contato in senso orario. Consiste nell'esplesimento dell'ascensione retta ed è il valore che si ricava sulle effemeridi nautiche:

$$\text{co}\alpha = 360^\circ - \alpha$$

1.22.6 L'AMPLITUDINE

L'**amplitudine, amp.** è l'arco di orizzonte astronomico contato dal cardine E o dal cardine W fino al punto effettivo del sorgere (amp. ortiva) o del tramonto (amp. occasa) di un astro (Figura 22.10). Si conta da 0° a 90° , ha prefisso E o W e suffisso N o S a seconda della declinazione dell'astro. La tavola nautica n. 17 tabula i valori dell'amplitudine in funzione della formula:

$$\text{sen amp} = \frac{\text{sen } \delta}{\cos \varphi}$$

1.22.7 IL TEMPO E LA SUA MISURA

Considerando la posizione di un osservatore posto a E rispetto a Greenwich, è possibile ricavare le relazioni che legano tempo locale (t), tempo di Greenwich (T), longitudine dell'osservatore, tempo dell'astro (t^*), tempo sidereo e coascensione retta (Figura 22.11).

Figura 22.9 - Coordinate uranografiche equatoriali

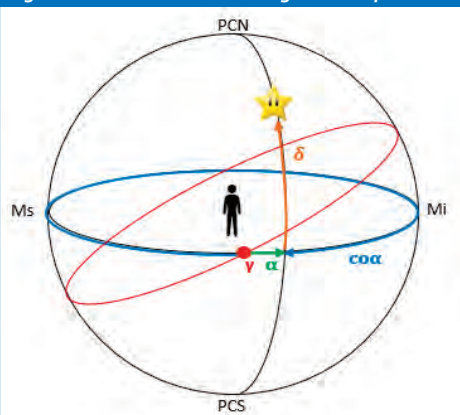


Figura 22.10 - Amplitudine ortiva di un astro con declinazione N e occasa di un astro con declinazione S

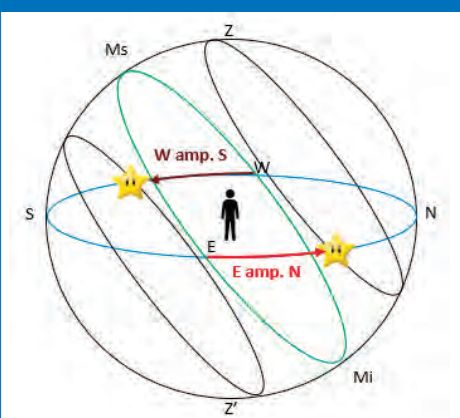
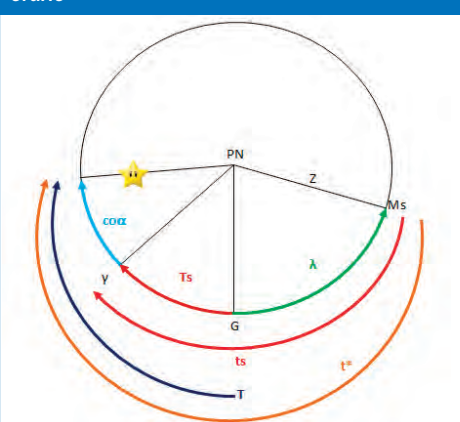


Figura 22.11 - Relazioni del tempo sul diagramma orario





$$t^* = ts + co\alpha$$

$$\lambda = t - T$$

$$T = t - \lambda$$

$$t = T + \lambda$$

Il **meridiano di Greenwich** ($\lambda = 0^\circ$) è il riferimento per la misura dei tempi; si indica con "T" o "UTC" il tempo universale di Greenwich. Si definisce:

- ▶ **tempo astronomico (UT1) o tempo universale** quello controllato negli osservatori mediante i passaggi meridiani delle stelle di cui si calcolano le ascensioni rette apparenti. È il tempo indicato sulle effemeridi;
- ▶ **tempo atomico internazionale (TAI)** quello dell'orologio atomico, che ha come unità di misura il secondo atomico;
- ▶ **tempo universale coordinato (UTC).**

L'anno civile è commisurato sull'**anno tropico** (intervallo di tempo che il Sole impiega per ritornare al punto γ , pari a 365d5h48m46s). Si definisce:

- ▶ **tempo sidereo** l'arco di equatore contato dal meridiano superiore dell'osservatore, in senso orario, fino al piano meridiano passante per il punto γ . Si indica con **ts**. Se il meridiano dell'osservatore è quello di Greenwich, il suo tempo si indica con **Ts**;
- ▶ **giorno sidereo** l'intervallo di tempo che trascorre tra due passaggi consecutivi del punto γ al meridiano superiore dell'osservatore. Corrisponde a **23^h56^m04^s**.

Si ricorda che per definire il **giorno** (intervallo di tempo che trascorre tra due passaggi consecutivi di un astro allo meridiano di un osservatore) si utilizza il concetto di **Sole Medio**, che percorre con velocità costante l'equatore (in 1 anno tropico 365 giorni); esso ha un moto uniforme in longitudine e in ascensione retta. Pertanto il **giorno solare medio** è l'intervallo di tempo tra due passaggi consecutivi del sole medio allo stesso meridiano e differisce di circa 3 minuti dal giorno solare vero.

Sulle Effemeridi Nautiche, in funzione di un dato T_m (tempo medio a Greenwich) si ricava il valore di:

$T's$	con le ore del T_m
+ ls	pagine blu, con i minuti e i secondi del T_m
Ts	
+ λs	longitudine stimata dell'osservatore
ts	tempo sidereo locale
+ $co\alpha$	coascensione retta
t^*	da cui si ricava l'angolo al Polo $\hat{P}$
T' pianeta/luna/sole	con le ore del T_m
+ I pianeta/luna/sole	pagine blu, con i minuti e i secondi del T_m
+ pp	parti proporzionali, in funzione di "v"
T pianeta/luna/sole	
+ λs	longitudine stimata dell'osservatore
t pianeta/luna/sole	da cui si ricava l'angolo al Polo $\hat{P}$

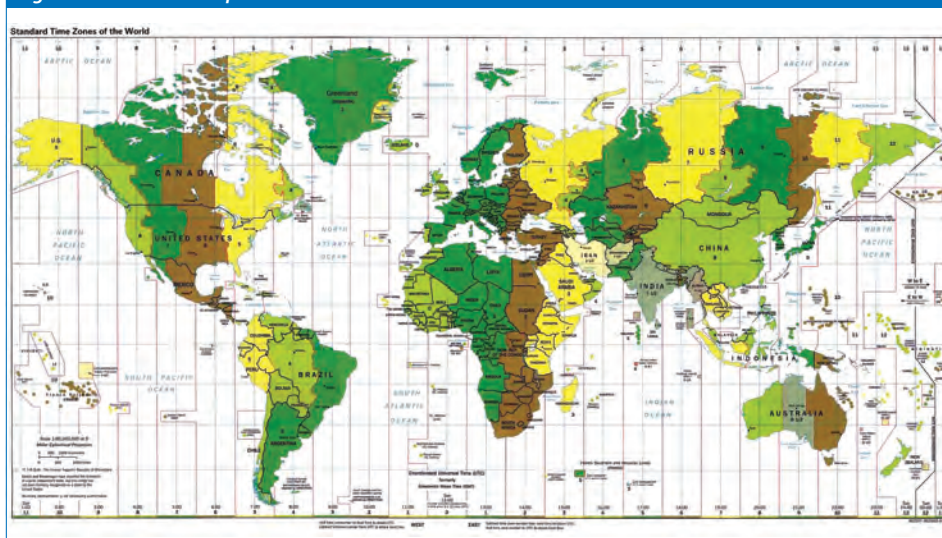
1.22.7.1 I fusi

La Terra è stata suddivisa in 24 fusi, ciascuno di ampiezza di 15° di $\Delta\lambda$, cioè 1 ora, adottando come ora locale t_f (tempo fuso) l'ora del meridiano centrale del fuso (Figura 22.12).

Si definisce:

- **tempo medio locale, t_m** quello relativo ad ogni punto del fuso, in virtù del proprio meridiano; T_m è l'ora dell'orologio medio di Greenwich, contato dall'antimeridiano. Viene indicato con GMT o UTC;
- **tempo del fuso, t_f (ora legale)**, quello relativo ad ogni punto del fuso, in funzione del proprio meridiano centrale. Il **meridiano centrale di ciascun fuso** è, infatti, il **meridiano regolatore** di tutti gli orologi medi che si trovano in uno stesso fuso.

Figura 22.12 - Cartina riportante i fusi della Terra



Le relazioni sono:

$$\begin{aligned} \text{per determinare il } T_m, \text{ noto un } t_f & T_m = t_f - (\pm \lambda f) \\ \text{per determinare } t_f, \text{ noto il } T_m & t_f = T_m + (\pm \lambda f) \\ \text{per determinare un } t_m, \text{ noto il } t_f & t_m = t_f + (\lambda f - \lambda n) \end{aligned}$$

$\lambda f = \lambda / 15$ arrotondata al grado più vicino $(\lambda f - \lambda n)$ è la Correzione del Fuso (Cf)

Considerazioni generali

- in un dato istante, tutti i t_f regolati sul meridiano centrale di ciascun fuso, hanno gli stessi minuti e secondi. I t_f differiscono, come i meridiani centrali dei fusi, di sole ore intere;
- quando si passa da un fuso all'altro gli orologi vengono spostati di un'ora avanti se si naviga con rotte E, o di un'ora indietro se si naviga con rotte W, distribuendo 20 minuti per guardia;
- sulle due facce dell'antimeridiano di Greenwich (linea di cambiamento di data), esistono 2 giorni contigui aventi lo stesso t_f . La linea di cambiamento di data non sempre segue



l'antimeridiano: per ragioni politiche passa per lo stretto di Bering, dividendo le terre dell'Alaska da quelle della Siberia orientale;

- ▶ nell'attraversare l'antimeridiano di Greenwich ($\lambda=180^\circ$) con rotta EST, si ripete la stessa data, mentre con rotta WEST si va avanti di un giorno;
- ▶ ogni giorno c'è solamente un istante in cui, su tutti i meridiani, c'è una sola data; tale istante è GMT: 12h00m00s.

1.22.7.2 Il cronometro marino

Il **cronometro marino** è un orologio analogico di elevata precisione che non viene mai spostato; mediante mostre e orologi di confronto è possibile prendere l'ora media di Greenwich (Figura 22.13); tale operazione è eseguita solitamente dalla stessa persona che, nel caso, apporta la dovuta correzione agendo sulle lancette (solitamente fermando la lancetta dei secondi, in quanto la correzione da apportare è nell'ordine di questi).

L'errore dei cronometri deve essere misurato ogni giorno alla stessa ora e trascritto sull'apposito registro. Il Comandante deve essere informato in caso di errori anomali. Se si impiegano cronometri a quarzo o elettronici, le batterie devono essere cambiate secondo quanto prescritto dal costruttore. Quindi, una volta osservato il T_c (**tempo cronometro**) e nota la **correzione da apportare k** (rilevata dal paragone con un orologio di confronto quale quello GPS o, meglio, ascoltando alcune stazioni radio GMDSS che trasmettono il segnale orario) si può ricavare il T_m :

Figura 22.13 - Cronometro marino



211

$$T_m = T_c + k$$

Quando si ricava un T_m dal cronometro, si ha l'ambiguità se a Greenwich è mattina oppure sera. Oggi, a bordo, un GPS fornisce il valore digitale dell'ora a Greenwich, indicandola tranquillamente in formato 24^h con la data corretta. Considerando una trattazione prettamente teorica, occorre effettuare il **calcolo preliminare per rimuovere l'ambiguità**: noto il crepuscolo (mattutino o vespertino) in cui si effettua l'osservazione o un dato t_f e la posizione stimata dell'osservatore, si procede come segue:

t_m	orario medio tra l'inizio e la fine del crepuscolo ad una data φ , preso dalle Effemeridi
$-(\pm \lambda^h)$	longitudine in ore, minuti e secondi
$T_{m_{app}}$	
oppure	
t_f	tempo fuso locale
$-(\pm \lambda^h)$	longitudine in ore, minuti e secondi
$T_{m_{app}}$	
dove $\lambda^h = \lambda/15$	



Gli orologi di bordo, a differenza del cronometro marino che indica il T_m , indicano il tempo del fuso in cui la nave si trova o dello Stato del porto. Quando si passa da un fuso all'altro gli orologi vengono spostati di un'ora avanti se si naviga con rotte E, o di un'ora indietro se si naviga con rotte W, distribuendo 20 minuti per guardia.

1.22.7.3 I crepuscoli

Il **crepuscolo nautico** è l'intervallo di tempo (di circa 30 minuti) che intercorre tra la notte e il sorgere del sole (crepuscolo mattutino) e tra il tramonto del sole e la notte (crepuscolo vespertino). Durante i crepuscoli sono contemporaneamente visibili l'orizzonte e gli astri utili alla navigazione astronomica. Più precisamente si definisce **crepuscolo nautico mattutino** l'intervallo di tempo durante il quale il centro del Sole passa dalla depressione -12° alla depressione -6° . Si definisce, invece, **crepuscolo nautico vespertino** l'intervallo di tempo durante il quale il centro del Sole passa dalla depressione -6° alla depressione -12° .

Da 0° a -6° e da -6° a 0° (aurora) si hanno i crepuscoli **civili**.

Da 0° a -18° e da -18° a 0° si hanno i crepuscoli **astronomici**.

Osservazioni

- ▶ nella zona terrestre che va da 60°N a 60°S , i periodi crepuscolari sono variabili con le stagioni (per la variabilità della declinazione del Sole);
- ▶ l'intervallo crepuscolare aumenta con la latitudine in quanto, aumentando la latitudine, diminuisce l'inclinazione dell'orizzonte rispetto all'equatore;
- ▶ alle alte latitudini il crepuscolo può essere continuo, cioè senza la discontinuità prodotta dalla notte.

1.22.8 LE EFFEMERIDI NAUTICHE

Le **effemeridi nautiche** (Figura 22.14) fanno parte della libreria di bordo e permettono di ricavare, per ogni giorno dell'anno, gli elementi principali degli astri osservabili con i mezzi di bordo (ripetitrice gyro, sestante, ecc.): l'angolo orario t , l'angolo orario del punto vernale γ (T_s), le co-ascensioni rette $\cos\alpha$ e le declinazioni⁸ delle principali stelle, dei pianeti, del sole e della luna; gli istanti del sorgere, tramonto, crepuscoli e passaggi del sole al meridiano superiore e inferiore riportati sulle Effemeridi nautiche si considerano t_m . Per determinare il t_f in una data località, del sorgere o del tramonto, degli istanti dei crepuscoli, dei passaggi al meridiano inferiore o superiore, si applica il seguente schema:

$$\begin{array}{r}
 t_m \\
 - \lambda \\
 \hline
 T_m \\
 + \lambda_f \\
 \hline
 T_f
 \end{array}
 \quad \text{in } h, m, s$$

⁸ Per le declinazioni occorre considerare le parti proporzionali (pagine blu). Per il Sole, la Luna e i pianeti esse sono in funzione del valore "d"; per le stelle, invece, essendo fisse, la lettura della declinazione è diretta. Vedi cap. 22.10.2.



