

## 6. – *Condotta della navigazione litoranea costiera.*

Si definisce ***navigazione litoranea nazionale*** quella effettuata entro le acque territoriali (senza limite di destinazione). È il tipo di navigazione che è possibile effettuare con il titolo di Padrone Marittimo (corrispondente a Capitano di 2<sup>a</sup> classe secondo il nuovo D.M. del 5/10/2000) , in posizione di comando su navi fino a 500 T.S.L. (Tonnellate Stazza Lorda) o titolo superiore, oppure con la Patente Nautica da Diporto senza limiti di distanza dalla costa.

Nella pratica si tratta della ben nota ***navigazione costiera***, condotta con l'impiego degli strumenti tradizionali (*bussola, cerchio azimutale, peloro, carte nautiche, portolani, ecc...*) osservando e rilevando i ***punti cospicui*** della costa e, ovviamente, anche con l'ausilio della strumentazione radioelettronica di bordo.

La condotta della navigazione costiera consiste:

- Seguire la rotta stabilita
- Controllare, mediante una serie di FIX, l'aderenza al percorso stabilito
- Apportare le eventuali correzioni per tornare in rotta.

Il primo punto presuppone un lavoro di pianificazione e studio della traversata. Il secondo comprende invece tutti i possibili metodi di determinazione del punto nave (*FIX*), ivi compresi quelli ottenuti con i più moderni sistemi di radionavigazione.

L'ultimo punto presuppone conoscenze di manovra della nave e capacità di calcolo, in quanto è necessario rideterminare la rotta da seguire. Anche nella pianificazione della traversata vengono chiamate in causa le capacità di calcolo dell'Ufficiale di navigazione in quanto è in questa fase che viene studiato il percorso più adatto da seguire, i fabbisogni del bordo in termini di carburante, acqua, viveri, l'organizzazione dei turni di guardia nei vari settori della nave (coperta, macchine, servizi ai passeggeri e/o all'equipaggio, ecc..).

### 6.1. – *I luoghi di posizione in navigazione costiera.*

Nel seguito con l'acronimo ***LOP*** (*Line Of Position*) indicheremo i ***luoghi di posizione***; il ***punto nave*** verrà indicato con ***FIX***. Per determinare il ***FIX*** in navigazione costiera si ricorre all'osservazione dei ***punti notevoli*** (o *cospicui*) ovvero di quelle costruzioni (*fari, fanali, ciminiere, campanili, torri, castelli, picchi, ecc..*) facilmente riconoscibili dal mare e riportati sulle carte nautiche.

Una loro descrizione è riportata sui ***Portolani***, pubblicazioni dove vengono riportate anche disegni, illustrazioni e foto dei punti notevoli e della costa.

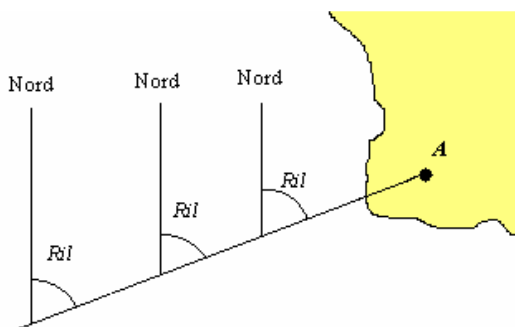
I ***LOP*** ottenibili sono:

- Semiretta di rilevamento
- Semiretta di allineamento (o *allineamento*)
- Circonferenza di uguale distanza
- Cerchio capace
- Linea batimetrica.

La loro descrizione e i relativi metodi di osservazione e misura per ottenerli verranno trattati nei prossimi paragrafi; il loro impiego è lo scopo alla base della presente trattazione.

### 6.2.1 – Semiretta di rilevamento.

Si ottiene misurando alla bussola l'angolo che la direzione di vista dell'oggetto osservato forma con la direzione del Nord, ovvero con il meridiano. Tale angolo è definito *rilevamento  $Ril$*  e di misura in senso orario da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Il LOP da tracciare sulla carta nautica è una semiretta uscente dal punto osservato verso il largo, come mostrato nell'esempio in figura.



Come si può osservare dalla figura, in qualsiasi punto della semiretta l'oggetto **A** è visto secondo lo stesso angolo di rilevamento  **$Ril$** , è per questa ragione che la semiretta di rilevamento è un LOP. Asseconda del meridiano di riferimento utilizzato, il rilevamento viene indicato come:

- Rilevamento vero  **$Ril_v$** , se ci si riferisce al Nord vero  $N_v$
- Rilevamento magnetico  **$Ril_m$**  se ci si riferisce al Nord magnetico  $N_m$
- Rilevamento bussola  **$Ril_b$**  se ci si riferisce al Nord bussola  $N_b$

La relazione che li lega è, evidentemente, la cosiddetta *formula di correzione*:

$$\mathbf{Ril_v = Ril_b + d + \delta}$$

Inoltre è possibile, utilizzando la cosiddetta *formula di conversione*, risalire da  $Ril_b$  a  $Ril_v$ :

$$\mathbf{Ril_b = Ril_v - \delta - d}$$

E ancora sono verificate le seguenti uguaglianze :

$$Ril_v = Ril_m + d$$

$$Ril_m = Ril_b + \delta$$

Con le relative inverse:

$$Ril_m = Ril_v - d$$

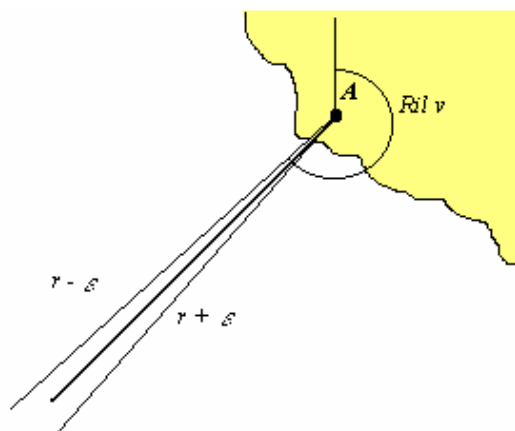
$$Ril_m = Ril_b - \delta$$

Sul LOP così ottenuto grava certamente un *errore di misura  $\epsilon$*  dato dalla somma:

$$\epsilon = \epsilon_s + \epsilon_a$$

dove  $\epsilon_s$  è detto *errore sistematico* o componente sistematica e  $\epsilon_a$  è detto *errore accidentale* o componente accidentale.  $\epsilon_a$  non si ripete in egual misura nelle varie osservazioni, come accade invece per la componente sistematica  $\epsilon_s$  che dipende invece dall'osservatore e dal suo modo di apprezzare le misure effettuate, oltre che da errori strumentali non noti. Ovviamente l'entità ed il segno dell'errore non sono noti, per cui si è soliti assegnare all'errore il doppio segno  $\pm \epsilon$ .

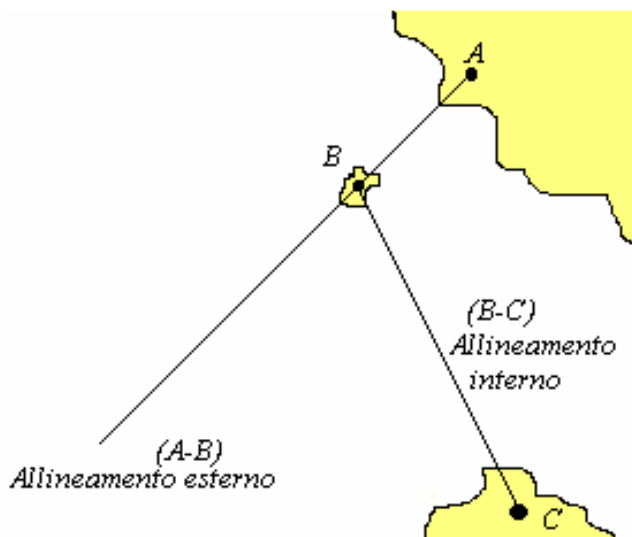
Ciò comporta che al posto della semiretta di rilevamento  $r$  dovremo considerare la striscia di mare compresa tra le semirette  $r - \varepsilon$  e  $r + \varepsilon$  mostrate in figura. Si vede bene inoltre che l'incidenza dell'errore  $\varepsilon$  aumenta all'aumentare della distanza dal punto notevole osservato.



### 6.2.2 – Allineamento.

L'allineamento si ottiene quando due punti notevoli compaiono perfettamente allineati all'occhio dell'osservatore. Il LOP da tracciare sulla carta nautica è la semiretta passante per la coppia di punti rilevati. L'allineamento si usa in fase di atterraggio, in navigazione lungo un canale o in una zona di secche e bassi fondali.

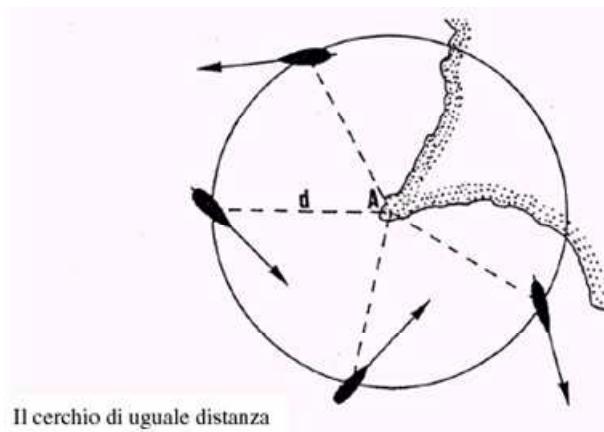
Può essere naturale, cioè creato per esempio da due edifici o costruzioni o un faro e uno spuntone di roccia o un campanile in lontananza, o artificiale ovvero creato apposta con l'ausilio di alcuni pali o tralicci sui quali vengono posti dei segnali ben visibili. In figura sono mostrati un esempio di **allineamento interno** ed uno di **allineamento esterno**.



L'allineamento risulta essere un LOP privo di errori ( $\varepsilon = 0$ ) pertanto è molto ricercato per la determinazione di un FIX affidabile.

