

APPROFONDIMENTI E INTEGRAZIONI AL CAPITOLO VI

RADIONAVIGAZIONE

RADIOGONIOMETRIA

Premessa. La Radiogoniometria, ramo della Radiotecnica, studia la determinazione della direzione di provenienza delle radioonde emesse da un radiofaro.

Un'antenna a telaio rigido verticale, con un certo numero di spire, girevole intorno ad un asse verticale, è impiegato come captatore delle onde elettromagnetiche. Il telaio (circolare o rettangolare...) abbraccia un flusso di linee di forza magnetica H , variabile nel tempo (periodo T) e col mutare dell'orientamento del piano del telaio rispetto alla direzione di provenienza delle r.o.; donde la capacità di determinare la direzione del radiofaro RF. La radiofrequenza è intorno a 300 KHz ($\lambda \sim 1000$ m, limite tra le r.o. lunghe e medie).

Il radiogoniometro (RG) nacque nei primi anni del Novecento e divenne uno strumento militare; poi, sulle navi mercantili, venne impiegato come ausilio alla navigazione costiera in tempo di nebbia. Ora, col GPS, ha perso importanza. È strumento ausiliario nei piccoli aerei: nei radio-sentieri e radiobusssole.

Il telaio girevole, proposto da A. Blondel, fu impiegato nel 1906, dopo l'avvento dei tubi elettronici. Tra gli artifici radiogoniometrici ricordiamo il complesso a tre bobine di Bellini e Tosi ed il loro dispositivo di senso.

Il radiogoniometro, dal 2000, non è più obbligatorio a bordo delle navi mercantili. La radiogoniometria, pur avendo perso molta della sua iniziale importanza, non è del tutto superata. Ha rappresentato una tappa storica nella storia della navigazione.

1. DIAGRAMMA DI RICEZIONE DEL TELAIO: dalla *curva ad otto* alla *cardioide*.

Un telaio è un conduttore rigido formato da un avvolgimento di N spire (v. figg. 1, 2, 3, 4, ove però le spire non sono visibili). Sia S la superficie del telaio. Quando l'antenna di un radiofaro circolare RC irradia, genera nello spazio circostante un campo e.m.. Il vettore elettrico induce, in un'antenna a stilo verticale, una forza e.m.; le linee di forza H del campo magnetico attraversano la superficie S del telaio con l'alternanza della pulsazione ω delle radioonde in arrivo da RC.

Sia α l'angolo che il piano telaio forma con il verso che va al radiofaro RC; il flusso magnetico entrante nella sezione S del telaio è:

$\phi = \mu_0 SNH \cos\alpha$ dove $H \cos\alpha$ è la componente di H ortogonale al piano del telaio (fig. 4); μ_0 è il coefficiente d'induttività magnetica. Il flusso, dipendendo da H , è un flusso variabile nel tempo che, per la legge di Lenz e Newman, induce nelle spire del telaio una f.e.m. È data da:

$$E = -\frac{d\phi}{dt} \qquad E = -\mu_0 SN \frac{dH}{dt} \cos\alpha \qquad (1)$$

Questa f.e.m., generando una corrente nelle spire del telaio, si rivelerà in un segnale udibile o visibile (su uno schermo t.r.c.). A questo scopo provvedono i circuiti di rettificazione e di demodulazione della radio ricevente collegata al telaio. Si può dire che il segnale I è proporzionale alla f.e.m. E :

$$I = I_0 \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

L'intensità di segnale è funzione dell'angolo α che il piano del telaio forma con la direzione della sorgente delle onde. Quando il telaio è ortogonale al raggio di propagazione delle r.o. ($\alpha = 90^\circ$), il segnale è nullo: le linee di forza non attraversano le spire del telaio, ma scorrono parallele alla sua superficie S. Se il piano del telaio passa per l'antenna trasmittente del radiofaro ($\alpha = 0^\circ$), le linee di forza H attraversano la superficie S con la massima quantità di flusso; il segnale è massimo.

Ricordiamo che il segnale $I = I_0 \cdot \cos \alpha$ è originato da una f.e.m. che cambia segno quando il piano del telaio ruota di 180° rispetto alla direzione di provenienza delle radioonde. Il cambiamento del segno di E comporterà il cambiamento del verso di circolazione della relativa corrente. Non cambia però il valore assoluto di $I_0 \cdot \cos \alpha$ in due orientamenti opposti (α ; $180^\circ + \alpha$) del telaio.