Figura 22.14 - Effemeridi nautiche: pagina giornaliera

Luglio 2005										MAR. 12, MER. 13, GIO. 14									
UT		VENERE -3.9				MARTE -0.2				GIOVE -1.9				SATURNO 0.2				LUNA	
d	h	T	Dec.			T	Dec.			T	Dec.			T	Dec.			T	Dec.
12	0	150	20.3	N17	24.7	270	27.8	N5	23.5	99	30.8	S3	08.0	168	21.2	N20	32.0	118	22.2
	1	165	19.8		23.8	285	28.7		24.0	114	33.0		08.1	183	23.3		32.0	132	57.9
	2	180	19.2		22.9	300	29.7		24.6	129	35.2		08.2	198	25.4		31.9	147	33.6
	3	195	18.7		22.0	315	30.7		25.2	144	37.5		08.3	213	27.6		31.8	162	09.3
	4	210	18.1		21.1	330	31.7		25.8	159	39.7		08.4	228	29.7		31.8	176	45.0
	5	225	17.6		20.1	345	32.6		26.3	174	41.9		08.5	243	31.8		31.7	191	20.7
	6	240	17.0	N17	19.2	0	33.6	N5	26.9	189	44.2	S3	08.6	258	34.0	N20	31.6	205	56.4
	7	255	16.5		18.3	15	34.6		27.5	204	46.4		08.7	273	36.1		31.6	220	32.1
	8	270	15.9		17.4	30	35.6		28.1	219	48.6		08.8	288	38.2		31.5	235	07.8
	9	285	15.4		16.4	45	36.5		28.6	234	50.9		08.9	303	40.3		31.5	249	43.5
	10	300	14.8		15.5	60	37.5		29.2	249	53.1		09.0	318	42.5		31.4	264	19.2
	11	315	14.3		14.6	75	38.5		29.8	264	55.3		09.2	333	44.6		31.3	278	54.9
	12	330	13.7	N17	13.6	90	39.4	N5	30.4	279	57.6	S3	09.3	348	46.7	N20	31.3	293	30.6
	13	345	13.2		12.7	105	40.4		30.9	294	59.8		09.4	3	48.9		31.2	308	06.3
	14	0	12.6		11.8	120	41.4		31.5	310	02.0		09.5	18	51.0		31.1	322	42.0
	15	15	12.1		10.8	135	42.4		32.1	325	04.3		09.6	33	53.1		31.1	337	17.7
	16	30	11.5		09.9	150	43.4		32.7	340	06.5		09.7	48	55.2		31.0	351	53.4
	17	45	11.0		09.0	165	44.3		33.2	355	08.7		09.8	63	57.4		30.9	6	29.1
	18	60	10.4	N17	08.0	180	45.3	N5	33.8	10	11.0	S3	09.9	78	59.5	N20	30.9	21	04.7
	19	75	09.9		07.1	195	46.3		34.4	25	13.2		10.0	94	01.6		30.8	35	40.4
	20	90	09.4		06.2	210	47.3		35.0	40	15.4		10.1	109	03.8		30.8	50	16.0
	21	105	08.8		05.2	225	48.2		35.5	55	17.7		10.2	124	05.9		30.7	64	51.6
	22	120	08.3		04.3	240	49.2		36.1	70	19.9		10.4	139	08.0		30.6	79	27.2
	23	135	07.7		03.4	255	50.2		36.7	85	22.1		10.5	154	10.1		30.6	94	02.8

Le Effemeridi dell'Admiralty sono i Nautical Almanac. A bordo sono presenti anche i Nautical Almanac della Brown's.

1.22.9 LA MISURA DELLE ALTEZZE DEI CORPI CELESTI

Lo strumento principale in navigazione astronomica è il **sestante** che permette di misurare l'altezza degli astri, ovvero l'angolo compreso tra l'astro e l'orizzonte dell'osservatore (Figura 22.15). L'**altezza** che si ricava è detta **strumentale** e si indica con h_i . A tale valore si sommano due fattori di correzione: c che è la correzione dello strumento e Y che è la correzione d'indice (dovuta al non perfetto parallelismo degli specchi), da apportare all'altezza misurata. Pertanto, avremo l'**altezza osservata** h_o pari a:

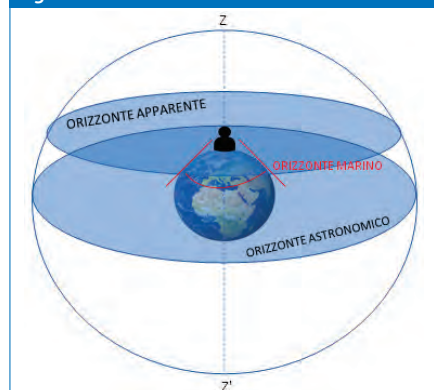
$$h_o = h_i + Y + c$$

Per determinare l'**altezza apparente** h_a , cioè l'altezza dell'astro riferita all'orizzonte apparente bisogna sottrarre all'altezza osservata:

- la **rifrazione astronomica** (r), cioè l'angolo tra la direzione vera dell'astro e la sua direzione apparente rifratta;
- l'**angolo di depressione apparente** (i), cioè quello formato dall'orizzonte apparente e dalla direzione lungo cui si vede l'orizzonte marino.

$$h_a = h_o - i - r$$

Figura 22.15 - I diversi orizzonti dell'osservatore



Le correzioni per la depressione e per il semidiametro si applicano a tutti i corpi celesti (Figura 22.16). Per determinare l'**altezza vera** h_v , cioè l'altezza dell'astro riferita all'orizzonte astronomico, bisogna sottrarre all'altezza osservata:

- ▶ la **parallasse diurna** (π), ovvero l'angolo al centro dell'astro da cui si vede il raggio della terra (tale correzione si apporta solo per i pianeti vicini, cioè Marte e Venere);
- ▶ il **semidiametro** (σ), cioè l'angolo all'osservatore da cui si vede il raggio dell'astro (tale correzione si apporta solo per il Sole e la Luna).

$$h_v = h_a \pm \pi \quad h_v = h_a \pm \pi \pm \sigma$$

Sia la correzione per la parallasse che quella per il semidiametro possono essere sommative o sottrattive a seconda che si osservi il lembo superiore o inferiore del corpo celeste (Figura 22.17).

Figura 22.16 - La depressione apparente e la rifrazione astronomica

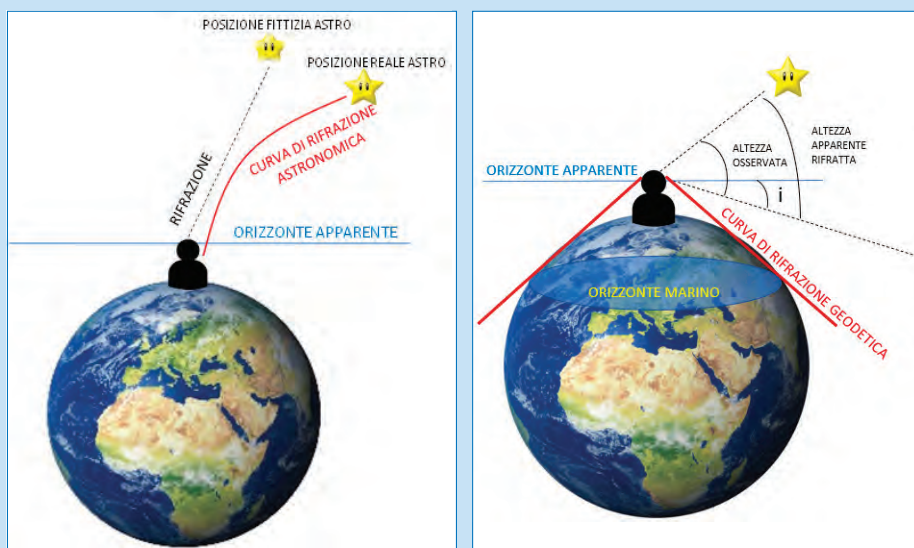
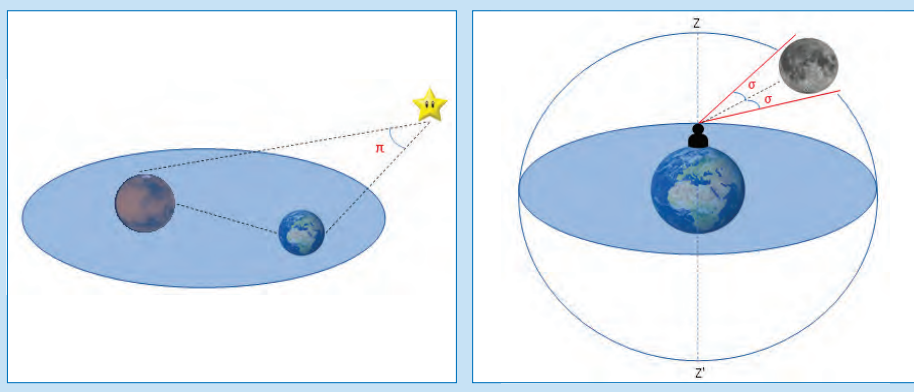


Figura 22.17 - Parallasse diurna e semidiametro





Tali valori si ricavano dalle Tavole Nautiche 21, 22, 23, 24.

Quindi, ricapitolando, l'altezza vera:

- ▶ per le stelle e i pianeti lontani (Giove e Saturno) sarà: $h_v = h_i + Y + c - i - r$
- ▶ per Marte e Venere: $h_v = h_i + Y + c - i - r \pm \pi$
- ▶ per il Sole sarà: $h_v = h_i + Y + c - i - r \pm \pi \pm \sigma$
- ▶ per la Luna sarà: $h_v = h_i + Y + c - i - r \pm \pi \pm \sigma$

Le **effemeridi nautiche** dell'Istituto Idrografico consentono di correggere le altezze degli astri in modo facile e veloce, aggiungendo all'altezza osservata h_o due o tre correzioni "c" e sottraendo dal risultato il valore di un grado per ottenere l'altezza vera. Questo è possibile in quanto, in termini assoluti, i e r non superano mai rispettivamente i valori di 20' e 40', per cui sommando ad essi tali quantità si ottengono coefficienti correttivi sempre positivi; ovviamente bisogna tenere conto di queste aggiunte arbitrarie per cui al termine della procedura di correzione delle altezze occorre sempre sottrarre 1° (pari a 60', cioè la somma di 20' e 40').

Per tutti gli astri si avranno in definitiva le correzioni c_1 e c_2 date, mentre per Sole, Luna, Venere e Marte si aggiunge anche una c_3 che, insieme alla c_2 rimodulata, prende in considerazione anche la parallasse (effettiva e media) ed il semidiametro (effettivo e medio):

$$c_1 = 20' - i \qquad c_2 = 40' - i$$

Quindi, ricapitolando, l'altezza vera:

- ▶ per le stelle e i pianeti lontani sarà: $h_v = h_i + Y + c_1 + c_2 - 1^\circ$
- ▶ per i pianeti vicini, il Sole e la Luna sarà: $h_v = h_i + Y + c_1 + c_2 + c_3 - 1^\circ$

Si riportano, in *Figura 22.18* gli estratti delle Effemeridi Nautiche relativi alla correzione delle altezze.

Figura 22.18 - Correzioni delle altezze

CORREZIONI DELLE ALTEZZE DI STELLE E PIANETI																	
PRIMA CORREZIONE				SECONDA CORREZIONE					TERZA CORREZIONE								
Elevazione dell'occhio				Altezza osservata					Mese	Planeta	Altezza Osservata						
m	'	m	'	"	'	"	'	"			0°	30°	55°	65°	75°		
0.34	18,9	13.41	13,5	4	23	29,1	9	44	34,6	1	GEN	Venere	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
0.43	18,9	13.72	13,5	4	26	29,2	9	56	34,7	15	GEN	Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.49	18,8	14.33	13,4	4	29	29,3	10	08	34,8			Venere	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
0.58	18,7	14.63	13,3	4	32	29,4	10	20	34,9	1	FEB	Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.67	18,6	14.94	13,2	4	36	29,5	10	33	35,0			Venere	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
0.76	18,5	15.54	13,1	4	39	29,6	10	46	35,1	15	FEB	Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.85	18,4	15.85	13,0	4	42	29,7	11	00	35,2			Venere	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
0.98	18,3	16.46	12,9	4	46	29,8	11	14	35,3	1	MAR	Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1.10	18,2	16.76	12,8	4	49	29,9	11	29	35,4			Venere	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
1.22	18,1	17.37	12,7	4	53	30,0	11	45	35,5	1	APR	Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1.34	18,0	17.68	12,6	4	56	30,1	12	01	35,6			Venere	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	17,9		12,5									Marte	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0



Figura 22.18 - Correzioni delle altezze

7.92		34.44		7 23	33,0	32 00	38,5
8.26	15,0	35.36	9,6	7 30	33,1	33 45	38,6
8.56	14,9	35.97	9,5	7 37	33,2	35 40	38,7
8.90	14,8	36.58	9,4	7 44	33,3	37 48	38,8
9.27	14,7	37.19	9,3	7 52	33,4	40 08	38,9
9.60	14,6	38.10	9,2	8 00	33,5	42 44	39,0
9.97	14,5	38.71	9,1	8 08	33,6	45 36	39,1
10.33	14,4	39.32	9,0	8 16	33,7	48 47	39,2
10.70	14,3	40.23	8,9	8 25	33,8	52 18	39,3
11.06	14,2	40.84	8,8	8 34	33,9	56 11	39,4
11.46	14,1	41.45	8,7	8 43	34,0	60 28	39,5
11.86	14,0	42.37	8,6	8 52	34,1	65 08	39,6
12.22	13,9	42.69	8,5	9 02	34,2	70 11	39,7
12.65	13,8	43.69	8,4	9 12	34,3	75 34	39,8
13.05	13,7	44.50	8,3	9 23	34,4	81 13	39,9
13.47	13,6	45.42	8,2	9 33	34,5	87 03	40,0
				9 44		90 00	

Nota :

Se l'altezza osservata, o l'elevazione dell'occhio, corrisponde esattamente al valore della tavola, scegliere il valore superiore fra le due correzioni possibili.