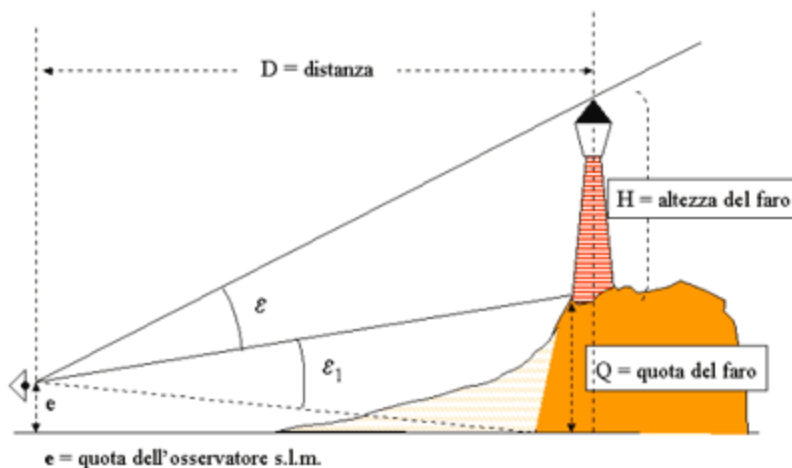
### 6.2.3 – Circonferenza di uguale distanza.

È un LOP ottenuto misurando la distanza da un punto notevole della costa: il problema maggiore consiste nella difficoltà di misurare in mare la distanza di un oggetto. Solitamente si adoperano allo scopo **metodi di misura indiretti**, osservando per esempio l'angolo che sottende l'altezza di un faro sul livello del mare o la distanza radar di un capo o un promontorio la cui forma particolare risulta facilmente riconoscibile sullo schermo radar (PPI).



Il LOP da tracciare è in questo caso una circonferenza avente centro nel punto notevole e per raggio la distanza  $\underline{d}$  dal punto stesso.

Un primo metodo di misura della distanza consiste nella misura dell'angolo che sottende l'altezza di un faro sul livello del mare; l'altezza  $h$  del faro è riportata nella sua caratteristica segnata sulla carta nautica; l'angolo  $\alpha$  può essere misurato direttamente con l'impiego del sestante.



$$d = h \cdot \cotan \alpha$$

Come mostra la figura, si tratta di risolvere il triangolo rettangolo avente per cateti l'altezza  $\underline{h}$  del faro e la distanza  $\underline{d}$  tra questo e l'osservatore. La formula sopra scritta permette di calcolare la distanza  $\underline{d}$  e di tracciare il relativo LOP. La distanza  $\underline{d}$  può ottenersi anche utilizzando le tavole 8 e 9 delle TAVOLE NAUTICHE. La prima (tavola 8) fornisce la *distanza da un oggetto di altitudine nota, situato dentro l'orizzonte dedotta dall'angolo verticale sotteso* è, in pratica, la tabulazione della formula sopra descritta. La tavola 9, invece, fornisce la *distanza da un oggetto di altitudine nota situato fuori dell'orizzonte visibile, dedotta dalla misura dell'altezza angolare* ed è calcolata mediante la formula:

$$d = (h - e) \cdot \cotan \alpha \left[ (\alpha - i) + \frac{d \cdot (n - 1)}{2R \cdot \sin 1''} \right]$$

dove:

- $h$  = altezza dell'oggetto sul livello del mare in metri
- $e$  = elevazione dell'occhio dell'osservatore in metri
- $i$  = depressione apparente dell'orizzonte
- $d$  = distanza in miglia
- $n$  = coefficiente di rifrazione terrestre : 0,13 (Gauss)
- $\alpha$  = altezza angolare dell'oggetto sull'orizzonte del mare
- $R$  = raggio terrestre.

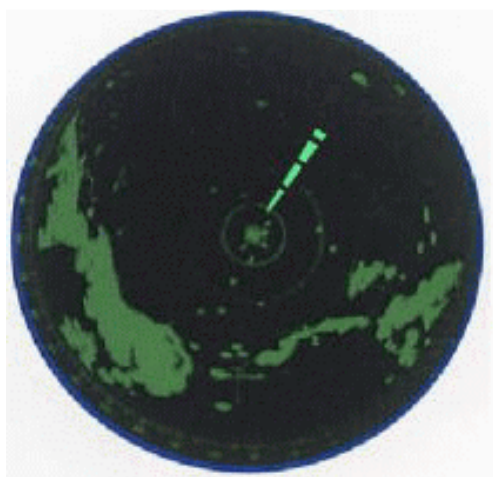
Nella pratica di bordo è prassi utilizzare le osservazioni radar ogni volta che la conformazione della costa, di un capo o di un promontorio ove si trova un punto notevole risulta essere facilmente riconoscibile e la scala adoperata per la portata radar è adeguata e tale da consentire il riconoscimento sul PPI (Plan Position Indicator) del radar.

Infatti l'equazione della distanza radar fornisce:

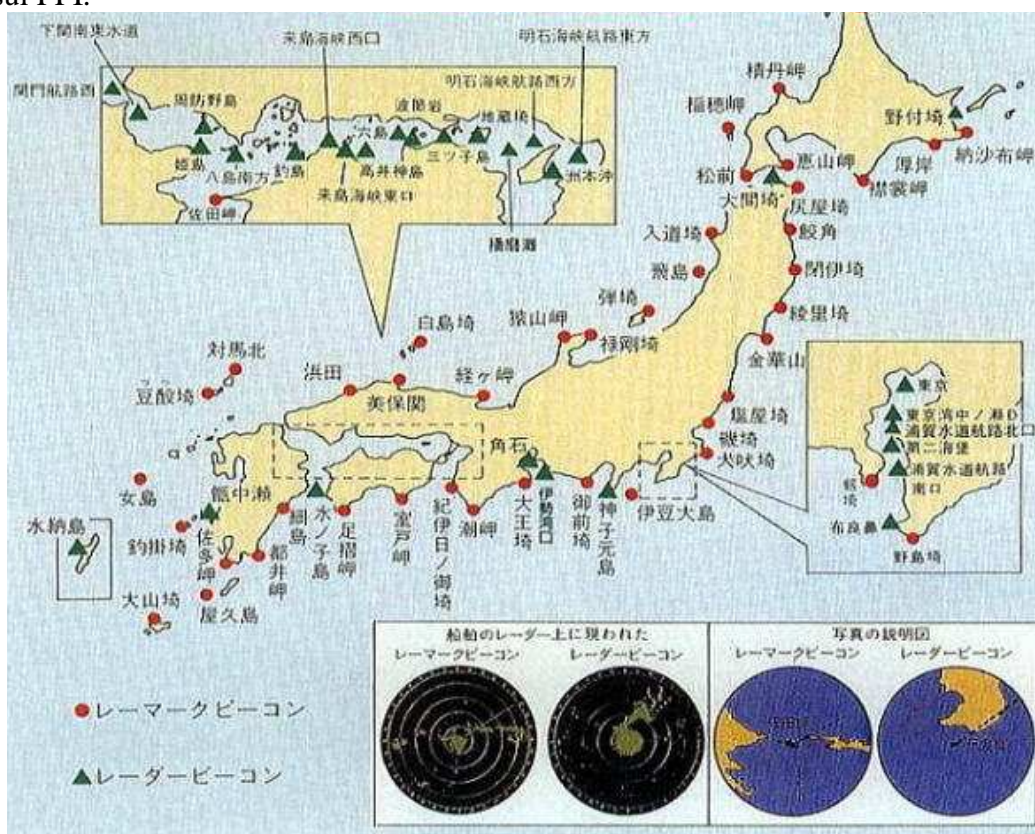
$$d = \frac{1}{2} \Delta t \cdot c$$

con  $\Delta t$  intervallo di tempo in  $\mu s$  (microsecondi) impiegato dagli impulsi radar per coprire la distanza **ANTENNA-BERSAGLIO-ANTENNA** e  $c$  velocità di propagazione delle radioonde ( $\approx 299.999$

km/sec). Il radar è uno strumento molto preciso nella determinazione delle distanze degli echi dei bersagli. In considerazione di ciò sono stati creati dei **risponditori radar** o **radar fari** molto diffusi nei mari del nord Europa e largamente utilizzati in navigazione costiera: si tratta dei **racon** e dei **ramark**. Il primo è un risponditore attivo con una portata di circa 20 miglia che, quando riceve gli impulsi emessi da un radar, da qualunque direzione essi provengano, emette automaticamente un segnale ad impulsi con caratteristiche particolari che vengono visualizzate sul PPI con lettere dell'alfabeto morse. I **racon** forniscono rilevamento e distanza (letta sulla prima traccia del loro nominativo) consentendo così di ottenere un FIX.

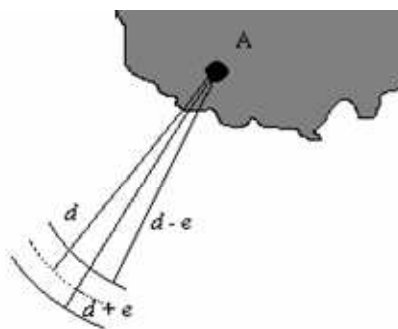


I **ramark** sono invece dei veri e propri radar fari che emettono segnali omnidirezionali. Vengono usati per il rilevamento. Nella figura è mostrato un esempio di visualizzazione di segnali **ramark** sul PPI.





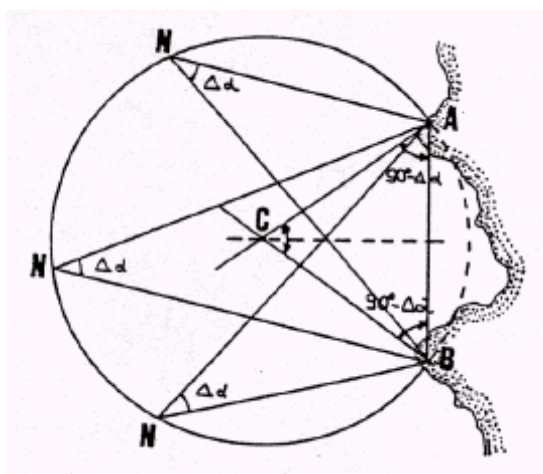
Come in ogni misura anche per la circonferenza di uguale distanza è presente un errore  $\epsilon$  la cui entità è incognita. Ciò comporta il dover considerare, in luogo dell'arco di circonferenza, la striscia compresa tra le due curve  $d + \epsilon$  e  $d - \epsilon$  ricadenti in prossimità del punto dove si stima possa trovarsi la nave, come mostrato in figura.