Il diagramma di ricezione del telaio in coordinate cartesiane è la cosinusoide; **in coordinate polari è la curva ad otto** (figg. 5 e 6). Si può, dunque, scoprire il rilevamento di una stazione RC ruotando il telaio fino a quando non si ascolta il massimo segnale: il piano del telaio è in tal caso nella direzione della stazione; ma può anche essere scoperta la direzione in cui non si sente più il segnale e piazzare, ortogonalmente al telaio, l'*indice* cosiddetto *radiogoniometrico*: la direzione dell'*indice* «rg» è la direzione del radiofaro.

Si preferisce "ascoltare il minimo" del segnale, anziché il massimo, perché la variazione d'intensità del segnale intorno al minimo è più grande e pertanto meglio percepibile dall'orecchio (non disturbato dal segnale massimo); anche la misura A.D.F. (*automatic direction finder*) è più precisa.

Effetto antenna. Il diagramma ad otto del telaio è teorico. In pratica intervengono cause che modificano il diagramma di ricezione. Disturbano le dissimmetrie delle strutture della nave nelle vicinanze dell'impianto RG, le antenne di bordo, il modo di collegamento del telaio al circuito d'ingresso ... Va tenuto presente che un'antenna verticale, immersa in un campo e.m., è indotta dal vettore di campo elettrico «e» che raggiunge il valore massimo E, insieme al vettore di campo magnetico «h» (che diventa H), negli istanti $T/4$ e $3 \cdot T/4$. Un telaio è indotto dal vettore di campo magnetico «h» nei momenti della sua massima variabilità, cioè negli istanti d'inversione del vettore: $T/2$ e T , cioè dopo $1/4$ di periodo dagli istanti in cui i suddetti vettori assumono i massimi valori (E, H). Conseguentemente *le due f.e.m. indotte, in un'antenna unifilare ed in un telaio, sono sfasate di 90° , cioè sono in quadratura*. Le dissimmetrie dei ferri di bordo intorno al telaio e le altre cause sopra ricordate fanno nascere una nuova f.e.m. che va sotto il nome di *effetto antenna*. Il suo diagramma di ricezione è una *circonferenza*, cioè omnidirezionale (non è direzionale come invece avviene nel telaio). Il segnale $I = I_0 \cdot \cos \alpha$ è originato da una f.e.m. che cambia segno quando il piano del telaio ruota di 180° rispetto alla direzione di provenienza delle r.o.

Diagrammi combinati: Cardioide. Il diagramma ad otto, con o senza effetto antenna, ha due minimi uguali e due massimi uguali. *L'ascolto del segnale minimo permette d'individuare la direzione di provenienza del segnale del radiofaro, ma non il senso.*

Quando il radiofaro circolare è su una piccola isola può sussistere l'ambiguità di 180° nel rilevamento della stazione. Negli altri casi l'ambiguità è eliminabile dal punto stimato. Per eliminare comunque l'ambiguità dei due versi della direzione si realizza il cosiddetto dispositivo di senso. Si accoppia il telaio ad un'antenna ausiliaria; entrambi accordati sulla frequenza di lavoro (v. fig. 6).

Il campo elettrico dell'onda in arrivo induce nell'antenna una f.e.m. di uguale frequenza del campo. L'antenna sarà quindi percorsa da una corrente che, passando attraverso le spire del circuito di antenna, per mutua induzione tra le due spire, si sfasa di 90° per reattanza induttiva, e alla fine crea una f.e.m. sul telaio in fase o in opposizione di fase con la (1).

Tavola 1 Il telaio e le misure radiogoniometriche.