Le correzioni sono tutte positive, ma dall'altezza calcolata bisogna togliere 1" per avere l'altezza

Correzioni delle altezze di Sole

PRIMA CORREZIONE				SECONDA CORREZIONE				TERZA CORREZIONE		
Elevazione dell'occhio				Altezza osservate						
m		m								
0.34		13.41		4 23		9 44		Mese	Lembo	
0.43	18,9	13.72	13,5	4 26	5,2	9 56	10,7		Inferiore	Superiore
0.49	18,8	14.33	13,4	4 29	5,3	10 08	10,8	Gennaio	40.3	7.7
0.58	18,7	14.63	13,3	4 32	5,4	10 20	10,9			
0.67	18,6	14.94	13,2	4 36	5,5	10 33	11,0	Febbraio	40.2	7.8
0.76	18,5	15.54	13,1	4 39	5,6	10 46	11,1			
0.85	18,4	15.85	13,0	4 42	5,7	11 00	11,2	Marzo	40.1	7.9
0.98	18,3	16.46	12,9	4 46	5,8	11 14	11,3			
1.10	18,2	16.76	12,8	4 49	5,9	11 29	11,4	Aprile	40.0	8.0
1.22	18,1	17.37	12,7	4 53	6,0	11 45	11,5			
1.34	18,0	17.68	12,6	4 56	6,1	12 01	11,6	Maggio	39.8	8.2
1.49	17,9	18.29	12,5	5 00	6,2	12 18	11,7			
1.62	17,8	18.90	12,4	5 04	6,3	12 35	11,8	Giugno	39.8	8.2
1.72	17,7	19.20	12,3	5 08	6,4	12 54	11,9			
1.92	17,6	19.81	12,2	5 12	6,5	13 13	12,0			

Correzioni delle altezze di Luna

PRIMA CORREZIONE				SECONDA CORREZIONE									
Elevazione dell'occhio				Rifrazione (condizioni standard P = 760 mm e T = 10°C)									
m		m		Alt. Oss.	5°- 9°	10°- 14°	15°- 19°	20°- 24°	25°- 29°	30°- 34°	35°- 39°	Alt. Oss.	
0.34	18,9	13.41	13,5	0	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	0	
0.43	18,8	13.72	13,4	10	66,9	70,8	71,5	70,9	69,6	67,7	65,3	10	
0.49	18,7	14.33	13,3	20	67,2	70,9	71,5	70,9	69,5	67,0	65,2	20	
0.58	18,6	14.63	13,2	30	67,4	70,9	71,5	70,8	69,4	67,5	65,1	30	
0.67	18,5	14.94	13,1	40	67,6	70,9	71,4	70,8	69,4	67,5	65,0	40	
0.76	18,4	15.54	13,0	50	67,8	71,0	71,4	70,8	69,4	67,4	64,9	50	
0.85	18,3	15.85	12,9		68,0	71,1	71,4	70,8	69,3	67,3	64,9		
0.98	18,2	16.46	12,8	0	6°	11°	16°	21°	26°	31°	36°	0	
1.10	18,1	16.76	12,7	10	68,2	71,1	71,4	70,7	69,2	67,3	64,8	10	
1.22	18,0	17.37	12,6	20	68,4	71,1	71,4	70,7	69,2	67,2	64,7	20	
1.34	17,9	17.68	12,5	30	68,6	71,2	71,4	70,6	69,1	67,1	64,6	30	
1.49	17,8	18.29	12,4	40	68,7	71,3	71,4	70,6	69,1	67,0	64,5	40	
				50	68,9	71,3	71,4	70,6	69,0	66,9	64,4	50	
					69,0	71,3	71,4	70,5	69,0	66,8	64,3		
					7°	12°	17°	22°	27°	32°	37°		



Figura 22.18 - Correzioni delle altezze

TERZA CORREZIONE (parallasse)															
I = Lembo inferiore								S = Lembo superiore							
PAR	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S	I	S	PAR
54,0	31,7	2,4	31,9	2,4	31,9	2,4	32,0	2,5	32,0	2,7	32,2	2,9	32,3	3,0	54,0
54,3	32,1	2,6	32,3	2,6	32,3	2,6	32,4	2,7	32,4	2,9	32,5	3,0	32,7	3,2	54,3
54,6	32,5	2,8	32,7	2,8	32,7	2,8	32,7	2,9	32,8	3,1	32,9	3,2	33,0	3,3	54,6
54,9	32,9	3,0	33,0	2,9	33,1	3,0	33,1	3,1	33,1	3,2	33,2	3,3	33,3	3,4	54,9
55,2	33,3	3,2	33,4	3,1	33,5	3,2	33,4	3,2	33,5	3,4	33,6	3,5	33,7	3,6	55,2
55,5	33,7	3,4	33,8	3,3	33,9	3,4	33,8	3,4	33,9	3,6	33,9	3,6	34,1	3,7	55,5
55,8	34,0	3,7	34,1	3,6	34,2	3,7	34,1	3,7	34,2	3,8	34,2	3,9	34,4	3,8	55,8
56,1	34,4	3,9	34,5	3,8	34,5	3,8	34,5	3,9	34,5	4,0	34,5	4,0	34,7	4,0	56,1
56,4	34,8	4,1	34,9	4,0	34,9	4,0	34,8	4,0	34,9	4,1	34,9	4,2	35,0	4,1	56,4
56,7	35,2	4,3	35,3	4,2	35,3	4,2	35,2	4,2	35,2	4,3	35,2	4,3	35,4	4,3	56,7

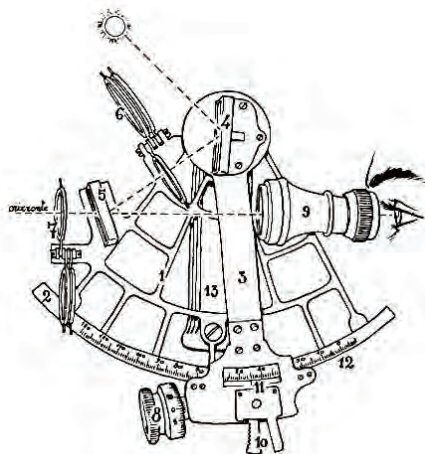
1.22.9.1 Il sestante

Il **sestante** è uno strumento utilizzato per misurare l'angolo di elevazione di un oggetto celeste sopra l'orizzonte. La misura si effettua facendo collimare l'oggetto con l'orizzonte.

La scala di un sestante è di 60° , pari ad $1/6$ di circonferenza; è da qui che deriva il suo nome, mentre un ottante, invece, è un dispositivo simile, ma dispone di una scala più piccola pari ad $1/8$ di circonferenza, o 45° . Il sestante sfrutta il principio della doppia riflessione: se un raggio luminoso subisce una doppia riflessione sullo stesso piano, l'angolo di deviazione è il doppio dell'angolo formato dalle superfici riflettenti. La scala del sestante è di 60° reali ma è graduata in maniera doppia in modo da leggere direttamente il doppio dell'angolo formato dai due specchi (Figura 22.19).

217

Figura 22.19 - Il sestante e le sue parti



1. Armatura; 2. Lembo; 3. Alidada; 4. Specchio mobile; 5. Specchio fisso (per metà specchio, l'altra metà per vedere l'orizzonte); 6. vetri colorati (per filtrare il sole); 7. vetri colorati (per filtrare l'orizzonte); 8. tamburo rotante (con la scala dei primi e dei decimi di primo); 9. cannocchiale; 10. leva per sbloccare l'alidada; 11. indice di lettura dei gradi; 12. inizio scala graduata.

Come individuare gli astri

Lo strumento più indicato per l'individuazione degli astri è lo **Star Finder** (Figura 22.20).

È un disco rigido con la rappresentazione delle 57 stelle fisse più luminose. Un lato è centrato sul Polo Celeste Nord, l'altro sul Polo Celeste Sud, ma su ciascuno di essi sono rappresentate le stelle di entrambi gli emisferi, separate da un cerchio concentrico che è l'Equatore Celeste.

Al centro del disco vi è un apposito incastro che permette l'inserimento di uno dei 9 dischi altazimutali, trasparenti, contenenti il reticolato dei verticali e degli almicantrat, tracciati in blu. Tali dischi sono validi solo per certe latitudini, quindi, va scelto il più adeguato a seconda della propria posizione.

È possibile identificare l'astro facendo ruotare il disco altazimutale fino a quando la freccia appositamente prevista, segni sul disco stellato il valore del tempo sidereo locale. Il reticolato del disco altazimutale permetterà di identificare, con sufficiente approssimazione, a quale astro corrispondano l'altezza e l'azimut precedentemente calcolati. Per i pianeti e la Luna, e per marcare astri non segnati sul disco stellato, si deve utilizzare un apposito disco trasparente con **linee rosse**. Ha una fessura che si estende fino a 30° N/S oltre l'Equatore e che individua la declinazione. Essa andrà disposta in corrispondenza dell'ascensione retta dell'astro da segnare. Tale disco, usato congiuntamente con i dischi altazimutali, permette di identificare un astro incognito, di cui si dispone solamente di altezza ed azimut: si ricavano la declinazione e l'ascensione retta (il bordo graduato del disco rosso rappresenta l'angolo al Polo).

Lo Star Finder è uno strumento utile per programmare un'osservazione astronomica, al fine di verificare le migliori condizioni per ottenere un buon PN (almeno 4 astri ad azimut ed altezze adeguate). È anche uno strumento necessario per determinare **astri incogniti**.

Figura 22.20 - Star finder





1.22.10 LA RETTA D'ALTEZZA

La **circonferenza d'altezza** è il luogo dei punti della Terra dai quali tanti osservatori osserverebbero, nello stesso istante, il medesimo astro con la stessa altezza.

Si definisce punto subastrale (a) il punto in cui un ipotetico osservatore avrebbe l'astro "A" allo zenit. In pratica è la proiezione dell'astro sulla superficie terrestre. **Per avere il P_N occorre avere, almeno, due cerchi di altezza.**

La circonferenza di altezza, sulla carta di Mercatore, è rappresentata da una curva. A bordo di dispone sempre del P_s , centro del cerchio di stima, entro cui certamente si trova la nave. Il raggio di tale cerchio è l'errore di stima e_s , il cui valore può arrivare, al massimo, a 40 mg.

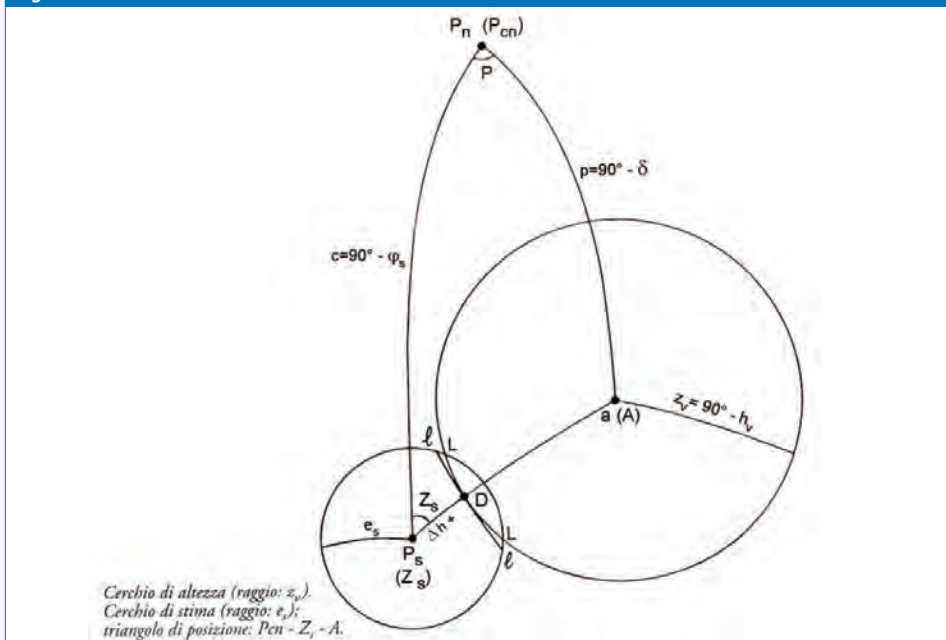
Il cerchio di stima interseca la circonferenza di altezza nei due punti **LL**. L'arco LL è definito **arco utile**.

La nave si trova in un punto della circonferenza di altezza e contemporaneamente, all'interno del cerchio di stima: si trova, quindi, in un punto dell'arco utile LL.

L'arco di verticale stimata ZSA (PSA) interseca l'arco LL nel **punto determinativo (D)**, punto del cerchio di altezza più vicino al cerchio stimato. Tale intersezione avviene con angolo retto poiché (D-A) è il raggio della circonferenza di altezza.

L'arco utile LL è, sulla carta di Mercatore, una curva, che può essere sostituita da un arco di circolo massimo. A sua volta, questo può essere sostituito da un **arco lossodromico (II)**.

Figura 22.21 - La retta di altezza Saint Hilaire



Il punto subastrale a (A) è il centro della circonferenza di altezza;
 $z_v = 90^\circ - h_v$ è il raggio della circonferenza d'altezza;
 il punto stimato $P_s (Z_s)$ è il centro del cerchio di stima;
 e_s è il raggio del cerchio di stima.

Tra i vari metodi ipotizzati per tale sostituzione, per semplicità e precisione, si è scelto quello **Saint Hilaire** (Figura 22.21). Con questo metodo si approssima l'arco utile con la lossodromia tangente alla circonferenza d'altezza nel punto determinativo (che è il punto di intersezione tra il verticale stimato e la circonferenza d'altezza) e si ottiene la retta di altezza.

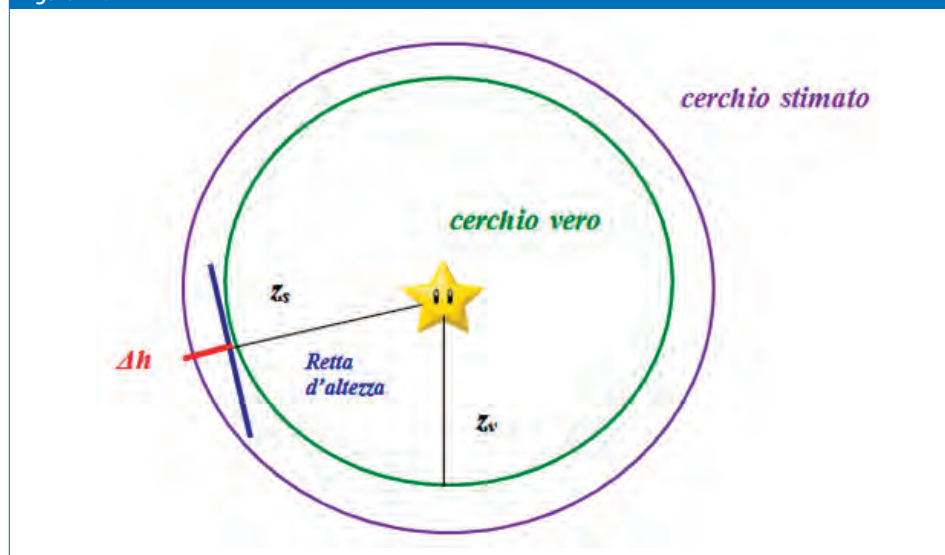
Per poter tracciare una retta d'altezza bisogna pertanto conoscere la direzione verso la quale tracciarla e la distanza dalla posizione stimata alla quale mettere il punto determinativo.