### 6.2.4 – Cerchio capace.

È un LOP ottenuto misurando la differenza d'azimut  $\Delta\alpha$  tra due punti notevoli della costa. Per il suo tracciamento si procede secondo la seguente sequenza di operazioni:

1. si taccia la **linea di base** congiungente i due punti A e B
2. dal suo punto mediano M si traccia la perpendicolare alla linea di base AB
3. indifferentemente, da A o da B si fa uscire una semiretta inclinata di  $\Delta\alpha$  rispetto alla linea di base
4. si fa uscire dal punto prescelto la semiretta perpendicolare fino ad intersecare in C l'asse passante per M
5. con apertura di compasso pari ad AC e BC si traccia la circonferenza passante per A e B



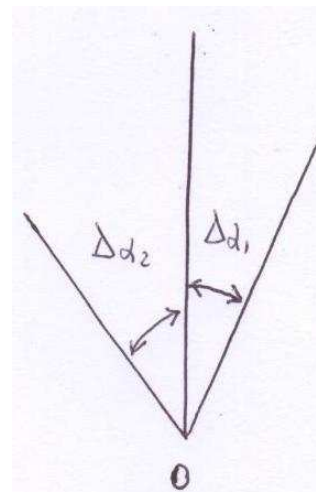
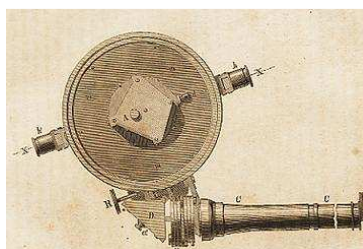
Per misurare una differenza d'azimut  $\Delta\alpha$  si ricorre solitamente all'impiego del sestante, utilizzandolo sul piano orizzontale per collimare i due punti notevoli osservati.

Nel recente passato sulle unità della Marina Militare veniva utilizzato allo scopo dagli Ufficiali di navigazione il cerchio Amici-Magnaghi costituito da un sistema di oculari e prismi ottici che permettono di collimare i due oggetti osservati ricavandone in maniera diretta l'angolo  $\Delta\alpha$ .

Il cerchio capace è un LOP privo di errore sistematico ( $\epsilon_s = 0$ ). Tuttavia il suo tracciamento risulta abbastanza laborioso, pertanto nella pratica, quando si vuole ottenere un FIX con due cerchi capaci, si preferisce adottare un altro sistema più semplice ed immediato.

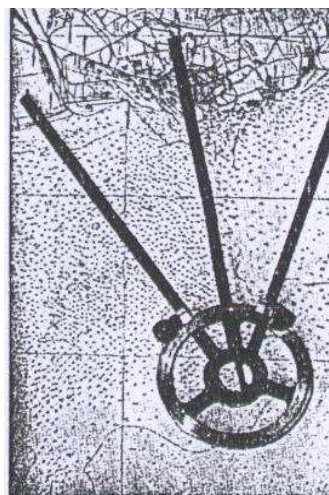
Misurate le due differenze d'azimut  $\Delta\alpha_1$  e  $\Delta\alpha_2$  relative alle due coppie di punti notevoli, su di un foglio di carta velina si traccia un asse uscente dal punto O.

A sinistra di questo si tratterà una semiretta con origine in O ed inclinata rispetto alla prima di un angolo pari a  $\Delta\alpha_1$ . Un'altra semiretta sempre uscente da O ed inclinata di un angolo  $\Delta\alpha_2$  si tratterà a destra di quella centrale. Portando il foglio sulla carta nautica si cercherà di far passare le 3 semirette per i 3 punti cospicui rilevati; quando ciò avverrà si



praticherà un foro esercitando una leggera pressione con la punta della matita in corrispondenza del punto O, ottenendo così il FIX direttamente sulla carta nautica e senza la necessità di dover tracciare i due cerchi capaci.

Quanto sopra descritto viene realizzato con l'impiego dello *staziografo*, strumento illustrato in figura oggi, in verità, poco usato.



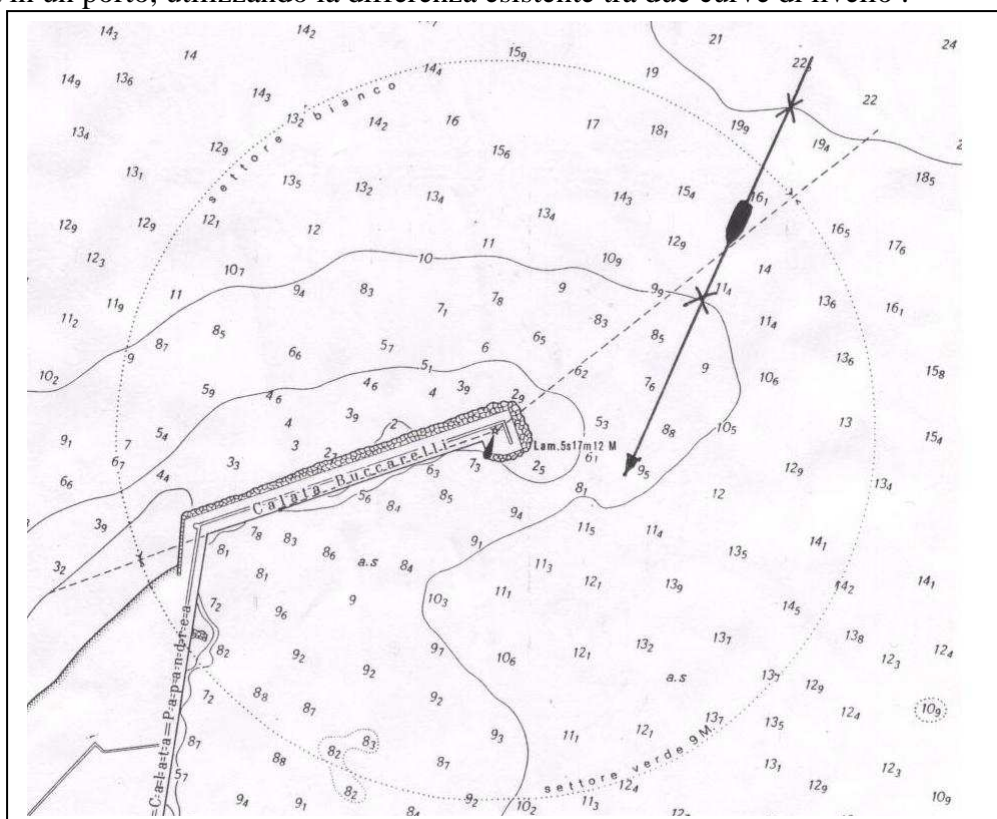
### 6.2.5 – Linea batimetrica.

Si tratta di un LOP ottenuto misurando la profondità del mare con l'ausilio dello scandaglio. È bene precisare che si tratta di un LOP poco preciso a causa delle correzioni che è necessario apportare alle misure di profondità. Il livello del mare, infatti, in un qualsiasi momento risulta essere diverso (*solitamente è maggiore*) del livello medio di riferimento riportato dalle isobate tracciate sulla carta nautica. Ciò è legato a ragioni di sicurezza, poiché la profondità segnata sulla carta è quella risultante dalla media delle basse maree sizigiali al fine di evitare che si possa avere la disponibilità di una profondità minore di quella indicata. Inoltre è necessario conoscere la fase *attuale* della marea per apportare le ulteriori correzioni.

Solitamente si preferisce misurare la differenza di profondità tra due isobate perché, a prescindere dalla fase di marea, questa si mantiene inalterata.

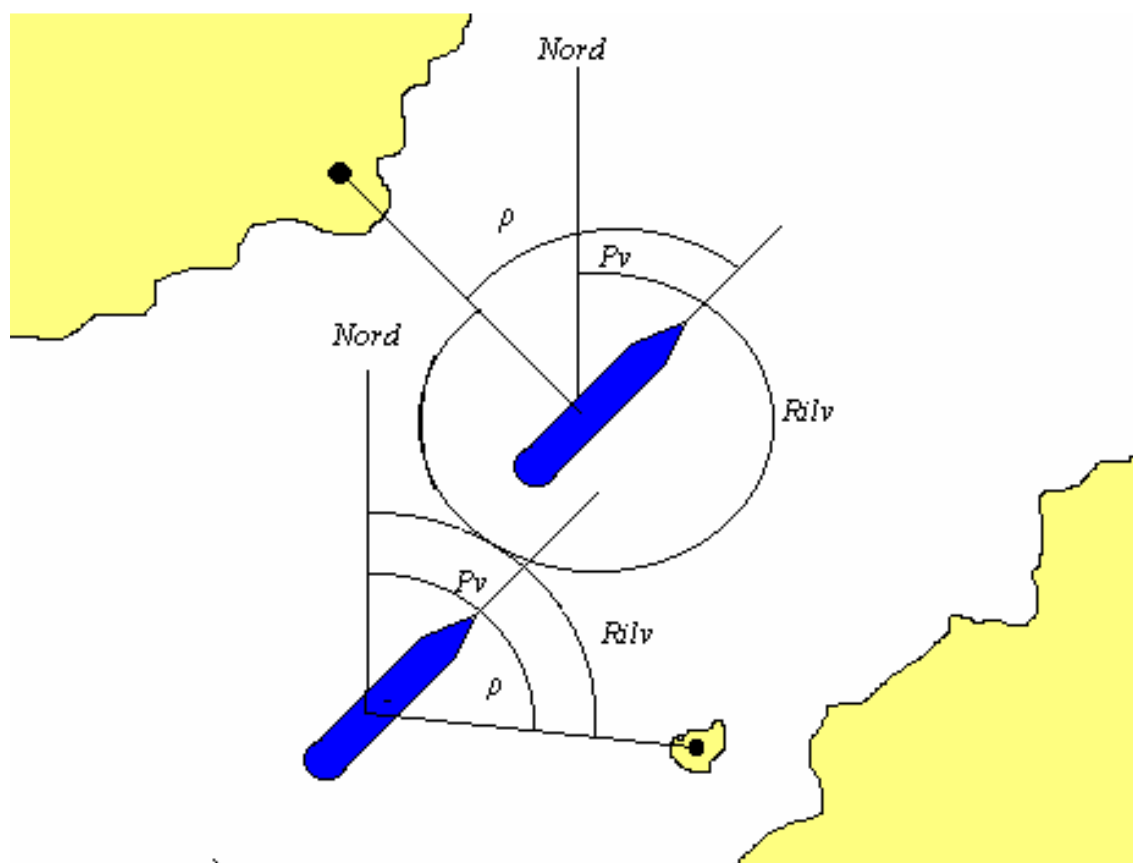
Comunque nonostante quanto detto sopra la misura della profondità può risultare utile, oltre che attendibile, quando il fondale ha un andamento regolare, oppure se si naviga in un canale e/o su di una rotta individuata da un allineamento di atterraggio.