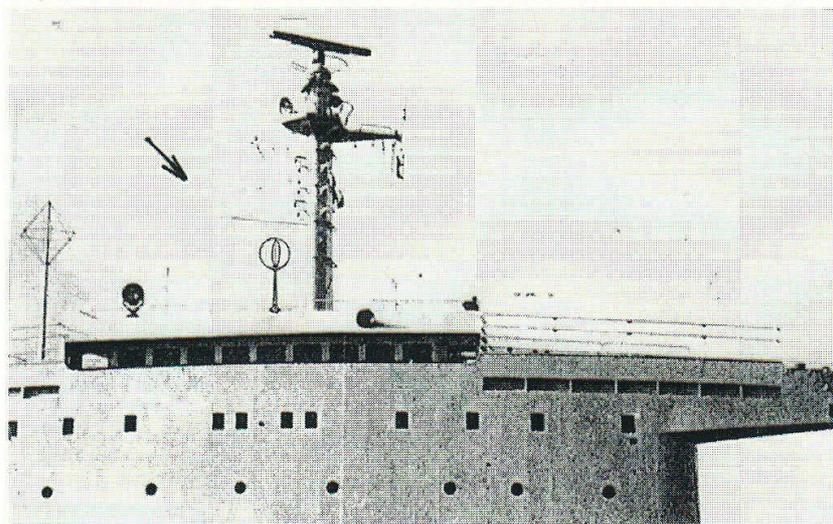


Fig. 1

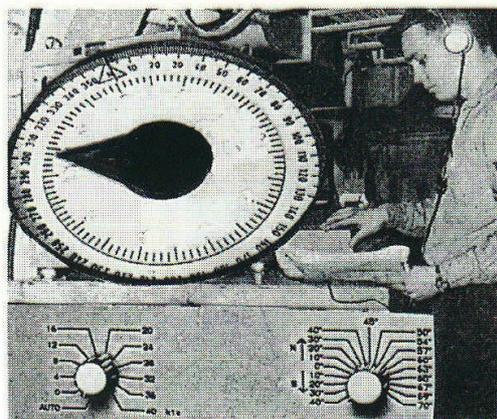


Fig. 2

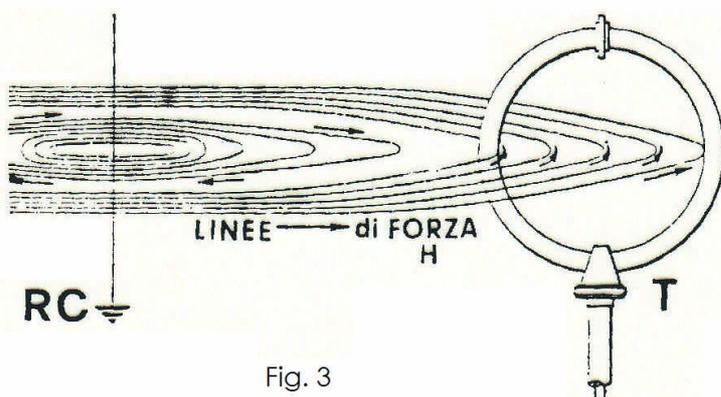


Fig. 3

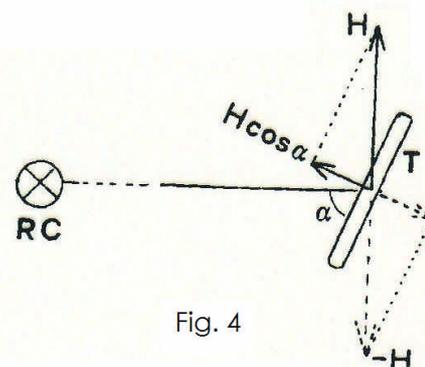


Fig. 4

- Fig. 1 L'antenna RG (indicata dalla freccia).
 Fig. 2 Operatore in ascolto; misura automatica (A.D.F. *automatic direction finder*) del rilevamento del radiofaro circolare RC.
 Fig. 3 Nel campo delle onde e.m. generate da RC, l'antenna ricevente T del radiogoniometro di bordo preleva energia.
 Fig. 4 Il vettore H pulsa con la stessa pulsazione $\omega = 2\pi/T$ delle linee di forza (vettore H col tratto continuo nell'istante $t = 0$; - H tratteggiato nell'istante $t = T/2$).

Tavola 2 Ricezione dell'apparato radiogoniometrico.