La direzione è data dall'**azimut stimato dell'astro** mentre la distanza tra il punto stimato e il punto determinativo è uguale alla **differenza tra l'altezza vera e quella stimata**, il cui valore, in genere, è di pochi primi

$$\Delta h = h_v - h_s$$

Se il Δh è positivo, il P_s è esterno alla circonferenza di altezza; viceversa, se è negativo. Il Δh è riportato nel verso opposto all'azimut dell'astro. Se $\Delta h < 0$: il cerchio di altezza vero ha raggio maggiore del cerchio di altezza stimato; viceversa, se maggiore di 0 (Figura 22.22).

Figura 22.22 - Il Δh



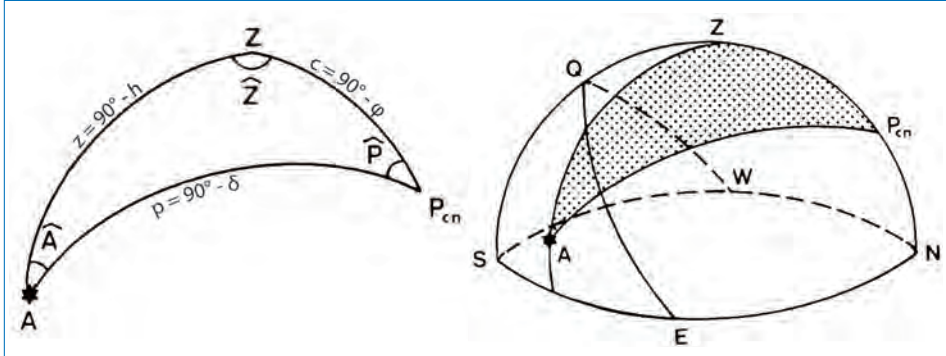


1.22.10.1 Triangolo astronomico

Il triangolo astronomico (Figura 22.23) ha i seguenti vertici ed angoli:

- ▶ Zenit **Z** con angolo zenitale $\hat{Z}$
- ▶ Astro **A** con angolo parallattico $\hat{A}$
- ▶ Polo celeste nord **P_{CN}** con angolo al polo $\hat{P}$

Figura 22.23 - Triangolo astronomico



I tre archi, congiungenti i vertici, sono:

- | | | |
|---|-------------------|--------------------------|
| ▶ arco di meridiano P _{CN} -Z, | colatitudine | $c = 90^\circ - \varphi$ |
| ▶ arco di orario P _{CN} -A, | distanza polare | $p = 90^\circ - \delta$ |
| ▶ arco di verticale Z-A, | distanza zenitale | $z = 90^\circ - h$ |

221

Applicando il teorema di Eulero si ricava l'altezza di un corpo celeste "hs" (formula bruta)

$$\text{senhs} = (\text{sen}\varphi \times \text{sen}\delta) + (\cos\varphi \times \cos\delta \times \cos\hat{P})$$

$$\text{sen}^{-1} \rightarrow \text{hs in } ^\circ, ', ''$$

N. B. nelle formule i segni vanno inseriti solo per le funzioni di "seno" e "tangente" delle latitudini, delle declinazioni e delle altezze.

Con le tavole 18 (Figura 22.24) si ricava l'angolo zenitale $\hat{Z}$ e di conseguenza l'azimut "a"

Figura 22.24 - Utilizzo delle Tavole Nautiche 18

Tav.A	Tav.B	Tav.C
$\begin{array}{c c} P \\ \hline \delta & A \pm \end{array}$	$\begin{array}{c c} P \\ \hline \varphi & B \pm \end{array}$	$\begin{array}{c c} C = A + B \\ \hline \varphi & Z_{Tab} \end{array}$

A è "+" se φ e δ sono omonime; "-" se eteronime. B è "+" se $\hat{P} > 90^\circ$, "-" se $\hat{P} < 90^\circ$.

Se C è "+" $\hat{Z}$ si conta dal polo elevato, se è "-" si conta dal polo depresso.



Il valore è quadrantale: il prefisso N/S coinciderà con il segno della latitudine dell'osservatore se C è risultato positivo, mentre sarà ad esso opposto se C è risultato negativo, come ricordato a fondo pagina. Il suffisso è E/W a seconda dell'angolo al Polo. Va trasformato nel valore circolare per determinare l'azimut dell'astro.

Si possono utilizzare anche le formule, derivanti dall'applicazione dei teoremi di trigonometria sferica:

$$\cos \hat{Z} = \frac{\text{sen} \delta - (\text{sen} \varphi \times \text{sen} h_s)}{(\cos \varphi \times \cos h_s)}$$

$$\cos^{-1} \rightarrow \hat{Z} \text{ E/W}$$

Il valore è semicircolare: si conta da N e il suffisso è E/W a seconda dell'angolo al Polo. Va trasformato nel valore circolare per determinare l'azimut dell'astro.

$$\tan \hat{Z} = \frac{\text{sen} \hat{P}}{(\tan \delta \times \cos \varphi) - (\text{sen} \varphi \times \cos \hat{P})}$$

Il valore è quadrantale: il prefisso N/S dipende dal segno del valore di $\tan \hat{Z}$ e il suffisso è E/W a seconda dell'angolo al Polo. Va trasformato nel valore circolare per determinare l'azimut dell'astro.

1.22.10.2 Calcolo degli elementi di una retta d'altezza

Ecco le procedure da svolgere per calcolare gli elementi di una retta d'altezza:

1. Si misura l'altezza instrumentale h_i dell'astro, con il sestante; contemporaneamente si legge il tempo T_c al cronometro e si prende la posizione stimata $P_s (\varphi_s; \lambda_s)$ dalla carta nautica.

2. Si esegue il **calcolo preliminare per togliere l'ambiguità al T_m** di osservazione:

t_m (crepuscolo mattutino o vespertino)

$- \lambda^h$

$T_{m_{app}}$

3. Si calcola il **T_m** :

T_c

+ K (correzione cronometro)

T_m (con data del $T_{m_{app}}$)



4. Con il T_m si calcola il tempo dell'astro e quindi l'angolo al Polo $\hat{P}$

Per le stelle e i pianeti lontani (Giove e Saturno)

$T's$	T_m (ore)	
$+ i_s$	i_m (minuti)	Sulle effemeridi, incremento " γ "
T_s		
$+ \lambda_s$		
t_s		
$+ \cos \alpha$		
t^*		

$$\text{se } t^* < 180^\circ \quad \hat{P}_W = t^*$$

$$\text{se } t^* > 180^\circ \quad \hat{P}_E = 360^\circ - t^*$$

Per i pianeti vicini (Venere e Marte), la Luna e il Sole

$T'_{\odot}$	T_m (ore)
$+ i_{\odot}$	i_m (minuti)
$+ pp$	
$T_{\odot}$	
$+ \lambda_s$	
$t_{\odot}$	

Le pp si ricavano in funzione dei valori di " v ", in fondo ad ogni colonna relativa ai Pianeti interni e al Sole. Per la Luna " v " varia ad ogni ora (Figura 22.25). Con il valore di " v " occorre andare nelle pagine blu, ai minuti di i_m e ricavare il valore di pp nell'apposita colonna (Figura 22.26).

$$\text{se } t_{\odot} < 180^\circ \quad \hat{P}_W = t_{\odot}$$

$$\text{se } t_{\odot} > 180^\circ \quad \hat{P}_E = 360^\circ - t_{\odot}$$

N.B. se i valori di tempo risultano negativi o superiori a 360° , occorre sommare o sottrarre 360° per riportarli entro l'angolo giro.

5. Si calcola la declinazione:

Per le stelle e pianeti lontani $\delta^* = \delta$ letta sulle Effemeridi

Per i pianeti vicini /Sole/Luna $\delta_{\odot} = \delta + pp$

Le pp si ricavano in funzione dei valori di " d ", in fondo ad ogni colonna relativa ai Pianeti interni e al Sole. Per la Luna " d " varia ad ogni ora (Figura 22.25). Con il valore di " d " occorre andare nelle pagine blu, ai minuti di i_m e ricavare il valore di pp nell'apposita colonna (Figura 22.26).



6. Si calcola l'altezza stimata (vedi formula al capitolo 22.10.1).
7. L'azimut stimato si ricava o dalle tavole nautiche (tavole 18, A-B-C) o con la formula (vedi capitolo 22.10.1).

8. Dall'altezza strumentale h_i , attraverso le correzioni prese dalle effemeridi, si calcola l'altezza vera h_v :

Stelle e pianeti lontani

Sole, Luna e pianeti vicini

$$h_i + Y = h_o$$

$$h_i + Y = h_o$$

$$h_o + c_1 + c_2 = h_v + 1^\circ - 1^\circ = h_v$$

$$h_o + c_1 + c_2 + c_3 = h_v + 1^\circ - 1^\circ = h_v$$

c_1 (correzione per l'elevazione dell'osservatore sul mare): si ricava dalle effemeridi entrando con l'elevazione dell'osservatore (e) nella prima correzione delle pagine azzurre.

c_2 (correzione per la rifrazione astronomica): si ricava dalle effemeridi entrando con l'altezza osservata h_o nella seconda correzione delle pagine azzurre. Per la Luna: entrare con il valore dell'altezza osservata nella colonna orizzontale e intersecarlo con quello in primi nella colonna verticale.

c_3 (correzione di parallasse): si ricava dalle effemeridi entrando nella terza correzione delle pagine azzurre con:

- ▶ altezza osservata e mese, per Venere e Marte
- ▶ lembo osservato e mese, per il Sole
- ▶ parallasse (PAR nella colonna giornaliera Luna - vedi *Figura 22.25*), lembo osservato (entrando nella colonna che si trova esattamente sotto a quella dove è stato trovato il valore della c_2), per la Luna.

9. Si determina il $\Delta h = h_v - h_s$

- ▶ Se $h_v > h_s$ e quindi Δh "+", l'osservatore è più vicino all'astro
- ▶ e $h_v < h_s$ e quindi Δh "-", l'osservatore è più lontano all'astro

1.22.10.3 Tracciamento delle rette di altezza e determinazione del P_N

Dati $D_1 (\Delta h_1; az_1)$ $D_n (\Delta h_n; az_n)$ Punto stimato, $P_s (\varphi_s; \lambda_s)$

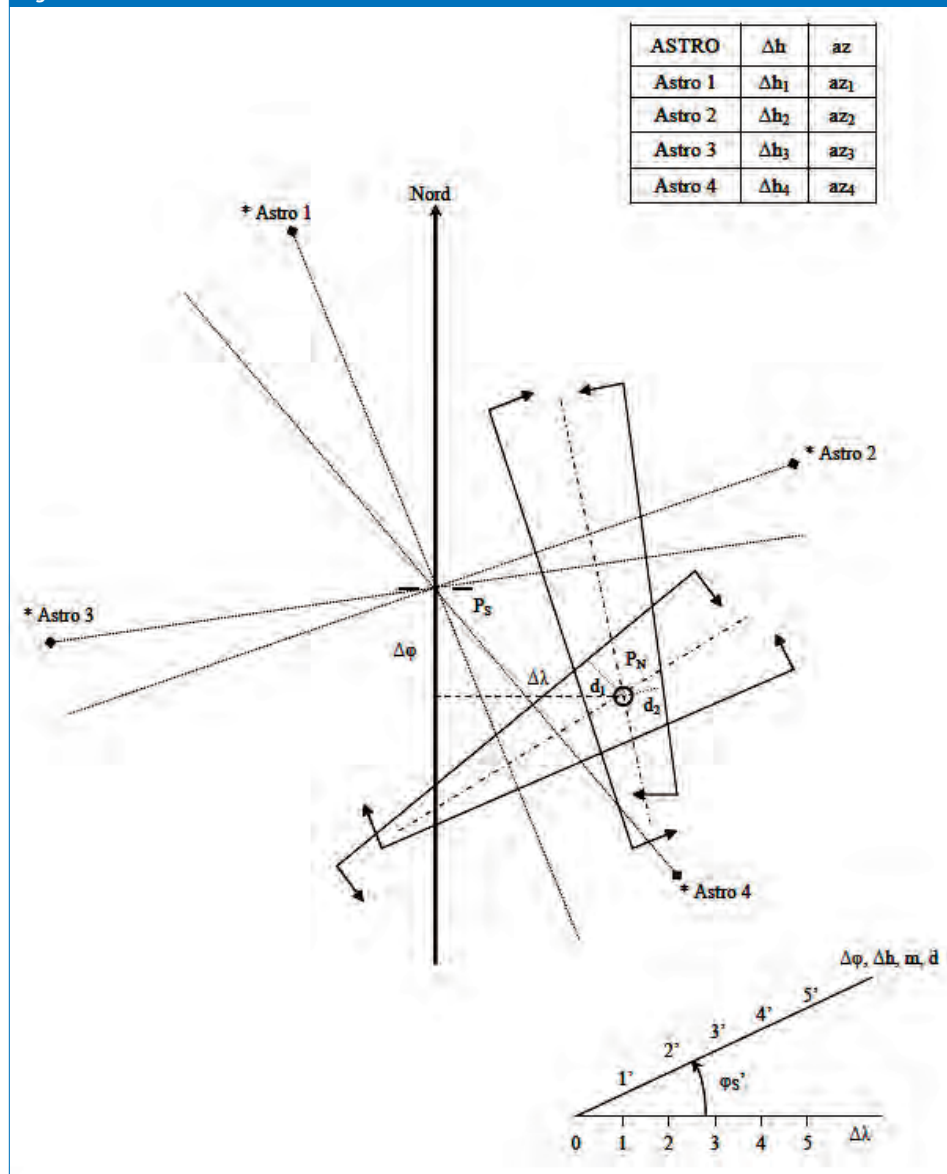
- ▶ impostare una scala che abbia come angolo di apertura il valore di φ_s (*Figura 22.27*);
- ▶ a centro foglio, segnare il P_s e tracciare il Nord vero;
- ▶ tracciare le rette d'altezza, passanti per il P_s , in base all'azimut degli astri;
- ▶ su ogni retta tracciata riportare, a distanza dal P_s pari al Δh relativo all'astro, una retta perpendicolare; se il Δh è positivo la retta perpendicolare va spostata dal P_s verso l'astro; se è negativa va spostata nella direzione opposta all'astro;
- ▶ per ogni retta perpendicolare disegnare, alle estremità, le frecce verso la direzione dell'astro;
- ▶ il P_N si trova nel punto di intersezione delle perpendicolari dei due astri o nel punto di intersezione delle bisettrici degli angoli formati dalle rette perpendicolari (in caso di più di due astri);

- ▶ con il compasso ricavare il $\Delta\varphi$ e il $\Delta\lambda$ del P_N dal P_S , utilizzando la scala fissata all'inizio;
- ▶ determinare le coordinate del P_N utilizzando le formule ben note:

$$\varphi_N = \varphi_S + \Delta\varphi$$

$$\lambda_N = \lambda_S + \Delta\lambda$$

Figura 22.27 - Tracciamento delle rette di altezza





1.22.10.4 Trasporto di una retta d'altezza

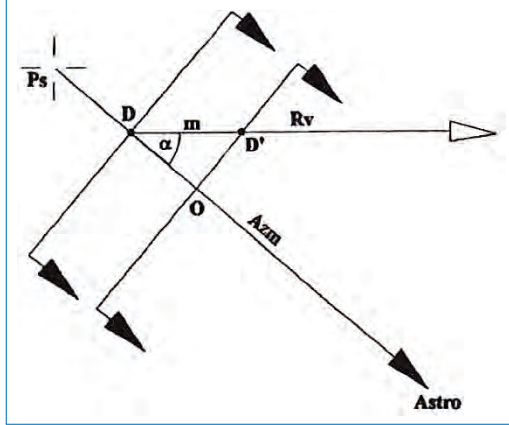
Il P_N viene determinato mediante l'osservazione di almeno 4 astri e quindi tramite il tracciamento di almeno 4 rette di altezza.