In figura è mostrato un caso di impiego della batimetrica nella fase di atterraggio per l'entrata in un porto, utilizzando la differenza esistente tra due curve di livello.



### 6.3. – Il rilevamento polare.

Oltre che l'angolo di rilevamento  $Ril$ , riferito alla direzione del Nord, determinato quindi con l'ausilio della bussola magnetica (o di quella giroscopica (*Girobussola*)) è d'uso comune a bordo la determinazione del **rilevamento polare**  $\rho$  individuato misurando l'angolo tra l'asse longitudinale della nave (direzione poppa-prora) e la direzione di vista dell'oggetto osservato.



Come mostrato in figura il rilevamento polare  $\rho$  è legato all'angolo di rilevamento  $Ril_v$  dalla semplice relazione:

$$Ril_v = P_v + \rho$$

dove  $P_v$  è ovviamente l'angolo di **prora vera**.

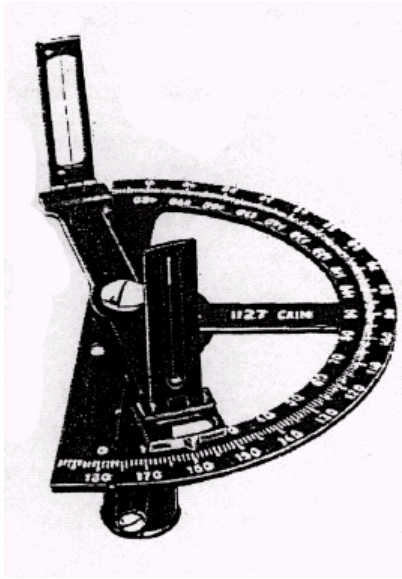
Convenzionalmente il rilevamento polare  $\rho$  si misura da  $0^\circ$  a  $180^\circ$  da prora verso poppa assegnando segno positivo + se l'oggetto osservato si trova a dritta, segno negativo - se l'oggetto si trova a sinistra. Gli anglosassoni usano misurare  $\rho$  con un angolo circolare da  $0^\circ$  a  $360^\circ$ .

L'impiego dei rilevamenti polari è molto diffuso in navigazione costiera poiché consente di determinare il punto nave FIX o ottenere utili informazioni sul moto della propria nave utilizzando anche un solo punto notevole.

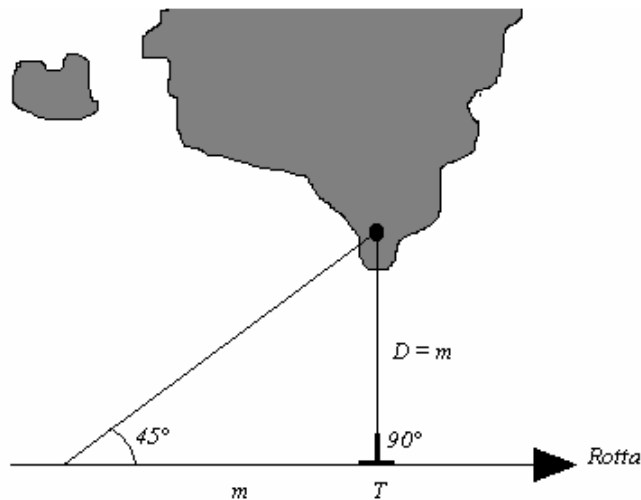
Per ottenere il FIX si utilizza il cosiddetto **metodo dei  $45^\circ$  al traverso** sintetizzato nella figura seguente. Allo scopo si utilizza, come strumento di misura il **peloro** o i **grafometri**. In entrambi i casi si tratta di angoli goniometrici di  $360^\circ$ , nel caso del peloro, e di  $180^\circ$  per i grafometri, sempre e comunque con l'asse  $0^\circ \div 180^\circ$  orientato parallelamente alla direzione prora-poppa (*asse*



longitudinale della nave) dalla quale si misurano gli angoli di rilevamento polare. Nella figura sono illustrati un peloro ed un grafometro.



Peloro



Per il *metodo dei 45° al traverso* si procede nella maniera seguente:

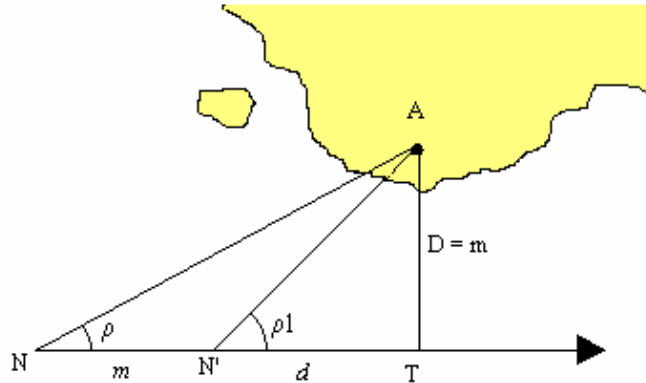
1. si predispose il peloro (o il grafometro) per la misura dell'angolo  $\rho = 45^\circ$  del punto notevole **A** e, quando questo è collimato, si fa partire il cronometro avendo cura di mantenere rotta e velocità costanti;
2. quando il punto **A** è rilevato per l'angolo  $\rho = 90^\circ$  si **stoppa** il cronometro e con la relazione :

$$m = V \cdot \Delta t$$

si calcola il cammino  $m$  percorso nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  alla velocità  $V$ .

3. trattandosi, come si evince dalla figura, di un triangolo isoscele rettangolo il lato  $m$  risulta essere uguale alla distanza tra **A** e  $P_n$ , con  $P_n$  FIX ottenuto dall'intersezione di un rilevamento e una circonferenza di distanza .

Come detto prima i rilevamenti polari vengono utilizzati per il controllo della rotta o per stabilire a che distanza si transiterà al traverso di un punto, sia quanto cammino deve percorrere la nave per transitarvi. Allo scopo si utilizza una serie di rilevamenti polari secondo angoli predeterminati seguendo una determinata sequenza, meglio nota come *serie di Troub*, appresso illustrata nelle figure seguenti.



Consideriamo quindi il triangolo rettangolo  $ANT$  in figura, si ricava:

$$D = NT \cdot \operatorname{tg} \rho$$

da cui:

$$NT = D \cdot \operatorname{ctg} \rho$$

Dal triangolo rettangolo  $AN_1T$  analogamente si ricava:

$$D = N_1T \cdot \operatorname{tg} \rho_1$$

da cui:

$$N_1T = D \cdot \operatorname{ctg} \rho_1$$

e sottraendo membro a membro si avrà :

$$NT - N_1T = NN_1 = m = D \cdot \operatorname{ctg} \rho - D \cdot \operatorname{ctg} \rho_1$$

da cui :

$$D = \frac{m}{\operatorname{ctg} \rho - \operatorname{ctg} \rho_1}$$

In base a questa formula generale è dunque possibile definire la distanza al traverso  $D$  da quella relativa al percorso effettuato dalla nave nell'intervallo di tempo compreso tra i due rilevamenti  $\rho$  e  $\rho_1$  ovvero da  $m$ . Per stabilire ciò basta scegliere per  $\rho$  e  $\rho_1$  valori tali per i quali la differenza  $\operatorname{ctg} \rho - \operatorname{ctg} \rho_1$  risulti uguale ad un numero intero per cui, però,  $m$  possa essere facilmente diviso.

Così ad esempio, si possono scegliere  $\rho$  e  $\rho_1$  tali che

$$\operatorname{ctg} \rho - \operatorname{ctg} \rho_1 = 1$$

per avere:

$$D = m.$$

Nella pratica, però, è utilizzata una serie di rilevamenti polari per i quali risulta:

$$\operatorname{ctg} \rho - \operatorname{ctg} \rho_I = 0,5$$

e, quindi,

$$D = \frac{m}{0,5} = 2 \cdot m$$

ovvero la distanza al traverso è uguale al doppio del cammino percorso tra i due rilevamenti.

I rilevamenti polari che soddisfano tale condizione sono:

$$22^\circ \quad 26^\circ,5 \quad 34^\circ \quad 45^\circ \quad 63^\circ \quad 90^\circ$$

in quanto le rispettive cotangenti risultano avere una differenza pari a 0,5 tra il primo ed il successivo, come mostra la seguente tabella.

Angolo	Valore	Valore approssimato
$\operatorname{cotg} 22^\circ$	2,47509	2,5
$\operatorname{cotg} 26^\circ,5$	2,00569	2,0
$\operatorname{cotg} 34^\circ$	1,48256	1,5
$\operatorname{cotg} 45^\circ$	1,00000	1,0
$\operatorname{cotg} 63^\circ$	0,50953	0,5
$\operatorname{cotg} 90^\circ$	0,00000	0,0

La serie di Troub è riferita proprio a questi angoli che, in alcuni tipi di grafometri, viene riportata per promemoria. Come si vede, dunque, se il cammino percorso fra i rilevamenti polari determinati  $22^\circ$  e  $26^\circ,5$  è di 2 miglia, la distanza al traverso sarà di 4 miglia, mentre quella da percorrere per arrivare al traverso sarà di 8 miglia.