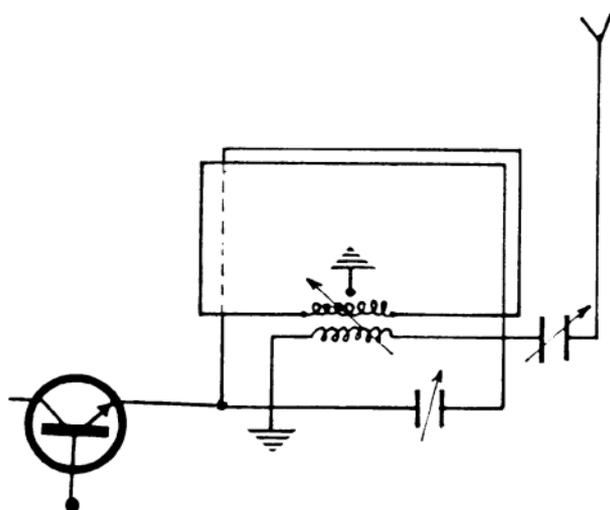
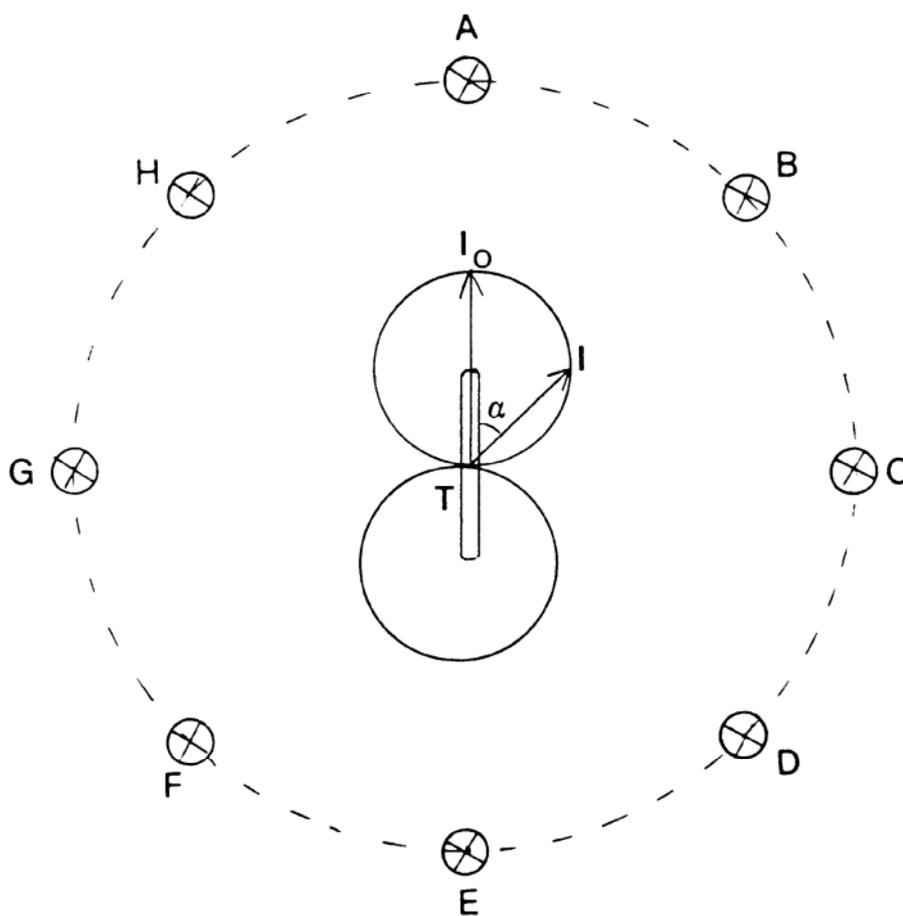


Fig. 5 (in alto)

Curva ad otto, diagramma del telaio; massima intensità I_0 . A, B, C, D, E, F, G, H, sono ipotetici RC emittenti con uguale potenza. I segnali, captati dal telaio T, hanno differenti intensità I: A, E: $I = I_0$; B, D, F, H: $I = I_0 \cdot \cos \alpha$; C, G: $I = 0$. Se si ruota il telaio, l'intensità con cui è captato il segnale di ciascuna stazione RC cambia secondo il diagramma ad otto.

Fig. 6 (in basso)

Schema di telaio, antenna ausiliaria, amplificatore.

Le due f.e.m., inizialmente in quadratura, in virtù di quest'ultimo sfasamento di 90°, **si sommano per un orientamento del telaio, si sottraggono nell'orientamento opposto.** Si regola l'accoppiamento e si sceglie una resistenza di antenna tale che la f.e.m. indotta nell'antenna ausiliaria, di valore costante, risulti uguale alla f.e.m. massima indotta nel telaio quando questo è puntato nella direzione della stazione emittente.