Per avere un buon PN le osservazioni dovrebbero essere **simultanee** ma, visto che nella pratica non è possibile, occorre **trasportare le prime all'istante dell'ultima**.

I metodi di trasporto sono due, uno grafico e uno analitico.

Il metodo **grafico** (Figura 22.28) consiste nel tracciare dal punto determinativo D (di lunghezza pari a Δh) la parallela alla rotta seguita dalla nave. Su di essa si traccia il cammino:

Figura 22.28 - Trasporto grafico di una retta di altezza



$$m = v \times \Delta t \quad \Delta t = t' - t$$

t' tempo ultima osservazione t tempo osservazione in questione (tranne l'ultima)

Si determina così il nuovo punto determinativo, D' da dove tracciare la nuova retta d'altezza.

Il metodo **analitico** invece consiste nel determinare analiticamente la posizione del nuovo punto D' e quindi calcolare il valore del Δh già aumentato o diminuito della quantità corrispondente all'intervallo di tempo Δt che intercorre tra la retta da trasportare e l'ultima, che prende il simbolo di Δh_t .

La formula è la seguente: $\Delta h_T = \Delta h + m \times \cos (Rv - a)$

$$\text{laddove } m = \frac{\Delta t}{60} \times Vp$$

1.22.10.5 Errori nelle rette d'altezza

La retta di altezza è un luogo di posizione, (LOP, Line Of Position). Il **LOP** è l'insieme dei punti nei quali, nello stesso istante, più osservatori effettuano la stessa misura. Sul LOP si trova la nave. Per determinare un punto occorrono almeno 2 LOP. Con tre si ha un triangolo di incertezza. Ogni misura è sempre affetta da errori, che possono essere:

- ▶ **costanti** che si ripetono sulle misure con lo stesso valore e segno;
- ▶ **sistematici** che si ripetono con lo stesso segno ma con valore variabile;
- ▶ **accidentali** che si ripetono variando in valore e segno.

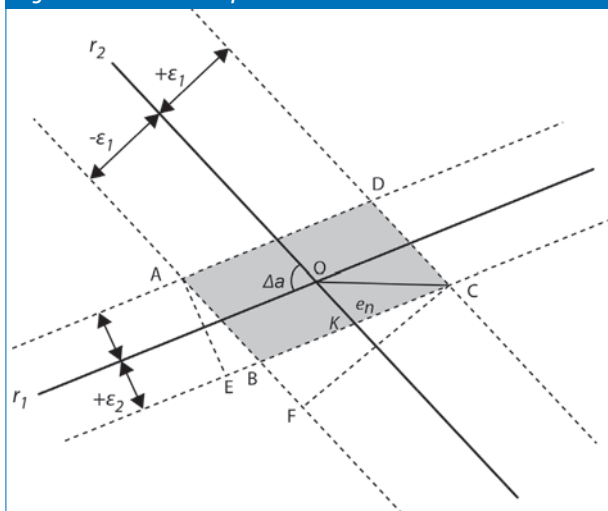
Gli **errori costanti** e sistematici, anche se grandi, non si evidenziano facilmente ma, una volta individuati, possono essere eliminati. Gli **errori accidentali**, invece, sono generalmente piccoli, ma per la loro casualità non possono essere eliminati, solo ridotti.

Generalmente una retta di altezza è affetta da vari errori, quali:

- ▶ **depressione dell'orizzonte marino**, che può essere **accidentale** quando le osservazioni sono molto intervallate (come quelle di sole) o **sistematico** quando le osservazioni sono quasi simultanee;
- ▶ **rifrazione astronomica**, generalmente **accidentale** in quanto gli astri si trovano ad altezze differenti fra loro; è consigliabile non osservare astri ad altezze inferiori ai 10° ;
- ▶ **errore personale, accidentale** e legato all'uso del sestante;
- ▶ **condimeteo ambientali avverse**, di natura accidentale;
- ▶ **errori strumentali, sistematici**;
- ▶ **errore sul tempo, accidentale**;
- ▶ **errore di trasporto, trascurabili** nelle osservazioni simultanee ma non in quelle intervallate (pertanto si consiglia di non effettuare trasporti di oltre 3 ore);
- ▶ **errori grafici, trascurabili**;
- ▶ **errore di scostamento** (sostituzione dell'arco utile di circolo massimo con la curva losso-dromica), non trascurabile per $h_v > 83^\circ$. Quando $h_v > 88^\circ$ e $\Delta h > 20'$ occorre considerare il P_N come un P_s e ricalcolarlo. Per $h_v > 88^\circ 30'$ si tracciano, in zona tropicale, i **cerchi di altezza**.

Una retta di altezza, in conclusione, è generalmente **affetta da un errore (e), somma di tutti gli errori sopracitati**. In linea di massima non si conosce né il segno né il valore dell'errore e pertanto, anziché considerare un LOP, si considera una **striscia di posizione**, ampia due volte l'errore (Figura 22.29).

Figura 22.29 - Striscia di posizione





1.22.10.6 Come tracciare le bisettrici

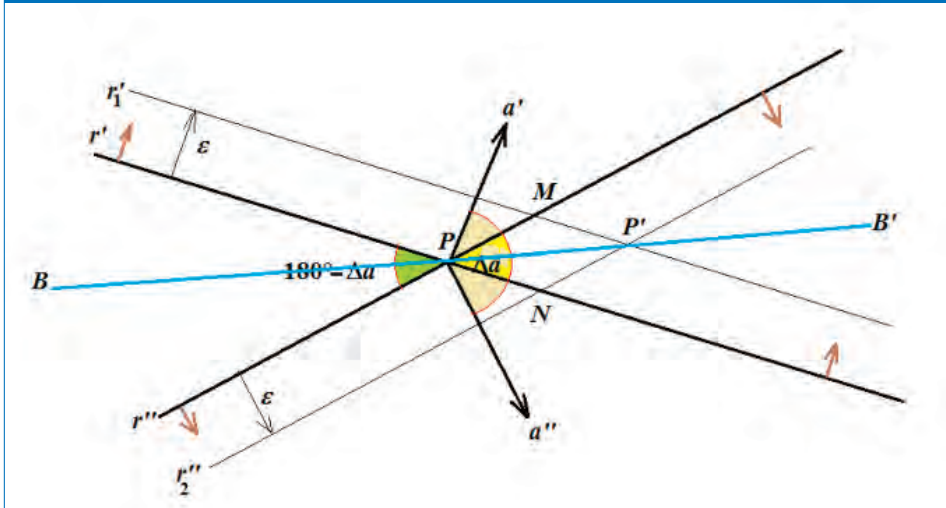
Partiamo dall'ipotesi di aver determinato due rette d'altezza r' e r'' affette da uguale errore ε , e sia P il loro punto di intersezione. Il punto P sarebbe il punto nave se le due rette fossero esenti da alcun tipo di errore, ma questa circostanza possiamo escluderla a priori.

Indichiamo con a' e a'' le direzioni azimutali rispettivamente delle due rette r' e r'' .

Se conoscessimo il valore dell'errore ε (in modulo ed in segno), conosceremmo anche la posizione del punto nave P' . Ma l'errore, in quanto errore, è sconosciuto.

Rileviamo però che, per l'ipotesi iniziale, il punto P' (sconosciuto) è situato sulla bisettrice dell'angolo $180^\circ - \Delta\alpha$. Così, infatti, è definita la **bisettrice d'altezza** (Figura 22.30): è la retta BB' che biseca l'angolo $180^\circ - \Delta\alpha$. Per quanto detto, sappiamo che il punto nave giace sulla bisettrice BB e quindi la bisettrice d'altezza è un luogo di posizione della nave. Essa si identifica come bisettrice degli angoli dove le frecce delle rette si guardano o entrambe si sguardano.

Figura 22.30 - Bisettrice di altezza



Per tracciare la bisettrice di una retta d'altezza, si prende, per ogni coppia di rette, la metà di una delle due rette e si traccia un segmento (linee tratteggiate). Questi segmenti sono le bisettrici che, intersecandosi, forniscono il PN .

Per tracciare le bisettrici di due **rette incidenti**, A e B , occorre tracciare la circonferenza di centro V e raggio $V1$ generico, determinando i punti 1 e 2. Con centro in 1 e poi in 2 si tracciano gli archi di circonferenza di raggio 1-2. L'intersezione di tali archi determina il punto 3. La bisettrice è la retta passante per V e 3 (Figura 22.31).

Nel caso di due **rette convergenti**, si tagliano le due rette, A e B , con una trasversale T ; poi si tracciano le bisettrici dei quattro angoli così ottenuti. Si determinano i punti 1 e 2: la retta che li unisce è la bisettrice (Figura 22.32).

Figura 22.31 - Bisettrice di altezza per due rette incidenti

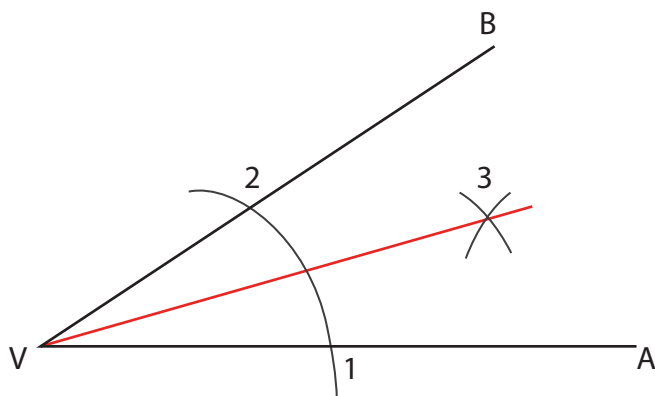
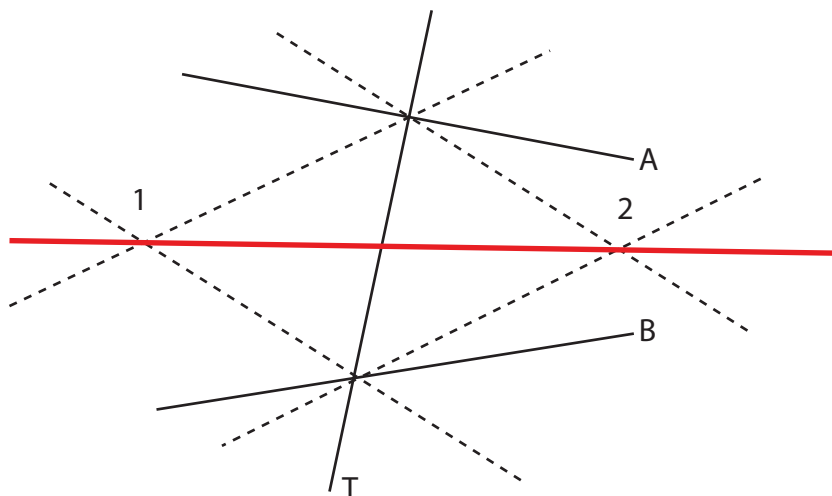


Figura 22.32 - Bisettrice di altezza per due rette convergenti



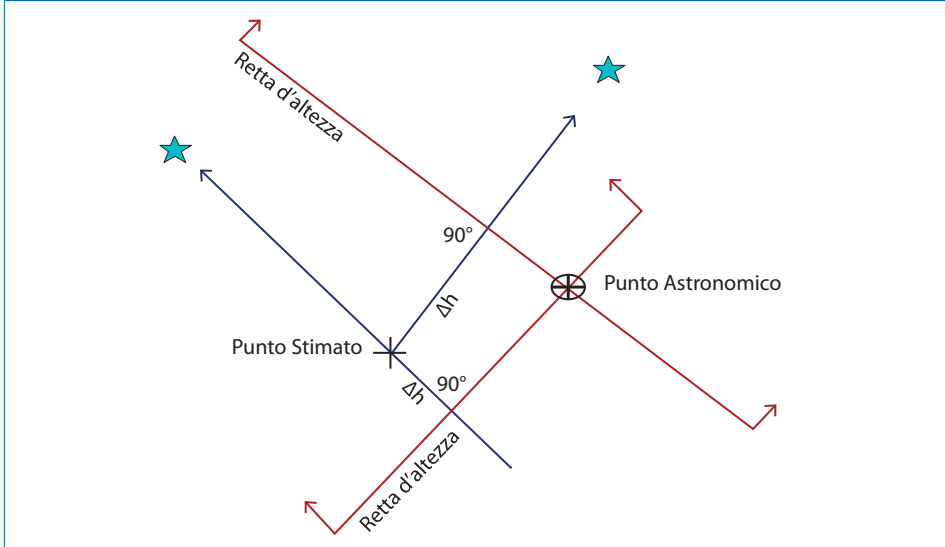
1.22.10.7 Punto nave a due rette

Si distinguono due casi:

- ▶ **rette simultanee** prevalgono gli errori sistematici in quanto le condizioni in cui si effettuano le due osservazioni sono le stesse. Per ridurre tali errori, l'angolo tra i due astri deve essere prossimo a 60° ;
- ▶ **rette intervallate** sono maggiori gli errori gli errori accidentali ed è consigliabile scegliere gli astri a 90° di differenza d'azimut (Figura 22.33).