Se invece il cammino  $m$  è compreso tra i rilevamenti di  $22^\circ$  e  $34^\circ$  ovvero  $34^\circ$  e  $63^\circ$  ovvero  $26^\circ,5$  e  $45^\circ$ , la distanza al traverso  $D$  sarà uguale a  $m$ . La serie di Troub permette quindi di stabilire con rapidità e solo con due rilevamenti polari determinati dello stesso oggetto, la distanza al traverso da un punto notevole. Ciò ha una fondamentale importanza in termini di sicurezza della navigazione in prossimità di secche e canali.

Inoltre, come prima anticipato, l'impiego della serie di Troub permette di rilevare la presenza di una corrente e la sua direzione, ovvero se porta la nave a scendere sottocosta o, viceversa, se la spinge al largo.

In particolare, se ad intervalli di tempo uguali si rileva l'oggetto osservato secondo gli angoli determinati, vuol dire che non c'è corrente.

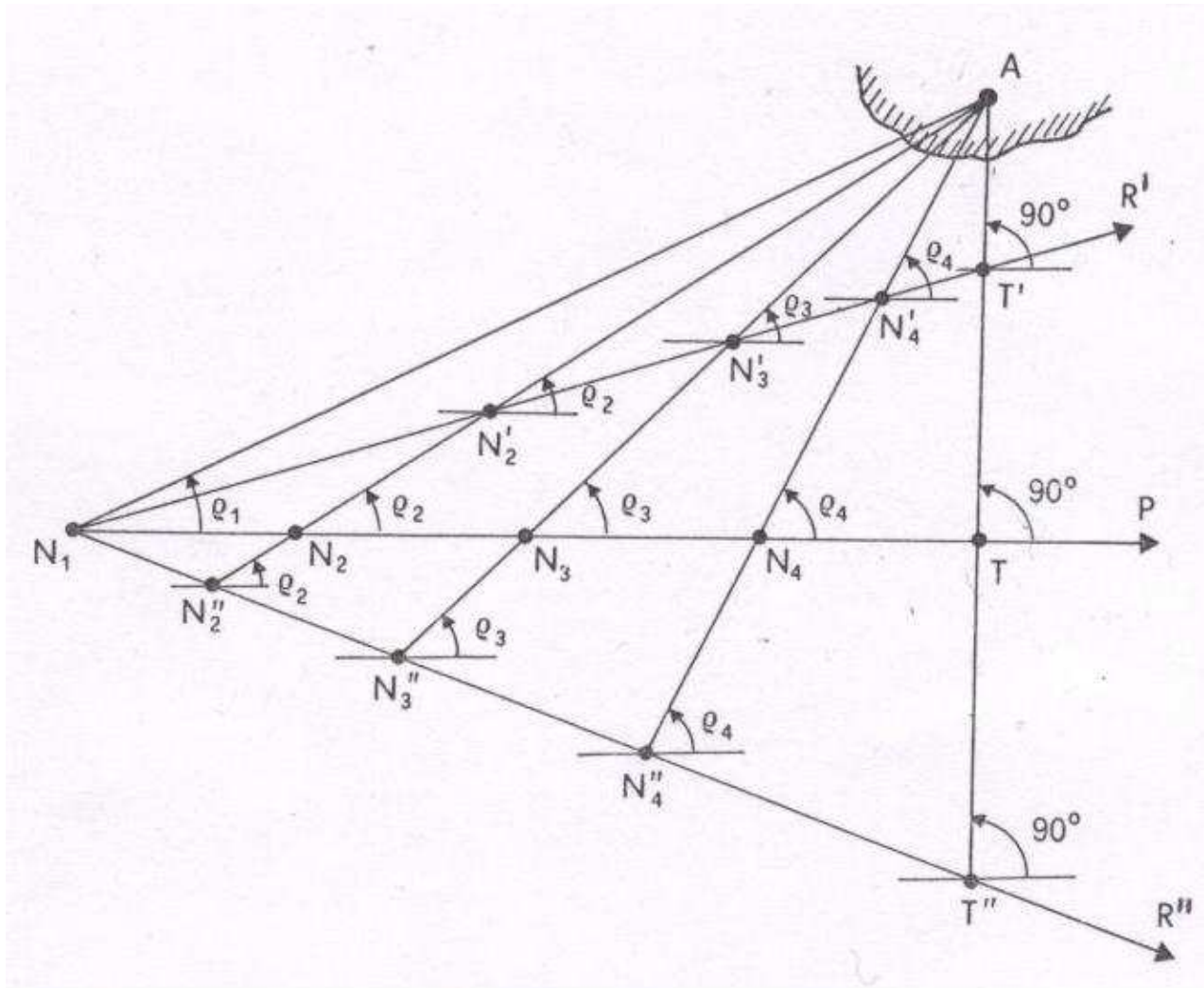
Se invece, mantenendo costante la prora e la velocità della nave gli angoli della serie di Troub vengono rilevati ad intervalli di tempo a mano a mano decrescenti, vuol dire che si è in presenza di una corrente diretta verso la costa.

La nave seguirà dunque il percorso indicato con  $R'$  in figura e tra un rilevamento e l'altro non viene più mantenuta l'uguaglianza dei cammini  $m$ .

Analogamente a quanto già detto, se la corrente proviene dalla costa, la nave si sposterà nella direzione  $R''$ , pur mantenendo la stessa prora.

In questo caso i rilevamenti polari determinati saranno rilevati ad intervalli di tempo sempre crescenti, così come gli intervalli di tempo necessari a percorrerli.

In pratica, dunque, se l'osservatore rileva gli angoli della serie di Troub ad intervalli di tempo a mano a mano crescenti dovrà dedurre che la zona di mare attraversata è interessata da una corrente diretta dalla costa verso il largo.



#### 6.4. – Le basi misurate.

Meritano considerazione nell'ambito di questa trattazione le cosiddette **basi misurate** ovvero tratti di mare dove una distanza marina ha lunghezza nota con precisione e compresa tra punti notevoli facilmente riconoscibili e osservabili.

Le basi misurate vengono utilizzate per effettuare le prove di velocità, eseguire le manovre standard, provare l'apparato motore e gli organi di governo al termine delle operazioni di costruzione e allestimento di una nave.

Le descrizioni particolareggiate di tutte le basi misurate si trovano sulla pubblicazione "**Basi misurate per la determinazione della velocità delle navi**" edita dall'Istituto Idrografico della Marina, una loro menzione è presente anche nei Portolani. Tutte le basi misurate sono ubicate in specchi di mare ricchi di punti cospicui e con acque profonde, la loro lunghezza è ubicata su



allineamenti di prora e delimitata da punti da rilevarsi *al traverso* in ingresso o in uscita dalla base, come mostrato schematicamente in figura.

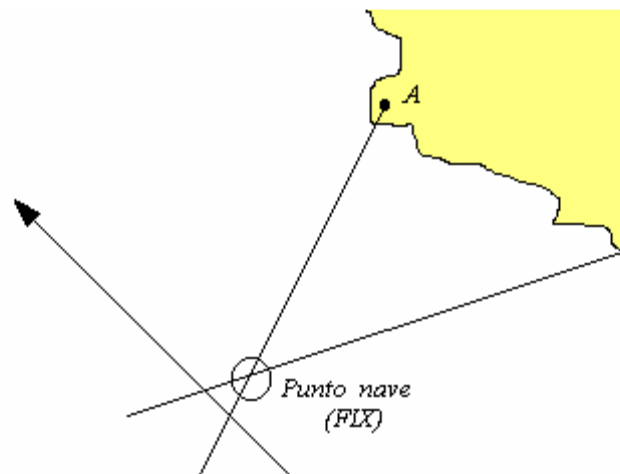


### 6.5. – Il punto nave costiero.

Al fine di ottenere un punto nave costiero o FIX è necessario combinare tra loro almeno due dei LOP descritti nei precedenti paragrafi. Così un punto nave si può ottenere dall'intersezione di due semirette di rilevamento, di due cerchi capaci, di due allineamenti, di due circonferenze di uguale distanza, eccetera.

Qualche esempio è stato già fornito quando si è parlato dello *staziografo* o si è descritto l'impiego dei rilevamenti polari nel *metodo dei 45° al traverso*.

Non esistono regole fisse da suggerire al navigante su quale coppia di LOP è meglio combinare per ottenere il FIX; certo potendo disporre di due allineamenti si potrà ottenere un punto nave abbastanza affidabile, ma saranno l'esperienza e le circostanze a suggerire caso per caso quale osservazione fare e quale LOP utilizzare.



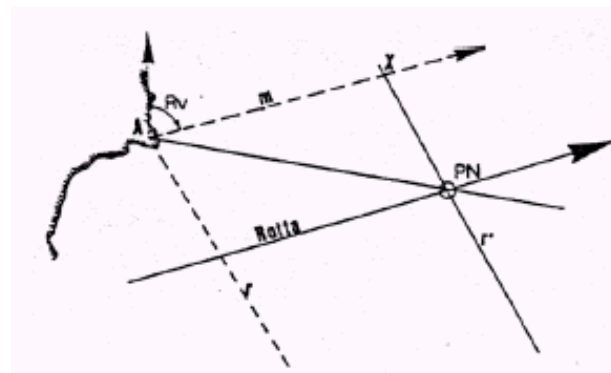
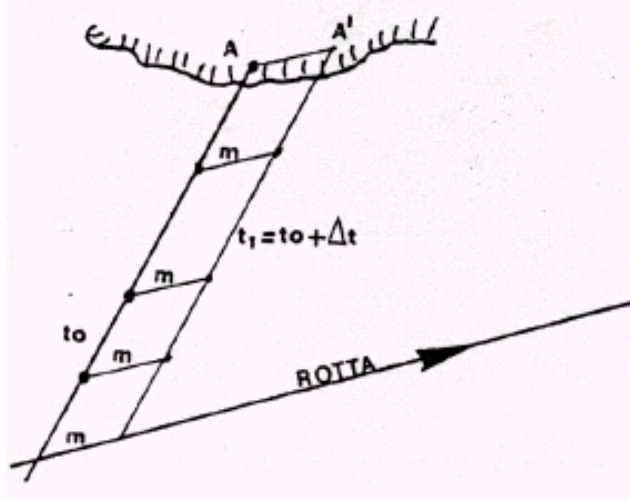
### 6.5.1 – Il trasporto di un luogo di posizione LOP.