Trasferendo il discorso dalle f.e.m. alle intensità di segnale rivelato, si scrive: $I = I_0 - I_0 \cdot \cos\alpha$,

$$I = I_0 (1 - \cos\alpha) \quad (3) \quad \text{equazione della cardioide}$$

Una delle due circonferenze della curva ad otto si somma con la circonferenza-diagramma dell'antenna ausiliaria; l'altra si sottrae (v. fig. 7).

Un certo lato del telaio, quando è rivolto alla stazione RC, produce l'opposizione di fase delle due f.e.m. ed il relativo zero risultante sia di queste che del segnale (3). Rimanendo invariato il senso di accoppiamento del telaio con l'antenna ausiliaria, quando il telaio viene ruotato di 180° le due f.e.m., ora in concordanza di fase, si sommano. Il segnale risultante diventa $2 \cdot I_0$.

Il diagramma di ricezione risultante è la cardioide.

La cardioide ha $I = 0$ per $\alpha = 0^\circ$; $I < I_0$ per $\alpha < 90^\circ$ sia da una parte sia dall'altra;

$I = I_0$ per $\alpha = 90^\circ$; $I > I_0$ per $\alpha > 90^\circ$; $I = 2 \cdot I_0$ per $\alpha = 180^\circ$.

Nella figura 7 OM è la differenza OD - OC; ON è la somma OF + OE.

Il radiogoniometro, oltre all'*indice r.g.* ortogonale al piano del telaio, ha ora anche l'*indice di senso*, nel piano del telaio.

Quando con l'accoppiamento telaio-antenna ausiliaria si riceve il minimo, secondo il diagramma di ricezione della cardioide, l'indice di senso è puntato verso il radiofaro.

Un telaio, con indice di senso, girevole su una graduazione polare della nave, consente, attraverso l'ascolto del minimo, la determinazione del rilevamento polare ρ del radiofaro (v. fig. 8).

Non tutti gli apparati RG hanno il telaio girevole. Il RG Marconi Lodestone, ad esempio, ha due telai incrociati fissi che sono collegati a due bobine, chiamate bobine di campo, anch'esse ortogonali (figg. 9, 10). Una terza bobina, bobina di ricerca, esplora il campo delle onde e.m. che si è riprodotto nell'interno delle due bobine di campo. La bobina di ricerca, che esplica dunque la funzione di telaio girevole, è direttamente manovrata dalla manopola situata sull'indicatore.

Deviazioni del radiogoniometro. Calibrazione. Un primo errore nella misura del rilevamento polare, che d'ora in poi indicheremo con ρ_{rg} , deriva dalla difficoltà dell'apprezzamento e/o misura del minimo del segnale. Un abile operatore commette un errore non superiore a 1°. Inoltre la compensazione - *calibrazione* - è sempre imperfetta. Tutte le strutture verticali, vicine all'antenna complessiva del RG, disturbano la direttività del segnale proveniente da RC.

Altra causa di errore, talvolta notevole, nella misura del rilevamento, è l'**effetto costa**, già descritto nel § 12 del Cap. IV. Si evita, pertanto, di rilevare la stazione quando, in base al punto stimato, si presume che il raggio radioelettrico segua un percorso molto radente rispetto al profilo di costa. In tal caso il rilevamento può risultare errato anche di 5°. Forti temporali disturbano l'ascolto e l'apprezzamento del minimo del segnale. La fig. 11 mostra una deviazione δ che è variabile al mutare di ρ_{rg} (v. tabella in Tav. 4).

Per determinare le deviazioni sui vari rilevamenti polari si porta la nave al largo di un radiofaro, poco dentro la portata visiva dello stesso, non lontana dall'ortogonalità del profilo di costa vicina al RC. Mentre l'operatore determina ρ_{rg} , contemporaneamente l'Ufficiale rileva otticamente il ρ di RC: $\delta_{rg} = \rho - \rho_{rg}$.

La differenza $\rho - \rho_{rg} = \delta_{rg}$ è la deviazione del RG su varie Prore, di 15° in 15°.

$$\rho - \rho_{rg} = \delta_{rg}; \quad \rho_{rg} + \delta_{rg} = \rho; \quad (4a) \quad ; \quad P_v + \rho = Ril_v \quad (4b)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} (\lambda_{RC} - \lambda_s) \cdot \sin\varphi_m \quad (5) \text{ alg.}$$

Tavola 3 Cardioide. Rilevamento polare ρ .