Figura 22.33 - PN con due rette di altezza intervallate

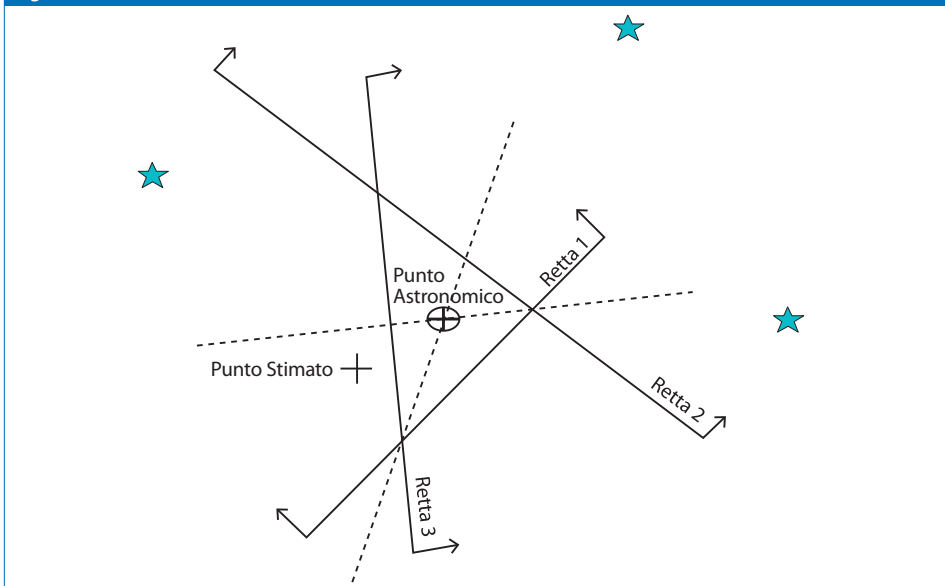


1.22.10.8 Punto nave con tre rette

In questo caso le stelle vanno prese a 120° di differenza d'azimut per minimizzare gli errori. Dato che raramente le tre rette passeranno per lo stesso punto, dalla intersezione di esse, avremo un triangolo. Il punto nave si ottiene intersecando due delle tre bisettrici degli angoli $180^\circ - \Delta\alpha$ tra due rette cioè dell'angolo dove le rette si guardano (Figura 22.34).

La bisettrice rappresenta un nuovo luogo di posizione esente dall'errore sistematico.

Figura 22.34 - PN con tre rette di altezza

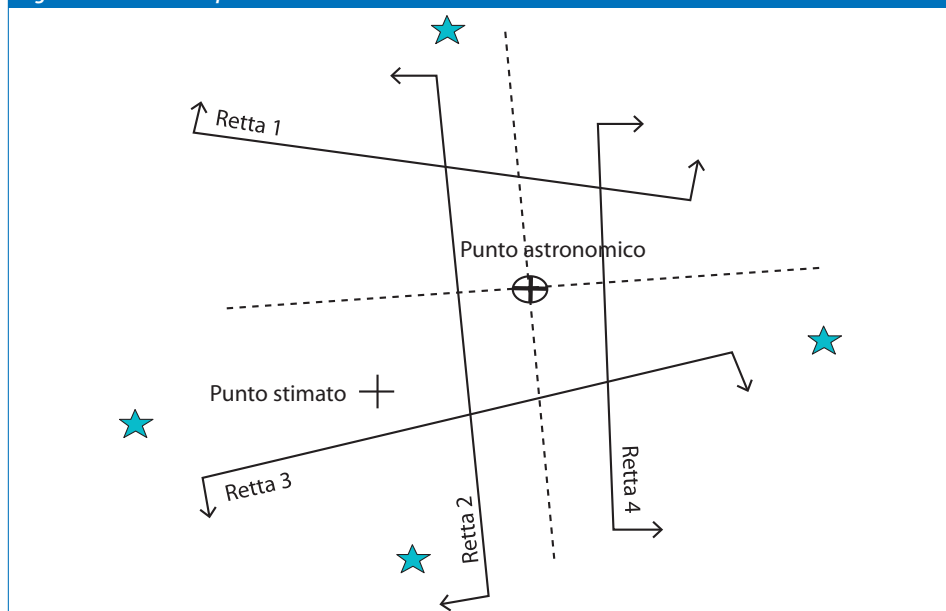


1.22.10.9 Punto nave con quattro rette

Questo caso rappresenta sicuramente la condizione migliore per minimizzare gli errori sul punto nave, in quanto permette di eliminare gli errori sistematici (con l'utilizzo delle bisettrici) e ridurre gli errori accidentali facendo intersecare le bisettrici a 90°.

Tenendo poi conto che gli errori sulle bisettrici sono minimi se le rette tra le quali vengono tracciate si trovano a 180° tra di loro, si capisce che i quattro astri si dovranno trovare a 90° l'uno dall'altro (Figura 22.35).

Figura 22.35 - PN con quattro rette di altezza



1.22.10.10 Calcolo degli errori

Un P_N ottimo si ottiene con l'incrocio di due bisettrici d'altezza che si intersecano tra loro ad angolo retto, ottenute da osservazioni simultanee o quasi. Ciò ci permette di controllare l'attendibilità del PN ottenuto, calcolando un valore medio dell'errore sistematico e dell'errore accidentale.

Per ogni coppia di rette, l'errore sistematico è rappresentato dalla minima distanza fra il P_N ottenuto e una qualunque delle rette, di valore negativo se le frecce indicanti l'astro sono rivolte verso il P_N , positive se rivolte in senso contrario. Se le bisettrici sono state tracciate correttamente si avranno solo due distanze differenti, d_1 e d_2 (la bisettrice passa per i punti equidistanti dalle rette formanti l'angolo stesso); l'errore sistematico è pari a:

$$\varepsilon_s = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$



l'errore accidentale medio è pari a:

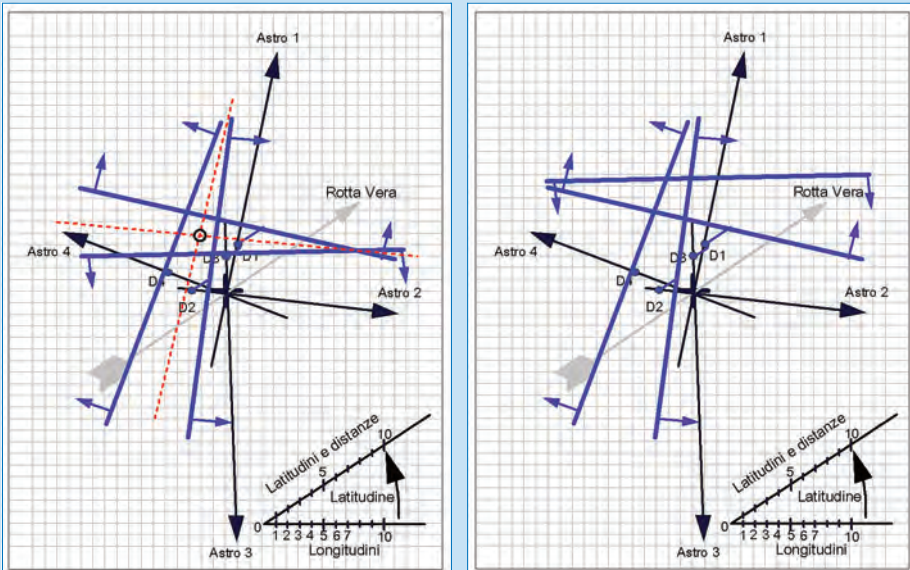
$$\varepsilon_a = |d_1 - d_2|$$

In un grafico di tre rette non è rintracciabile alcun errore accidentale che possa essere presente nelle osservazioni; pertanto, il punto nave con tre rette non deve essere considerato un punto molto affidabile. In un grafico di quattro rette le distanze d_1 e d_2 del P_N dalle due coppie di rette sono uguali in valore assoluto e segno.

I segni delle distanze sono "+" quando le frecce guardano il P_N (divergono); "-" quando le frecce guardano il P_N (convergono). Il P_N è ottimo quando l'errore accidentale medio è nullo o irrilevante in quanto, come detto prima, le bisettrici sono esenti dagli errori sistematici anche se più grandi di quelli accidentali: **entrambe le coppie di rette si devono guardare o sguardare** (Figura 22.36).

Quando $\varepsilon_a < 2'$ il P_N è ritenuto sufficientemente affidabile. Valori dell'errore superiori a $2'$ possono essere causati dalle condizioni ambientali non favorevoli o dall'inesperienza dell'osservatore. È buona norma, quindi, effettuare 5 osservazioni: viene scartata quella retta per la quale si avrebbe l'errore accidentale più alto. Se due frecce si guardano e due si sguardano ci sarà un grande ε_a e un piccolo ε_s .

Figura 22.36 - a sinistra, un buon PN - a destra un pessimo PN (con ε_a troppo elevato)



**1.22.10.11 Astro incognito**

Un astro incognito si può identificare, in assenza di Star finder, anche attraverso il calcolo, sempre a partire da una rilevazione dell'altezza e dell'azimut dell'astro: l'identificazione è possibile applicando opportuni procedimenti trigonometrici, che consentano di utilizzare le effemeridi «a ritroso». Una volta che l'astro è identificato, verrà considerato alla stregua di qualsiasi altro astro riconoscibile; in navigazione ogni astro da identificare con il procedimento che verrà descritto viene detto astro X.

Si deve rilevare l'altezza dell'astro, h con il sestante e il suo azimut, a con la gyro o con la bussola magnetica: entrambi i dati si devono correggere per gli errori strumentali.

Dopodiché occorre determinare la declinazione e l'angolo al Polo, con le formule:

$$\text{sen} \delta = (\text{sen} \varphi \times \text{sen} h) + (\cos \varphi \times \cos h \times \cos \hat{Z})$$

$$\text{sen}^{-1} \rightarrow \delta$$

$$\cos \hat{P} = \frac{\text{sen} h - (\text{sen} \varphi \times \text{sen} \delta)}{(\cos \varphi \times \cos \delta)}$$

$$\cos^{-1} \rightarrow \hat{P}$$

L'angolo al polo dell'astro X così determinato avrà segno corrispondente al valore di $\hat{Z}$ semicircolare; andrà trasformato, grazie alle note formule, in tempo, t^* . Si determina il tempo sidereo, ts , con il noto schema di calcolo (riportato nel capitolo 22.7). Grazie ai due tempi determinati è possibile ricavare la coascensione retta:

$$\text{coa} = t^* - ts$$

Le effemeridi nautiche forniscono nella tavola A2 l'elenco delle stelle ordinate per declinazione e per co-ascensione retta, mediate per l'intero anno solare: esse rendono immediata la ricerca dell'identità dell'astro X a partire dai dati ricavati. Se la δ e la coa trovate non corrispondessero ad alcuna delle stelle fisse elencate nelle pagine giornaliere, ed escludendo le stelle minori, comunque contenute nelle effemeridi in apposita sezione, c'è sempre la possibilità che l'astro X sia un pianeta: in tal cas occorre consultare il riquadro basso della pagina di destra delle effemeridi per il giorno di osservazione.

1.22.10.12 Punto nave con due rette di sole

Il sole, come tutti gli astri, ha un suo moto apparente diurno. Durante la giornata sorge in prossimità dell'Est, sale sull'orizzonte e raggiunge la culminazione superiore verso mezzogiorno; in tale istante, a N del parallelo $23^\circ 27'N$, il sole si trova a S. Successivamente tramonta verso l'W. Solo il 21 marzo e il 23 settembre (equinozi di primavera e di autunno) il sole sorge e tramonta nei punti cardinali E ed W. Il sole è pur soggetto ad un moto apparente annuo: descrive in un anno l'eclittica e passa, nei diversi mesi, attraverso le 12 costellazioni dello zodiaco. Per tale moto la declinazione del sole varia da $23^\circ 27'N$ a $23^\circ 27'S$, che è pure



la fascia tropicale entro la quale si muove il sole. Pertanto, solo ai tropici sarà possibile avere il sole allo zenit ($\delta=\varphi$) e potrà capitare di avere il sole a N quando passa in meridiano. A S del parallelo $23^{\circ}27'S$ il sole culmina a N. Nelle calotte polari, da $66^{\circ}33'N$ il Sole può essere circumpolare visibile (d'estate a N, d'inverno a S) o invisibile (d'inverno a N, d'estate a S). Al circolo polare artico il sole descrive il massimo degli apparenti il 21 giugno (solstizio d'estate) e il massimo degli occulti il 21 dicembre (solstizio d'inverno); viceversa avviene al circolo polare antartico.

Il sole può essere utilizzato per ottenere un punto nave effettuando due osservazioni, una **antimeridiana** e una **meridiana**, opportunamente intervallate. L'intervallo di tempo tra le due osservazioni deve essere valutato in modo che la differenza di azimut tra la prima posizione dell'astro e la seconda sia quanto più prossimo a 90° , in modo che risulti ridotto l'errore sul punto nave dovuto ad errori sulle rette, prevalentemente accidentali.

1.22.10.13 Retta antimeridiana

1. Solitamente si osserva il sole di mattina, intorno alle 10, quando la sua altezza supera i 10° - 15° ;
2. Si segnano la posizione stimata P_s (φ_s e λ_s) e la Rv;
3. Si calcola il T_m

$$\begin{array}{r} T_c \\ + K \text{ (correzione cronometro)} \\ \hline T_{m1} \text{ (con data del } T_{m_{app}}) \end{array}$$

4. Si calcola l'**angolo al Polo** $\hat{P}$

$$\begin{array}{r} T'_{\odot} \\ + i_{\odot} \\ + pp \\ \hline T_{\odot} \\ + \lambda_s \\ \hline t_{\odot} \\ t_{\odot} \rightarrow \hat{P}_E = 360^{\circ} - t_{\odot} \end{array} \quad \begin{array}{r} T_{m1} \text{ (ore)} \\ i_m \text{ (minuti)} \end{array}$$

Dato che la prima osservazione si svolge tra le 9:30 e le 10:30 il Sole è vicino al sorgere, quindi al cardine Est.

5. Si calcola la declinazione

$$\delta_{\odot} = \delta + pp$$

6. Si calcola l'altezza stimata (vedi formula al capitolo 22.10.1)

7. L'azimut stimato si ricava o dalle tavole nautiche (tavole 18, A-B-C) o con la formula (vedi capitolo 22.10.1)



8. Dall'altezza strumentale h_i attraverso le correzioni prese dalle effemeridi, si calcola l'altezza vera h_v :

$$h_i + Y = h_o \quad h_o + c_1 + c_2 + c_3 = h_v + 1^\circ - 1^\circ = h_v$$

9. Si calcola Δh

10. Si effettua il trasporto e si traccia la retta.

1.22.10.14 Retta meridiana

1. Con l'angolo al polo $\hat{P}$ calcolato si determina l'intervallo di tempo che separa l'osservazione antimeridiana da quella relativa al passaggio a meridiano mobile (della nave) del sole; la formula da utilizzare è:

$$\Delta t = \frac{\hat{P}_E \times 60}{900 + V \times \left(\frac{\sin P_v}{\cos \varphi_s} \right)}$$

L'angolo al Polo del Sole al passaggio al meridiano superiore sarà pari a "000" o "360".