Partiamo dal presupposto che un luogo di posizione LOP è tale, cioè contiene la nave, solo nell'istante in cui si effettua la misura. Poiché la nave è in moto, prima e dopo questo istante di osservazione  $t_0$  il LOP **non** la contiene. Ciò accade, per esempio, quando si osservano due punti notevoli con due osservazioni vicine nel tempo ma, comunque, effettuate in due istanti diversi.

Nell'intervallo di tempo  $\Delta t$  trascorso tra la prima e la seconda osservazione, la nave si è spostata lungo la rotta di una distanza  $m = V \cdot \Delta t$ , pertanto volendo ottenere il punto nave è necessario rendere simultanei i due LOP operando quello che viene definito **trasporto del luogo di posizione**.

Quanto sopra si ottiene operando uno spostamento della semiretta  $r$  di figura parallelamente a se stessa della quantità  $m = V \cdot \Delta t$  lungo la rotta  $R$  e ottenendo così il luogo trasportato  $r'$  simultaneo al luogo di posizione  $s$  ottenuto con l'osservazione effettuata nell'istante  $t' = t_0 + \Delta t$ . Nella pratica è necessario trasportare un solo punto del LOP e da questo tracciare il nuovo LOP parallelamente al precedente.

Se si deve trasportare una circonferenza sarà sufficiente trasportare il centro di questa e da qui tracciare la nuova curva.



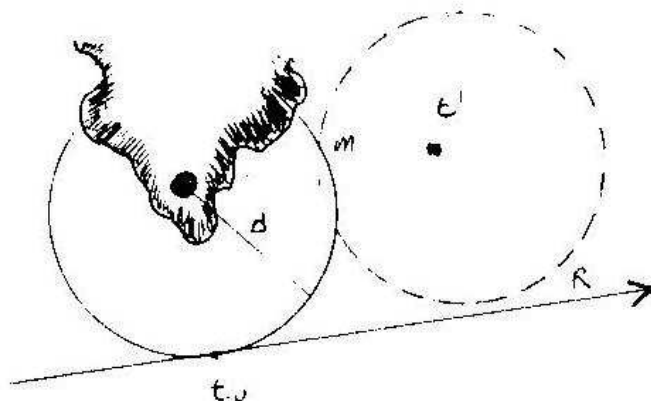
Rilevamenti intervallati dello stesso oggetto

### 6.6. – Il Carteggio nautico.

Si intende per carteggio nautico tutto l'insieme di operazioni grafiche che portano al tracciamento di rotte e rilevamenti sulla carta nautica al fine di determinare il FIX.

Appare opportuno allo scopo descrivere sommariamente ed in maniera tutt'altro che esaustiva i vari tipi di carte nautiche solitamente adoperate in navigazione; per un loro più approfondito esame si rimanda ad un testo di cartografia.

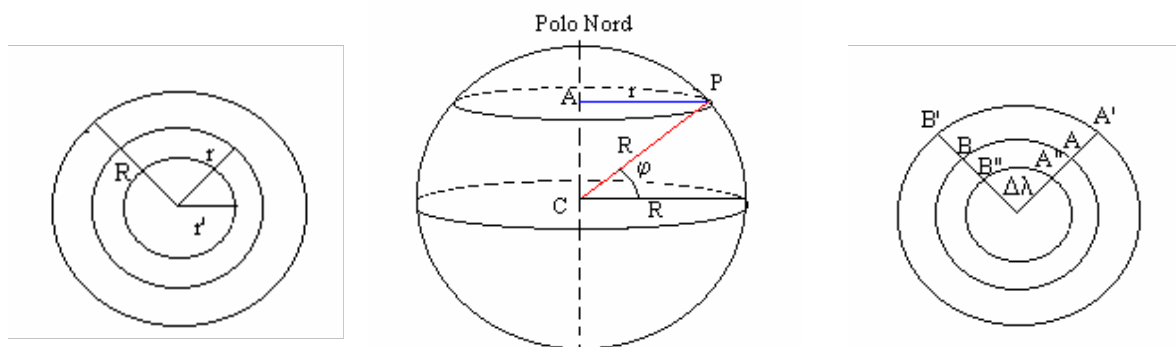
Inoltre si darà una descrizione delle **Pubblicazioni Nautiche** e degli **attrezzi** utilizzati per il carteggio.



## 7. – Elementi di navigazione.

### 7.1.1 – Relazione tra arco di Equatore e simile arco di parallelo.

Si è stabilito in precedenza di considerare la Terra di forma sferica. In questa ipotesi l'Equatore ed i meridiani saranno delle **circonferenze massime**, mentre i paralleli saranno delle **circonferenze minori** il cui raggio decresce allontanandosi dall'Equatore come si evince dalla figura del Globo Terrestre e dalle figure sottostanti.



Se adesso consideriamo il piano meridiano passante per il punto P si osserverà che il triangolo CPA è rettangolo in A ed inoltre che l'ipotenusa CP è uguale al raggio della sfera R che è pure uguale al Raggio Equatoriale. Pertanto il cateto AP (raggio del parallelo  $r$ ) risulterà uguale a:

$$AP = CP \cdot \cos \varphi \quad \text{ossia} \quad r = R \cdot \cos \varphi$$

Il termine  $\cos \varphi$  è quello che regola la variazione del raggio del parallelo  $r$  rispetto al raggio equatoriale  $R$ . Riportando adesso il ragionamento all'angolo di longitudine  $\Delta\lambda$  compreso tra i meridiani dei punti A e B e, conseguentemente per i punti A' e B', A'' e B'', si dedurrà che pur rimanendo costante il valore di  $\Delta\lambda$  la lunghezza dell'arco di parallelo compreso tra le coppie di punti diminuirà all'aumentare della latitudine, proprio in misura di  $\cos \varphi$ .

Ciò si deduce anche ponendo la proporzione:

$$\frac{\mu}{\Delta\lambda} = \frac{r}{R} = \cos \varphi \qquad \frac{\mu'}{\Delta\lambda} = \frac{r'}{R'} = \cos \varphi$$

il che porta a scrivere:

$$\mu = \Delta\lambda \cdot \cos \varphi$$

espressione che permette di mettere in relazione un arco di equatore e l'arco di parallelo sotteso dagli stessi meridiani.

### 7.1.2. – Navigazione per meridiano e per parallelo.

Quando una nave si muove per meridiano con  $R_v = 0^\circ$  o  $180^\circ$  essa mantiene invariata la propria longitudine  $\lambda$ , mentre la sua latitudine  $\varphi$  varia in ragione di un primo d'arco per ogni miglio percorso. Stessa condizione si ha se, navigando sull'Equatore, si segue  $R_v = 90^\circ$  o  $270^\circ$ . In questo caso è la longitudine che varia in ragione di un primo d'arco per ogni miglio percorso. A latitudini diverse da  $0^\circ$ , sopra o sotto l'Equatore, le cose vanno diversamente in quanto navigando per  $R_v = 90^\circ$  o  $270^\circ$  ci si trova a percorrere un *parallelo di latitudine*, che è una circonferenza minore. In questo caso, a causa della convergenza dei meridiani, a parità di miglia percorse corrisponderanno angoli

di longitudine maggiori man mano che aumenta il valore della latitudine, allontanandosi dall'Equatore. L'arco di parallelo corrispondente ad un angolo di  $\Delta\lambda$  si dice **allontanamento**  $\mu$ . Allontanamento e differenza di longitudine sono legati dalla relazione:

$$\mu = \Delta\lambda \cdot \cos \varphi$$

dove  $\varphi$  è il valore della latitudine riferita al parallelo sul quale si naviga.

Se è noto il cammino  $m$  ( $\mu$ ) percorso dalla nave è possibile calcolare il valore di  $\Delta\lambda$  utilizzando l'espressione:

$$\Delta\lambda = \mu \cdot \sec \varphi$$

ricavata dividendo primo e secondo membro per  $\cos \varphi$  e ricordando che :  $\sec \varphi = \frac{1}{\cos \varphi}$  .

Gli esempi seguenti chiariranno meglio il concetto sopra espresso.

- Una nave con velocità 16 nodi naviga per 18 ore e 27 minuti seguendo  $R_v = 90^\circ$ ; calcolare la variazione di  $\Delta\lambda$  lungo l'Equatore e lungo i paralleli di latitudine pari a  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$ .
- la nave percorre un cammino  $m = 16 \cdot 18,45 = 295,2$  miglia
- lungo l'equatore a questo cammino corrisponde una variazione di  $\Delta\lambda = 4^\circ 45' .2$
- se invece la navigazione si svolge ai sopra indicati paralleli si avrà:
- $\varphi = 30^\circ \dots \Delta\lambda = \mu \cdot \sec \varphi = 295,2 \cdot \sec 30^\circ = 340,867 \dots 5^\circ 40' .9$
- $\varphi = 45^\circ \dots \Delta\lambda = \mu \cdot \sec \varphi = 295,2 \cdot \sec 45^\circ = 417,475 \dots 6^\circ 57' .8$
- $\varphi = 60^\circ \dots \Delta\lambda = \mu \cdot \sec \varphi = 295,2 \cdot \sec 60^\circ = 590,401 \dots 9^\circ 50' .4$

Come si vede chiaramente dai risultati all'aumentare della latitudine aumenta il valore dell'angolo di  $\Delta\lambda$  a parità di cammino percorso.

## 7.2. – La Lossodromia.

### 7.2.1 – Generalità.

Per andare da un punto ad un altro della superficie terrestre si preferisce seguire una traiettoria corrispondente ad un angolo di bussola costante. Questa traiettoria sulla Terra considerata sferica corrisponde ad una curva detta **lossodromia**, che gode della proprietà di tagliare i meridiani secondo uno stesso angolo, l'angolo di rotta  $r$ .