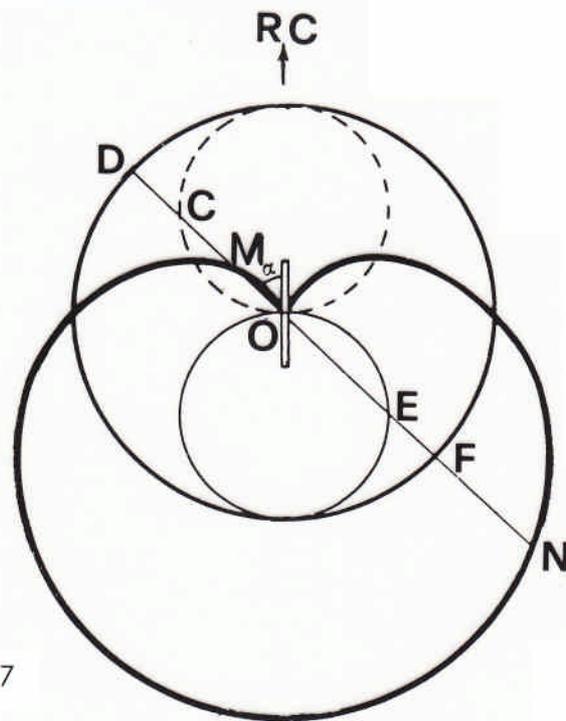


Fig. 7

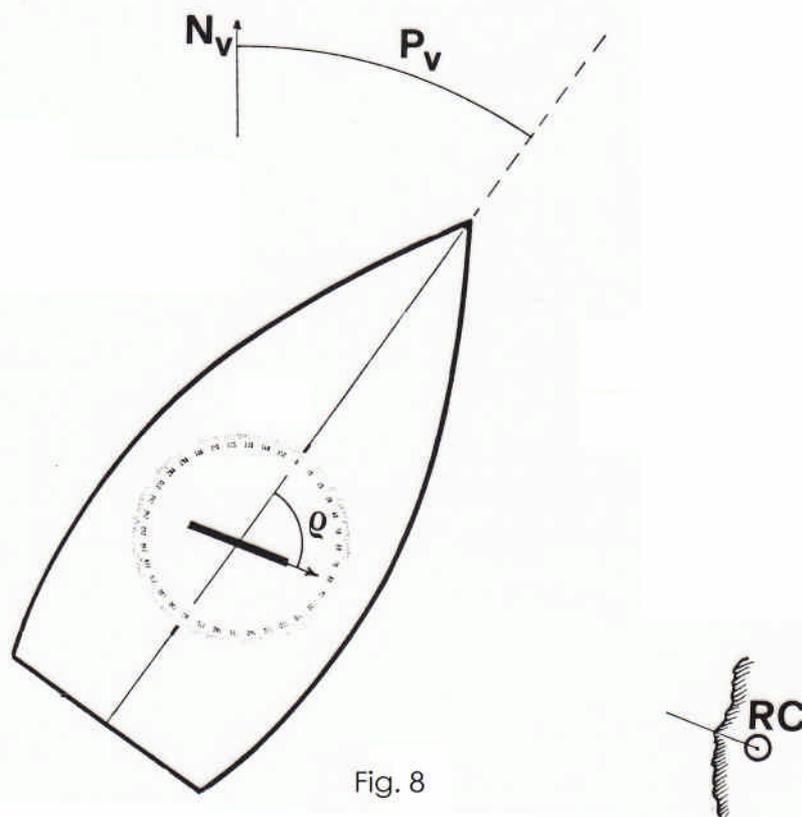


Fig. 8

- Fig. 7 La cardioide è il diagramma risultante della circonferenza dell'antenna ausiliaria con la curva ad otto del telaio.
- Fig. 8 L'indice di senso individua l'angolo ρ che sommato alla prora vera P_v fornisce il Rilv di RC.

Tavola 4 Le deviazioni del radiogoniometro.