2. Con tale intervallo di tempo si calcola la posizione stimata della nave per il passaggio **PS'** ($\varphi_s' \lambda_s'$), ricavandola dalla carta, e si calcola per quale ora effettuare la seconda osservazione **Tm₂**. Nella teoria scolastica, qualora non si utilizzi una carta nautica (cartacea o elettronica), si ricorre al Primo Problema della Lossodromia – PICCOLE DISTANZE (vedi capitolo 15).

$$m = v \times \Delta t \quad Tm_2 = Tm_1 + \Delta t$$

3. Qualche minuto prima dell'ora prestabilita ci si porta sull'aletta per effettuare l'osservazione e si segue il sole, con il sestante, fino a che esso raggiunge la **culminazione**, ovvero la massima altezza. È definita come il **momento meccanico** in cui si rileva effettivamente il passaggio del Sole al meridiano mobile della nave, durante il quale l'altezza smette di aumentare e inizia a diminuire. Si determina quindi la nuova **h_i**.

4. Si calcolano l'**angolo al Polo** $\hat{P}$

T'	Tm ₂ (ore)
+ i	i _m (minuti)
+ pp	
T	
+ λs	
t	
t → $\hat{P}_E = 0$	



In quanto la seconda osservazione si svolge poco prima del passaggio del Sole al meridiano

5. Si calcola la declinazione

$$\delta_{\odot} = \delta + pp$$

6. Si calcola l'**altezza stimata** h_s

$$h_s = 90^\circ - |\varphi_s' - \delta|$$

7. Si trova l'**azimut**

$$z_m = \varphi - \delta \quad (\text{algebrica, tenendo conto dei segni})$$

se z_m è positivo $\rightarrow az = 180^\circ$ se z_m è negativo $\rightarrow az = 000^\circ$

8. Dall'altezza strumentale h_i attraverso le correzioni prese dalle effemeridi, si calcola l'altezza vera h_v :

$$h_i + Y = h_o \quad h_o + c_1 + c_2 + c_3 = h_v + 1^\circ - 1^\circ = h_v$$

9. Si calcola il **Δh**

10. Si traccia la retta e si determina il P_N

237

1.22.10.15 Retta di velocità e di direzione

Per calcolare l'errore sulla velocità si può osservare un astro di prua o di poppa. Il **Δh** rappresenta l'errore sul cammino tra l'istante dell'osservazione e l'ultima posizione calcolata. L'errore sulla velocità viene determinato dal quoziente

$$\Sigma v = \Delta h / \Delta t$$

Se la retta è di prua c'è stato un errore di velocità in difetto, se la retta è di poppa è in eccesso. Si osserva un astro o a dritta o a sinistra. L'errore sulla rotta è dato dal quoziente:

$$\text{tg } \Sigma R = \Delta h / m$$

m rappresenta il cammino tra l'istante dell'osservazione e l'ultima posizione nave.

1.22.10.16 Passaggi al meridiano superiore e inferiore

Quando l'astro o il pianeta è al suo meridiano **superiore**, l'angolo al polo P ha valore vicino a 0 o a 360°. Si calcola l'angolo al polo P con le formule riportate in precedenza e si leggono, sulle **tavole nautiche n. 20**, i primi che formano il **limite** di questo per valutare se l'astro è al meridiano inferiore o superiore. Nota la latitudine dell'osservatore e la declinazione della stella, si possono determinare **altezza meridiana e azimut dell'astro**.

$$h_m = 90^\circ - |\varphi - \delta|$$

$$z_m = \varphi - \delta \quad (\text{algebrica, tenendo conto dei segni})$$

$$\text{se } z_m \text{ è positivo} \rightarrow az = 180^\circ$$

$$\text{se } z_m \text{ è negativo} \rightarrow az = 000^\circ$$

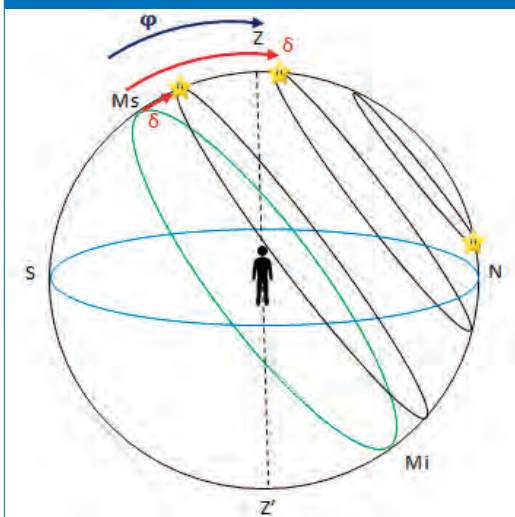
REGOLA GENERALE

Se l'osservatore è più a Nord del punto subastrale, vedrà l'astro transitare a S ($a=180^\circ$); se l'osservatore è più a S del punto subastrale, vedrà l'astro transitare a N ($a=000^\circ$) (Figura 22.37).

Esempi:

un osservatore in $\varphi=10^\circ$ N vedrà transitare a S un astro avente $\delta=05^\circ$ S;
 un osservatore in $\varphi=10^\circ$ S vedrà transitare a N un astro avente $\delta=05^\circ$ S;
 un osservatore in $\varphi=45^\circ$ N vedrà transitare a N un astro avente $\delta=50^\circ$ N;
 un osservatore in $\varphi=20^\circ$ S vedrà transitare a N un astro avente $\delta=05^\circ$ N.

Figura 22.37 - Astri al passaggio al meridiano superiore con culminazione a S, a N e al passaggio al meridiano inferiore



Quando l'astro è al suo meridiano **inferiore**, l'angolo al polo P ha valore vicino a 180°. Questa condizione si applica **esclusivamente** agli astri circumpolari. Nota la latitudine stimata dell'osservatore e la declinazione della stella, si possono determinare altezza e azimut dell'astro:

$$z_m = 180^\circ - (\varphi + \delta)$$

formula aritmetica nella quale non si tiene conto dei segni di φ e δ da cui:

$$h_m = 90^\circ - z_m$$

l'azimut è 000°

se $\varphi = N$

l'azimut è 180°

se $\varphi = S$



È possibile determinare la latitudine dell'osservatore:

$$\varphi = z_m + \delta \quad \text{meridiano superiore}$$

$$\varphi = 180^\circ - (z_m + \delta) \quad \text{meridiano inferiore}$$

sapendo che $z_m = 90^\circ - h_v^9$

1.22.10.17 Calcolo della latitudine con la Polare

La Stella Polare ha attualmente una posizione quasi coincidente con il Polo Celeste Nord: è caratterizzata da un moto diurno che avviene lungo un parallelo di ugual declinazione piuttosto piccolo, che la rende visibile solo nell'emisfero Nord. La sua altezza è, pertanto, corrispondente alla latitudine dell'osservatore mentre il suo azimut è circa 000° . La latitudine vera si calcola in funzione del **ts** e dell'**hv**. Le effemeridi riportano una sezione specifica con la quale correggere l'altezza della Stella Polare, entrando con i valori di **ts**, **hv** e del mese di osservazione:

$$\varphi_v = h_v + C_1 + C_2 + C_3 - 1^\circ$$

La prima correzione c_1 è in funzione del **ts**; la seconda correzione c_2 è in funzione del **ts** e dell'**hv**; la terza correzione c_3 è in funzione del **ts** e del mese di osservazione. Gli **elementi** della retta Polare sono:

- $\Delta\varphi = \varphi_v - \varphi_s$
- $a = 000^\circ$ il valore preciso si ricava dalla sezione dedicata, esattamente sotto la terza correzione

Si riportano, in *Figura 22.38*, gli allegati delle Effemeridi per la correzione dell'altezza della Polare e per la determinazione dell'azimut.

N.B. il valore quadrante dell'angolo azimutale deve essere convertito in azimut secondo le formule note.

Ovviamente anche il $\Delta\varphi$ si può trasportare

$$\Delta\varphi_T = \Delta\varphi + m \times \cos (Rv - a)$$

Oppure $\Delta\varphi_T = \Delta\varphi + m \times \cos Rv$ considerando $a = 000^\circ$

⁹ Data una altezza strumentale si ricava l'altezza vera, da inserire nella formula.



Figura 22.38 - Tavole per la correzione delle altezze con la Polare

LATITUDINE CON OSSERVAZIONE DELLA POLARE													
PRIMA CORREZIONE DELL'ALTEZZA VERA													
	ts	correzione	ts	correzione	ts	correzione	ts	correzione	ts	correzione	ts	correzione	ts
	*	* i	*	* i	*	* i	*	* i	*	* i	*	* i	*
	0	0 29.2	60	0 19.8	120	0 49.0	180	1 27.1	240	1 36.2	300	1 07.6	
	1	28.7	61	20.1	121	49.7	181	27.6	241	36.0	301	06.8	
	2	28.2	62	20.4	122	50.5	182	28.0	242	35.7	302	06.0	
	3	27.8	63	20.8	123	51.3	183	28.5	243	35.4	303	05.3	
	4	27.3	64	21.1	124	52.0	184	28.9	244	35.0	304	04.5	
	5	0 26.9	65	0 21.4	125	0 52.8	185	1 29.3	245	1 34.7	305	1 03.8	
	6	26.5	66	21.8	126	53.6	186	29.7	246	34.4	306	03.0	
	7	26.1	67	22.2	127	54.3	187	30.1	247	34.0	307	02.2	
	8	25.7	68	22.5	128	55.1	188	30.5	248	33.6	308	01.5	
	9	25.3	69	22.9	129	55.9	189	30.9	249	33.3	309	1 00.7	
PP	10	0 24.9	70	0 23.3	130	0 56.6	190	1 31.2	250	1 32.9	310	0 59.9	
1.0"	11	24.2	71	21.9	131	56.0	191	32.0	251	34.2	311	1 00.7	
	12	23.8	72	22.4	132	56.7	192	32.3	252	33.7	312	0 59.9	
	13	23.5	73	22.8	133	57.5	193	32.7	253	33.3	313	59.2	
	14	23.1	74	23.2	134	58.3	194	33.0	254	32.9	314	58.4	
i	10	0.2	15	0 22.8	75	0 23.7	135	0 59.0	195	1 33.3	255	1 32.4	315
20	0.3	16	22.5	76	24.2	136	0 59.8	196	33.6	256	32.0	316	56.9
30	0.5	17	22.2	77	24.6	137	1 00.5	197	33.8	257	31.5	317	56.1
40	0.7	18	22.0	78	25.1	138	01.3	198	34.1	258	31.0	318	55.4
50	0.8	19	21.7	79	25.6	139	02.0	199	34.4	259	30.6	319	54.6
	20	0 21.5	80	0 26.1	140	1 02.8	200	1 34.6	260	1 30.1	320	0 53.8	
	21	21.2	81	26.7	141	03.5	201	34.8	261	29.6	321	53.1	
0.5"	22	21.0	82	27.2	142	04.3	202	35.1	262	29.0	322	52.4	
	23	20.8	83	27.7	143	05.0	203	35.3	263	28.5	323	51.6	
	24	20.6	84	28.3	144	05.7	204	35.5	264	28.0	324	50.9	
i	25	0 20.4	85	0 28.8	145	1 06.5	205	1 35.6	265	1 27.4	325	0 50.1	
10	0.1	26	20.2	86	29.4	146	07.2	206	35.8	266	26.9	326	49.4
20	0.3	27	20.1	87	30.0	147	07.9	207	36.0	267	26.3	327	48.7
30	0.4	28	19.9	88	30.6	148	08.6	208	36.1	268	25.7	328	47.9
40	0.5	29	19.8	89	31.1	149	09.4	209	36.2	269	25.2	329	47.2
50	0.7												
	30	0 19.7	90	0 31.7	150	1 10.1	210	1 36.3	270	1 24.8	330	0 46.5	
	31	18.6	91	30.5	151	10.0	211	37.4	271	26.0	331	46.6	
	32	18.5	92	31.1	152	10.7	212	37.5	272	25.4	332	45.9	
	33	18.4	93	31.7	153	11.4	213	37.6	273	24.7	333	45.2	
	34	18.3	94	32.3	154	12.1	214	37.7	274	24.1	334	44.5	
0.6"													
i	35	0 18.3	95	0 33.0	155	1 12.7	215	1 37.7	275	1 23.5	335	0 43.8	
10	0.1	36	18.2	96	33.6	156	13.4	216	37.8	276	22.9	336	43.1
20	0.2	37	18.2	97	34.3	157	14.1	217	37.8	277	22.2	337	42.4
30	0.3	38	18.2	98	34.9	158	14.7	218	37.8	278	21.6	338	41.8
40	0.4	39	18.2	99	35.6	159	15.4	219	37.8	279	20.9	339	41.1
50	0.5												



Figura 22.38 - Tavole per la correzione delle altezze con la Polare

LATITUDINE CON OSSERVAZIONE DELLA POLARE																			
Alt.	ts																		
	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°
SECONDA CORREZIONE DELL'ALTEZZA VERA																			
10	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9
20	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
30	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
45	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
56	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
61	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1
65	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.1
68	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.1
70	1.2	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2
TERZA CORREZIONE DELL'ALTEZZA VERA																			
Gennaio	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.2
Febbraio	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	1.0	1.1
Marzo	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0
Aprile	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8
Maggio	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7
Giugno	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.6	0.7	0.7
Luglio	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7
Agosto	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9
Settembre	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.2	1.2	1.4	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1
Ottobre	1.3	1.1	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3
Novembre	1.4	1.3	1.2	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.2	1.4	1.3	1.4	1.4
Dicembre	1.5	1.5	1.3	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.3	1.5	1.5
NOTA - Le correzioni sono tutte POSITIVE, ma dall'altezza vera bisogna togliere 1° per avere la latitudine																			
ANGOLO AZIMUTALE DELLA POLARE																			
Alt.	ts																		
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
*	E	E	E	E	E	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
10	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
20	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
30	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5
40	0.6	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6
50	0.7	0.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7
55	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
60	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9
65	1.1	0.9	0.6	0.4	0.1	0.2	0.5	0.7	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1
70	1.4	1.1	0.8	0.5	0.1	0.2	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	1.9	1.9	1.7	1.5	1.3
	W	W	W	W	W	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	180°	190°	200°	210°	220°	230°	240°	250°	260°	270°	280°	290°	300°	310°	320°	330°	340°	350°	360°



1.22.11 CONTROLLO DELLE BUSSOLE A BORDO

Il calcolo della correzione delle bussole a bordo è un'operazione che si effettua giornalmente (riff. STCW, Regolamento di Sicurezza, SMS di Compagnia). L'angolo α tra il Nord geografico ed il Nord indicato dalla bussola è denominato:

- **declinazione magnetica «d»**, se sulla nave è presente solamente il campo magnetico terrestre;
- **variazione magnetica «V=d+δ»**, se si tratta di nave in ferro (oltre al campo magnetico terrestre tiene in considerazione tutti i campi magnetici di bordo);
- **correzione gyro «Cg»**, sulla girobussola. Tale valore è definito, dagli anglofoni, come «GYRO ERROR».