La lossodromia gode anche di altre proprietà:

- per un punto della superficie terrestre passano infinite lossodromie, ciascuna caratterizzata da un diverso angolo di rotta  $r$ ;
- due punti della superficie terrestre sono congiunti da infinite lossodromie, ma solo una, quella che rappresenta la più breve distanza tra loro, viene presa in considerazione;
- la lossodromia si avvolge infinite volte intorno ai Poli, a mo di spirale, senza mai raggiungerli (*Asintoti della curva*);
- la lossodromia presenta in corrispondenza dell'Equatore un *punto di flesso* (cambia cioè inclinazione e curvatura), tale punto prende il nome di **nodo della lossodromia** e la sua longitudine *longitudine del nodo*  $\lambda_N$  è un elemento (*parametro*) che caratterizza le diverse lossodromie;
- la lossodromia viene *rettificata* sulla Carta di Mercatore, nel seguito indicata come Carta Nautica;



- l'Equatore, i meridiani ed i paralleli sono *lossodromie speciali* definite da  $R_v = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  e  $270^\circ$ .

### 7.2.2. – Primo e Secondo problema della lossodromia.

Gli elementi che entrano in gioco nei problemi di lossodromia sono sei:

- le coordinate del punto di partenza  $\varphi$  e  $\lambda$ ;
- le coordinate del punto di arrivo  $\varphi'$  e  $\lambda'$ ;
- la rotta  $r$ ;
- il cammino  $m$ .

Si avrà il **Primo** o il **Secondo** problema asseconda di quali elementi sono noti e quali sono da ricavare. Nel *Primo problema* sono note le coordinate del punto di partenza  $\varphi$  e  $\lambda$ , la rotta  $r$  e il cammino  $m$ , sono da determinare le coordinate del punto di arrivo  $\varphi'$  e  $\lambda'$ .

Nel *Secondo problema* sono note sia le coordinate del punto di partenza  $\varphi$  e  $\lambda$ , che quelle del punto di arrivo  $\varphi'$  e  $\lambda'$ , sono da determinare la rotta  $r$  ed il cammino  $m$ .

Per la risoluzione si adoperano metodi differenti (*analitico, tabulare e grafico*) e formule e procedimenti dipendenti dalla distanza che separa il punto di partenza e quello di destinazione (*piccole distanze se  $m < 400$  miglia; grandi distanze se  $m > 400$  miglia*).

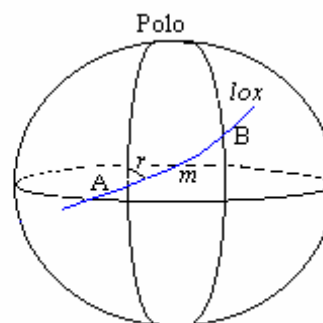
### 7.3 – Risoluzione del Primo problema della lossodromia per piccole distanze.

L'enunciato del primo problema è il seguente:

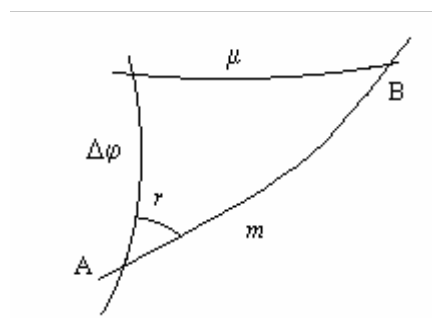
“note le coordinate del punto di partenza  $\varphi$  e  $\lambda$ , il cammino  $m$  e la rotta  $r$  seguiti dalla nave, determinare le coordinate del punto di arrivo  $\varphi'$  e  $\lambda'$  “

In figura è rappresentata un tratto di lossodromia che unisce due punti A e B sulla superficie terrestre e, ingrandito, il relativo **triangolo lossodromico** che, data la sua origine, è un *triangolo mistilineo*, giacché i lati sono archi di curva di tipo diverso:

- un arco di parallelo  $\mu$ ,
- un arco di meridiano  $\Delta\varphi$ ,
- un arco di lossodromia  $m$

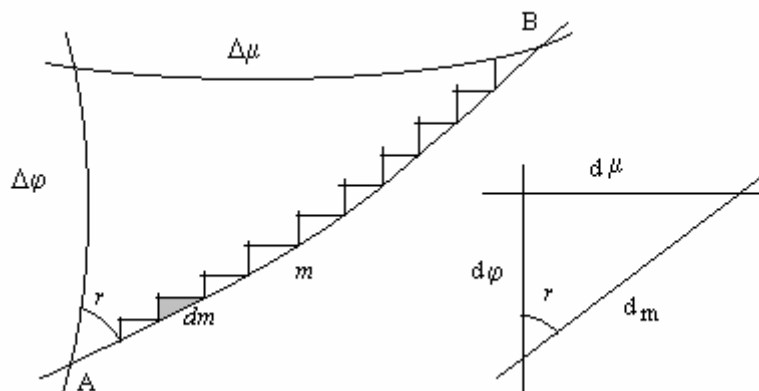


Tale triangolo non è quindi risolvibile con le regole dei triangoli piani.



Tuttavia si può pensare di suddividere il cammino  $m$  in una serie di intervalli infinitesimi  $dm_i$ , uguali tra loro. Se adesso dalle estremità dei segmentini  $dm_i$  tracciamo archi infinitesimi di meridiano  $d\varphi$  e archi infinitesimi di parallelo  $d\mu$  si otterrà una serie di triangoli piani di dimensioni infinitesime.

Tali triangoli, avendo tutti gli angoli uguali e un lato (l'ipotenusa) uguale per costruzione sono simili tra loro. Inoltre date le piccole dimensioni possono ritenersi dei triangoli piani rettangoli, risolvibili quindi con i teoremi dei triangoli piani.



Per ciascun triangolo saranno noti tre elementi:

- 1) l'ipotenusa  $dm$
- 2) l'angolo di rotta  $r$
- 3) l'angolo retto opposto a  $dm$

pertanto adoperando per la risoluzione il teorema fondamentale dei triangoli piani rettangoli, che recita: *la lunghezza di un cateto è uguale al prodotto dell'ipotenusa per il coseno dell'angolo tra essi compreso*. Oppure: *la lunghezza di un cateto è uguale al prodotto dell'ipotenusa per il seno dell'angolo opposto*, si avrà:

$$d\varphi = dm \cdot \cos r \quad \text{e} \quad d\mu = dm \cdot \sin r$$

Considerando adesso che:

$$\mu = \sum d\mu \quad \Delta\varphi = \sum d\varphi \quad m = \sum dm$$

operando le sommatorie nelle formule sopra ricavate si otterrà:

$$\Delta\varphi = m \cdot \cos r \quad [1] \quad \text{e} \quad \mu = m \cdot \sin r \quad [2]$$

Il valore di  $\Delta\lambda$  si può ottenere ricorrendo alla relazione tra arco di Equatore e simile arco di parallelo ricavata nel paragrafo 3, risulta rispetto a  $\Delta\lambda$  e avere così:

$$\Delta\lambda = \mu \cdot \sec \varphi_m \quad [3]$$

dove con  $\varphi_m$  si indica la **latitudine media** tra il parallelo del punto di partenza e quello di arrivo.

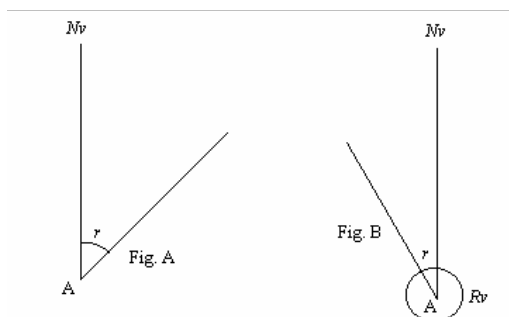
Per determinare il valore di  $\varphi_m$  si adopera indifferentemente una delle seguenti relazioni:

$$\varphi_m = \frac{\varphi + \varphi'}{2} \quad [4_1] \quad \text{o} \quad \varphi_m = \varphi + \frac{\Delta\varphi}{2} \quad [4_2]$$

Il gruppo di formule dalla [1] alla [4] permette di risolvere analiticamente il Primo problema della lossodromia per le piccole distanze. Lo stesso problema può risolversi adoperando la Tavola 2 della raccolta delle Tavole Nautiche dell'Istituto Idrografico della Marina (*metodo tabulare*) o graficamente, come vedremo in seguito. È comunque importante sottolineare che i tre metodi di risoluzione introducono comunque delle approssimazioni nei risultati. La presenza di queste approssimazioni, che nascono dal voler risolvere un triangolo mistilineo con metodi validi per i triangoli piani, può essere tollerato per distanze tra i punti fino a 400÷450 miglia. Per distanze superiori i risultati ottenibili con queste formule non sono attendibili in quanto l'incidenza degli errori aumenta sensibilmente. Torneremo sull'argomento quando tratteremo della risoluzione dei problemi di lossodromia per le grandi distanze (500÷600 miglia e oltre).

#### 7.4. – Risoluzione grafica del Primo problema della lossodromia.

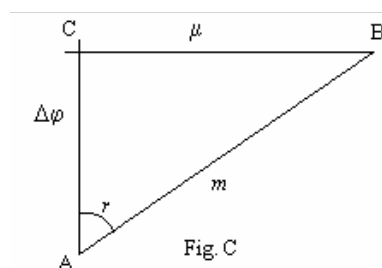
Premettiamo subito che la risoluzione grafica del primo problema non presenta alcuna difficoltà se viene fatta adoperando una Carta Nautica seguendo le normali regole del carteggio nautico. In questa sede si intende invece operare la soluzione adoperando un normale foglio di carta quadrettata o millimetrata.



Fissata una scala per le distanze si segna la direzione del meridiano passante per A, nostro punto di partenza; da questo si fa uscire una semiretta inclinata di un angolo pari alla rotta  $r$  (Fig. A e Fig. B) espressa in *forma quadratale*.

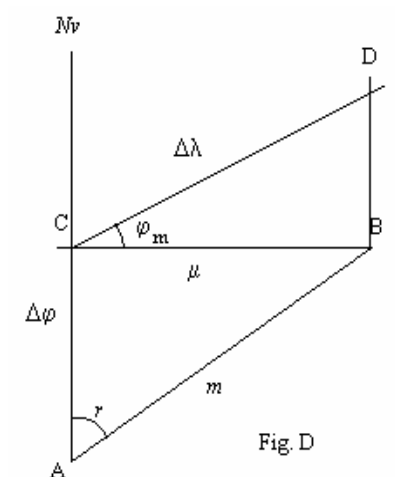
Su questa semiretta si riporta la distanza  $m$  in direzione della rotta, si individua così il punto B.