L'argomento è stato trattato nel capitolo 4 di questo manuale, analizzando i metodi di correzione costieri per le letture della bussola giroscopica.

Data una determinata ed istantanea direzione di un astro, l'angolo α verrà individuato mettendo a confronto due azimut del sopracitato astro: l'azimut vero «av» (calcolato con gli schemi di calcolo) e l'azimut bussola «ab» o girobussola «agb» (osservato alla normale o alla ripetitrice). Risultato: $\alpha = av - ab$ (o agb). Una volta individuato α , si determina la direzione istantanea del moto della nave rispetto alla direzione del Nv, identificando la prora vera Pv.

La correzione è pertanto il valore da sommare ad una misura errata, per ottenere quella giusta. L'errore ha segno opposto alla correzione: rappresenta di quanto è affetta la misura corretta; nel nostro caso di come la bussola non sia allineata in meridiano.

Il valore della correzione va riportato sul **registro delle bussole di bordo (compass record book)** (Figura 22.39).

Figura 22.39 - Esempio di registro delle bussole

GYRO COMPASS ERROR LOG TRANSLATION IN ACCORDANCE WITH ITALIAN MARITIME AUTHORITY INSTRUCTIONS

DATA DATE	ORA LOCALE L/TIME	U.T.C.	POSIZIONE NAVE SHIP'S POSITION		PRORA NAVE SHIP'S HEADING			RILEVAMENTO BEARING			STELLE O PIANETI OSSERVATI STARS OR PLANETS OBSERVED
			LAT.	LONG.	GIROSCOPIO GYRO	NORMALE STANDARD	MANOVRA STEERING	EFFETTIVO TRUE	GIROSCOPIO GYRO	MANOVRA STEERING	
					Pg	Pb		Rilv	Rilg	Rilb	

GYRO COMPASS ERROR LOG TRANSLATION IN ACCORDANCE WITH ITALIAN MARITIME AUTHORITY INSTRUCTIONS

CORREZIONE ERROR			DECLINAZIONE VARIATION (d)	DEVIAZIONE (δ) DEVIATION		INCLINAZIONE HEEL	OSSERVAZIONI REMARKS	GRADO E FIRMA RANK & SIGNATURE
GIROSCOPIO GYRO	NORMALE STANDARD	MANOVRA STEERING		NORMALE STANDARD	MANOVRA STEERING			
Cg = Rilv - Rilg	δb = Rilv - Rilb		+E -W	δb - d				
+E -W	+E -W			+E -W				



1.22.11.1 Sorgere e tramonto veri del Sole

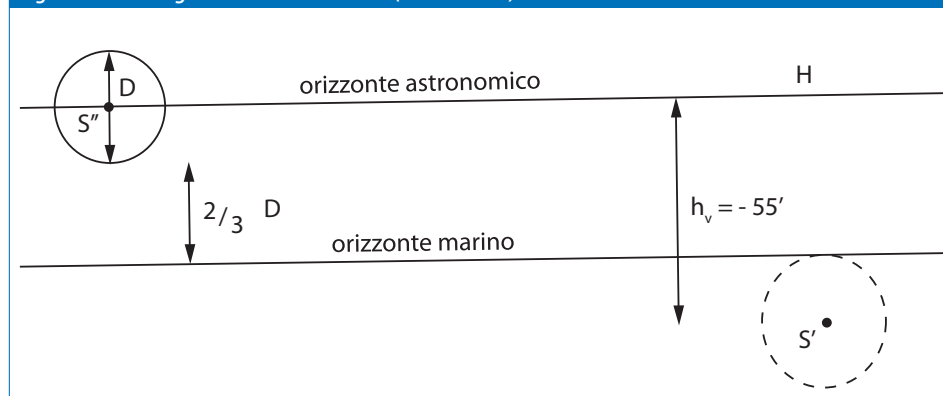
Avvengono quando il Sole si trova sull'orizzonte astronomico, ovvero si trova sopra l'orizzonte marino ($h_v=0^\circ$); in questi istanti il suo lembo inferiore si trova ad un'altezza di $2/3$ del suo diametro ($h_o=20'$).

1.22.11.2 Sorgere e tramonto visibili del Sole

Avvengono quando il Sole si trova al di sotto dell'orizzonte marino; in questi istanti l'altezza vera del centro del Sole è negativa ($h_v=-55'$) e il suo lembo superiore tange l'orizzonte marino ($h_o=0^\circ$). Dalla **Tavola Nautica 17** si ricava l'amplitudine, in funzione della φ della nave e della δ del Sole. Si deve applicare una correzione, Ca , all'amplitudine letta, solo se si osserva il lembo superiore (sorgere/tramonto visibili). L'altezza osservata h_o è quella riferita all'orizzonte marino; l'altezza vera h_v è quella riferita all'orizzonte vero.

In *Figura 22.40* sono riportate entrambe le situazioni descritte.

Figura 22.40 - Sorgere e tramonto del Sole (veri e visibili)



Elementi noti:

- ▶ le coordinate della nave (Punto Nave GPS)
- ▶ il tempo UTC o del cronometro, T_c , con relativa correzione K
- ▶ la declinazione della zona "d"
- ▶ la Prora giro "Pg" e la Prora magnetica "Pm"
- ▶ l'azimut o rilevamento giro "ag" (gyro compass) o rilevamento bussola "ab" (magnetica), ricavati dalle ripetitrici sulle alette del ponte di comando

Come si determina l'azimut

Porta la bussola all'altezza degli occhi e, con l'aiuto del mirino, punta l'oggetto del quale vuoi misurare l'azimut. Fatto ciò, ruota il cerchio graduato fino a far coincidere lo zero (0°) o la "N" con il Nord dell'ago della bussola. A questo punto leggi il valore dei gradi (azimut) sul cerchio graduato in corrispondenza del mirino. Per eseguire questa operazione senza perdere il puntamento dell'oggetto, devi servirti dello specchio, mettendolo in modo da vedere il cerchio graduato mentre traguardi nel mirino e ruoti il cerchio graduato.



In Figura 22.41 sono riportati due estratti della Tavola Nautica 17.

Figura 22.41 - Tavola Nautica numero 17

TAVOLA 17															
A M P L I T U D I N I															
Lat.	D E C L I N A Z I O N E														
	23°	23°30'	24°	24°30'	25°	25°30'	26°	26°30'	27°	27°30'	28°	28°30'	29°	29°30'	30°
0	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0
2	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0
4	23.1	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1
6	23.1	23.6	24.2	24.7	25.2	25.7	26.2	26.7	27.2	27.7	28.2	28.7	29.2	29.7	30.2
8	23.2	23.7	24.3	24.8	25.3	25.8	26.3	26.8	27.3	27.8	28.3	28.8	29.3	29.8	30.3
10	23.4	23.9	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5
12	23.5	24.0	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.7	29.2	29.7	30.2	30.7
14	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.3	26.8	27.4	27.9	28.4	28.9	29.5	30.0	30.5	31.0
16	24.0	24.5	25.0	25.6	26.1	26.6	27.1	27.6	28.2	28.7	29.2	29.8	30.3	30.8	31.3
18	24.3	24.8	25.3	25.9	26.4	26.9	27.5	28.0	28.5	29.1	29.6	30.1	30.6	31.2	31.7
20	24.6	25.1	25.7	26.2	26.7	27.3	27.8	28.3	28.9	29.4	30.0	30.5	31.1	31.6	32.1
21	24.7	25.3	25.9	26.4	26.9	27.5	28.0	28.6	29.1	29.7	30.2	30.7	31.3	31.8	32.4
22	25.0	25.5	26.0	26.6	27.1	27.7	28.2	28.8	29.3	29.9	30.4	31.0	31.5	32.1	32.6
23	25.1	25.7	26.2	26.8	27.3	27.9	28.4	29.0	29.6	30.1	30.7	31.2	31.8	32.4	32.9
24	25.3	25.9	26.4	27.0	27.6	28.1	28.7	29.2	29.8	30.4	30.9	31.5	32.0	32.6	33.2

L'ultima delle tavole riporta la correzione aggiuntiva per il lembo superiore del Sole. Si entra sempre con la latitudine e la declinazione: se osservatore e astro sono nello stesso emisfero la correzione è positiva, se sono in emisferi opposti la correzione è negativa.

1.22.11.3 Come effettuare la correzione della bussola

La correzione della bussola si può effettuare:

- **osservando un astro** si ricava l'azimut vero «av» (es. da una retta d'altezza) dal quale, sottraendo l'azimut bussola «ab» (ottenuto osservando l'astro alla ripetitrice fino ad un'altezza massima di 30° dello stesso sull'orizzonte), si ottiene il fattore di correzione α . L'osservazione di un astro si fa nel momento del suo sorgere o del suo tramonto, quando ha altezza sull'orizzonte pari a 0°;
- **al sorgere o al tramonto del sole** questa è la condizione che più si effettua a bordo e si osserva il Sole al suo sorgere o al suo tramonto; quando si osserva il lembo inferiore del Sole, si è nella situazione del sorgere o del tramonto vero. Quando se ne osserva il lembo superiore, si è nella situazione del sorgere o del tramonto visibile. Lo scopo della correzione della bussola è determinare la deviazione magnetica, da comparare con i valori della Tabella delle Compensazioni, al fine di verificare il corretto funzionamento della bussola magnetica (che diventa lo strumento per la condotta della navigazione in caso di failures della gyro).



1.22.11.4 Osservazione di un astro

Noti: coordinate della nave (Punto Nave); UTC (oppure T_c , da correggere con K per ottenere T_m); δ dell'astro, ricavata dalle effemeridi; ag ; Pg ; Pb ; d

Determinare: la correzione della gyro C_g e la deviazione della magnetica.

- Si calcola il tempo dell'astro t^* , dalle Effemeridi Nautiche

$$Ts + is = Ts + \lambda s = ts + co\alpha = t^*$$

Da qui si ricava l'angolo al polo P :

se l'astro è al tramonto ($t^* < 180^\circ$) $PW = t^*$

se l'astro è al sorgere ($t^* > 180^\circ$) $PE = 360^\circ - t^*$

Poi si calcola l'angolo zenitale Z :

$$\cos Z = \frac{\text{sen}\delta - (\text{sen}\varphi \times \text{senhs})}{(\text{cos}\varphi \times \text{coshs})}$$

oppure TAV. 18 (A/B/C)

- Si determina l'azimut vero a_v :

se l'astro è al sorgere $a_v = ZE$

se l'astro è al tramonto $a_v = 360^\circ - ZW$

- Dopodiché si calcola la correzione della gyro

$$C_g = a_v - ag$$

«Gyro Error» da riportare sull'apposito registro

in teoria l'errore ha segno uguale e contrario alla correzione, quindi $E_g = -C_g$

- Successivamente si calcola la Prora vera $Pv = Pg + C_g$

- Poi si calcola la Prora magnetica $Pm = Pv - d$

- Si calcola la deviazione magnetica $\delta = Pm - Pb$

- Si calcola poi la variazione magnetica $V = \delta + d$

Se questa è uguale alla differenza " $Pv - Pb$ " il calcolo sull'errore della bussola è corretto.

1.22.11.5 Al sorgere e al tramonto del Sole

Noti: coordinate della nave (Punto Nave); UTC (oppure T_c , da correggere con K per ottenere T_m); ag ; Pg ; Pb ; d

Determinare: la correzione della gyro C_g e la deviazione della magnetica.

- $T_c + K = T_m$

- Per UT, corrispondente a T_m sulle effemeridi, si calcola la declinazione del sole:

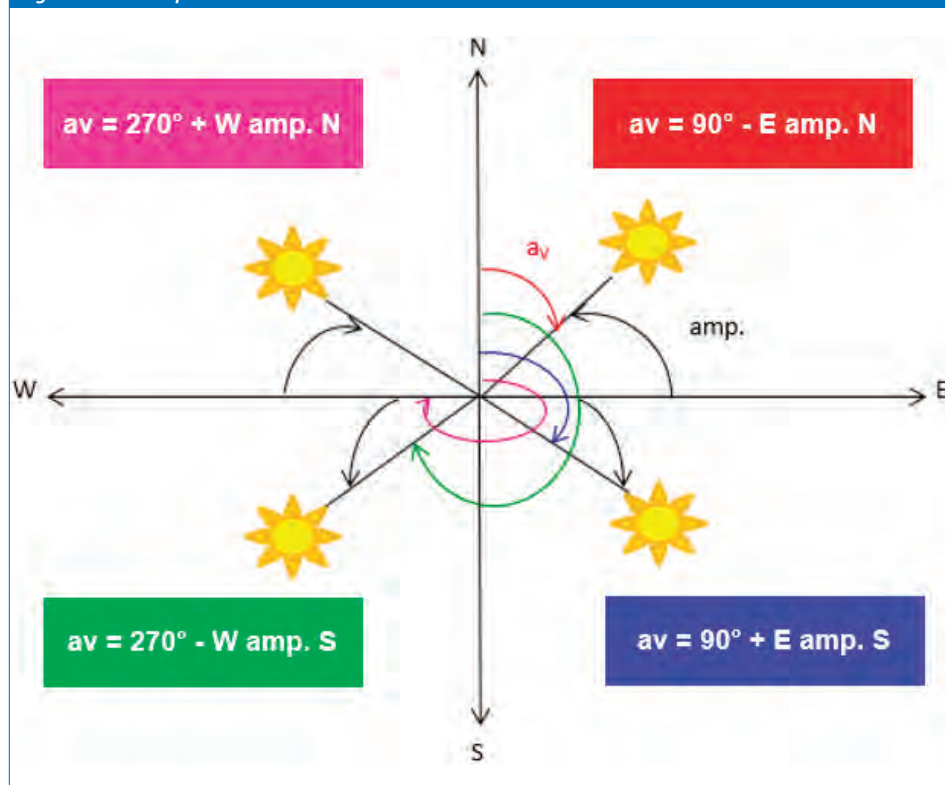
$$\delta \text{ letta} + pp(d) = \delta$$

- si ricava l'amplitudine amp., in funzione della latitudine della nave e della declinazione del sole, dalle tavole 17 dell'IIM; se si osserva il lembo superiore, va apportata la correzione Ca che si trova sempre sulle tav. 17.



Successivamente si calcola l'azimut av in funzione dell'amplitudine calcolata precedentemente (Figura 22.42).

Figura 22.42 - Amplitudine ortiva e occasa del Sole



► Dopodiché si calcola la correzione della gyro

In teoria l'errore ha segno uguale e contrario alla correzione, quindi $Eg = -Cg$.

- Successivamente si calcola la Prora vera $Pv = Pg + Cg$
- Poi si calcola la Prora magnetica $Pm = Pv - d$
- Si calcola la deviazione magnetica $\delta = Pm - Pb$
- Si calcola poi la variazione magnetica $V = \delta + d$

Se questa è uguale alla differenza " $Pv - Pb$ " il calcolo sull'errore della bussola è corretto.