Da questo punto si traccia la perpendicolare al meridiano, ottenendo così un triangolo detto **triangolo di rotta** (Fig. C) nel quale l'ipotenusa  $\overline{AB}$  rappresenta il cammino  $m$ , il lato  $\overline{AC}$  la  $\Delta\varphi$  e il lato  $\overline{CB}$  l'allontanamento  $\mu$ .



Leggendo la scala e misurando la lunghezza di  $\overline{AC}$  si ottiene il valore di  $\Delta\varphi$  e, quindi, di  $\varphi'$ . Successivamente si determina il valore di  $\varphi_m$ .

Per determinare il valore di  $\Delta\lambda$  si fa uscire da C una semiretta inclinata rispetto a  $\overline{CB}$  di un angolo pari a  $\varphi_m$  mentre da B si traccia la parallela al meridiano; il punto d'incontro tra quest'ultima con la semiretta uscente da C fissa il punto D, la distanza  $\overline{CD}$  rappresenta il valore (in scala) di  $\Delta\lambda$  (Fig. D).



Quest'ultimo triangolo prende il nome di **triangolo del parallelo medio**.

### 7.5. – Risoluzione tabulare del Primo problema della lossodromia.

Per la risoluzione tabulare del primo problema si adoperano le Tavole 2 e 3 della raccolta di **Tavole Nautiche** dell'Istituto Idrografico della Marina.

Nella Tavola 2 “*Tavola del punto*” si entra:

- con il valore della rotta espressa in forma quadratale, che intesta la pagina in alto con valori da 0° a 45° e da 46° a 89° in basso;
- e con il cammino  $m$ .

In corrispondenza si legge in valore di  $\Delta\varphi$  e di  $\mu$ . Con il valore di quest'ultimo si accede alla Tavola 3 “*Trasformazione dell'appartamento in longitudine*” dove in corrispondenza del valore di  $m$  e della latitudine media  $\varphi_m$  si determina il valore di  $\Delta\lambda$  espresso in primi.

Come si intuisce la risoluzione del problema con il metodo tabulare risulta in qualche modo speditivo e di semplice esecuzione. Tuttavia, come vedremo meglio nel seguito, il limite di tale metodo risiede nella lunghezza del cammino  $m$  che non deve superare le 400÷450 miglia, anche se nella tavola si trovano valori fino a 600 miglia.

### 7.6. – Risoluzione del Secondo problema della lossodromia per piccole distanze.

L'enunciato del secondo problema è il seguente:

“*note le coordinate del punto di partenza  $\varphi$  e  $\lambda$  e quelle del punto di arrivo  $\varphi'$  e  $\lambda'$ , determinare la rotta  $r$  e il cammino  $m$* ”

È un problema assai ricorrente nella pratica. Per ricavare le formule risolutive consideriamo le formule [1] e [2] del paragrafo 7.3 ricavate per il Primo problema e dividiamo la [2] per la [1] ottenendo:

$$\frac{\mu}{\Delta\varphi} = \frac{m \cdot \sin r}{m \cdot \cos r} = \frac{\sin r}{\cos r} = \tan r$$

e quindi :

$$\tan r = \frac{\mu}{\Delta\varphi} = \frac{\Delta\lambda \cdot \cos \varphi_m}{\Delta\varphi} \quad [5]$$

relazione che permette di ricavare l'angolo di rotta  $r$  espresso in forma quadratale. Il segno di  $\Delta\varphi$  fornisce il *prefisso* N o S della rotta, il valore di  $\Delta\lambda$  quello del *suffisso* E o W.

Per ricavare il cammino  $m$  si considera ancora la formula [1] risolta rispetto a  $m$ , che fornisce:

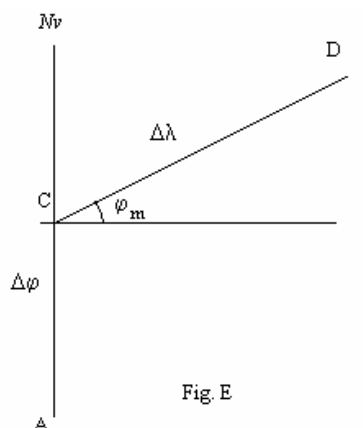
$$m = \frac{\Delta\varphi}{\cos r} = \Delta\varphi \cdot \sec r \quad [6]$$

Le formule [5] e [6] permettono dunque di risolvere analiticamente il secondo problema, che è ovviamente risolvibile anche con il metodo grafico e con quello tabulare.



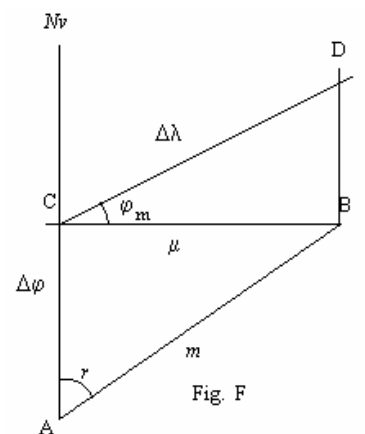
### 7.7 – Risoluzione grafica del Secondo problema della lossodromia.

Come sappiamo è possibile conoscere  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$  e  $\varphi_m$  avendo a disposizione le coordinate dei punti di partenza e di quello di arrivo, pertanto, fissata la scala, segniamo su di un foglio il punto A e tracciamo il meridiano passante per esso. Su questo si riporta in scala un segmento pari a  $\Delta\varphi$  individuando così il punto C.



Da questo si fa uscire una semiretta perpendicolare alla traccia del meridiano e, sempre da C, si traccia un'altra semiretta inclinata di  $\varphi_m$  rispetto a questa (Fig. E). Su tale semiretta, sempre in scala, si riporta  $\Delta\lambda$  individuando il punto D. Per tale punto si traccia il meridiano che individua il punto B, chiudendo il *triangolo del parallelo medio*.

Unendo quindi il punto B con il punto A si chiude il *triangolo di rotta* e sarà possibile determinare l'angolo di rotta  $r$  ed il cammino  $m$  leggendoli sul grafico di Fig. F.



### 7.8 – Risoluzione del Primo problema della lossodromia per le grandi distanze.

Quando la distanza tra il punto di partenza e quello di arrivo supera le 500 miglia le relazioni fin qui ricavate cadono in difetto e possono fornire risultati non attendibili. Ciò accade perché alla base del ragionamento che ha portato a ricavarle la Terra è considerata piana, sostituendo alla superficie terrestre un piano tangente. Se questa ipotesi può essere ininfluenza per piccole traversate, altrettanto non può dirsi se si considera una traversata oceanica o l'attraversamento del Mar Mediterraneo da Gibilterra al Mar Nero.

Per risolvere tali problemi, torniamo a considerare la Terra sferica e la lossodromia una curva di essa che gode delle proprietà elencate nel paragrafo 7.1. Tralasciando alcuni approfondimenti sulle curve della sfera, soffermiamoci sulla necessità di ottenere formule più precise che risolvano il nostro problema.

Come già nel paragrafo 7.3 per determinare  $\Delta\varphi$  si adoperava ancora la relazione :

$$\Delta\varphi = m \cdot \cos r \quad [1]$$

Per calcolare  $\Delta\lambda$  invece useremo la relazione :

$$\Delta\lambda = \Delta\varphi_c \cdot \tan r \quad [7]$$

dove :  $\Delta\varphi_c = \varphi_c' - \varphi_c$  con  $\varphi_c$  **latitudine crescente**, che si ricava dalle Tavole Nautiche, precisamente dalla Tavola 4 “*Latitudini Crescenti per l'ellissoide Internazionale*”. Va precisato che esistono due diverse latitudini crescenti una calcolata per l'ellissoide (tabulata come sopra descritto) e una calcolata per la sfera che dovrebbe essere adoperata per l'esecuzione dei calcoli relativi alle formule fin qui ricavate. La differenza dei risultati derivanti dall'impiego dell'una o dell'altra latitudine crescente è comunque di fatto irrilevante per gli scopi del navigante. Ciò che invece è bene evidenziare è che  $\Delta\varphi_c$  non è funzione di  $\Delta\varphi$ , ma dipende da  $\varphi$  e da  $\varphi'$ ; a parità di  $\Delta\varphi$  infatti

$\Delta\varphi_c$  aumenta sensibilmente allontanandosi dall'Equatore, come è facile dedurre dalla seguente tabella:

$\varphi$	$\varphi'$	$\Delta\varphi$	$\Delta\varphi_c$
10°	20°	600'	618',1
20°	30°	600'	659',6
30°	40°	600'	731',0
40°	50°	600'	848',9
50°	60°	600'	1050',6
60°	70°	600'	1436',9

I valori di  $\Delta\varphi$  presenti nella terza colonna sono evidentemente espressi in primi d'arco, mentre i valori di  $\Delta\varphi_c$  sono stati calcolati trasformando i valori di  $\varphi$  e di  $\varphi'$  con l'uso della tavola 4 in  $\varphi_c$  e in  $\varphi_c'$  e operando poi la differenza  $\Delta\varphi_c = \varphi_c' - \varphi_c$ .

### 7.9 – Risoluzione del Secondo problema della lossodromia per le grandi distanze.

L'enunciato del Secondo problema per le grandi distanze è ovviamente uguale a quello per le piccole distanze, per ricavare l'angolo di rotta si risolve la [7] rispetto a  $\tan r$  ottenendo:

$$\tan r = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi_c} \quad [8]$$

dove  $\Delta\lambda$  e  $\Delta\varphi_c$  sono espresse in primi.

L'angolo di rotta  $r$  è espresso in forma quadrantale, con il prefisso N o S fornito da  $\Delta\varphi$  ed il suffisso E o W fornito da  $\Delta\lambda$ .

Per ricavare il cammino  $m$  si usa ancora la relazione :

$$m = \Delta\varphi \cdot \sec r \quad [6]$$