Fig. 9

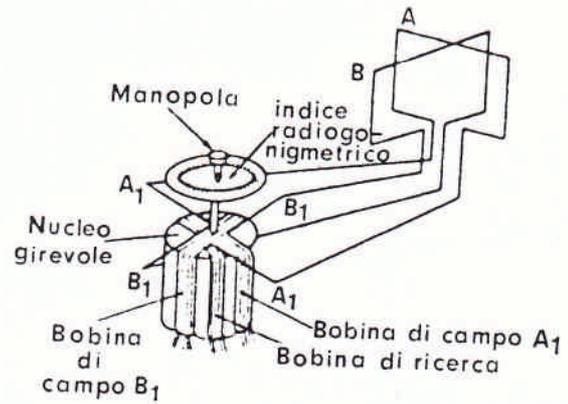


Fig. 10

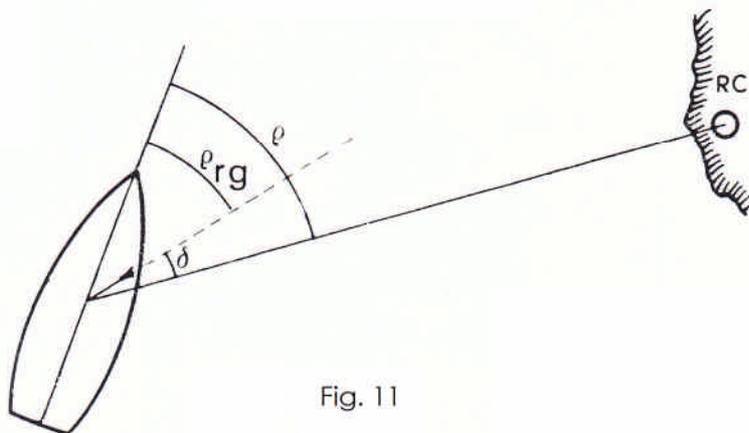


Fig. 11

- Fig. 9 Due telai incrociati e l'antenna ausiliaria.
 Fig. 10 Schemi di telai incrociati (A, B) e bobine dell'apparato RG.
 Fig. 11 Deviazione del radiogoniometro.

ρ_{rg}	δ_{rg}	ρ_{rg}	δ_{rg}	ρ_{rg}	δ_{rg}	ρ_{rg}	δ_{rg}
0°	0°	90°	-1.0°	180°	-2.0°	270°	+1.0°
15°	+1.3°	105°	-2.8°	195°	-0.1°	285°	-0.3°
30°	+2.2°	120°	-4.2°	210°	+1.5°	300°	-1.5°
45°	+2.5°	135°	-4.9°	225°	+2.5°	315°	-2.1°
60°	+2.0°	150°	-4.7°	240°	+2.7°	330°	-2.0°
75°	+0.7°	165°	-3.7°	255°	+2.1°	345°	-1.2°

2. RILEVAMENTO: ortodromico, lossodromico.

La misura del rilevamento Ril_v della formula (4b) corrisponde, sulla superficie sferica terrestre, all'angolo Ril_o che dal Nord della linea meridiana va fino ad incontrare il raggio radioelettrico della radioonda in arrivo. In teoria il vero luogo di posizione, sulla sfera, è la curva di uguale Ril_o – *isoazimutale*. Da tutti i punti di questa curva (v. fig. 12) la stazione RC verrebbe rilevata con angolo Ril_o . Il tracciamento di tale curva è complesso; pertanto ci limitiamo a considerare le semirette di rilevamento. Quando la distanza Nave-Radiofaro è minore di 15 miglia, si traccia il rilevamento Ril_o , come si fa nelle navigazioni costiera e radar.

$$Ril_o = P_v + \rho = Ril_v$$

Se la distanza (stimata) tra N e RC è maggiore di 15 miglia, non potendo ritenere trascurabile l'angolo di convergenza tra il meridiano della nave e il meridiano della stazione, si considera (osservando la figura 14) l'angolo γ - semiconvergenza dei meridiani - o *correzione di Givry*:

Il rilevamento da tracciare sulla carta è il rilevamento lossodromico Ril_l :

$$Ril_l = Ril_o + \gamma \quad (6) \quad \text{v. fig. 14}$$

La correzione di Givry è tabellata nelle Tavole Nautiche dell'I.I.M.

$$Ril_l = P_v + \rho + \gamma = Ril_v \quad (7)$$

I segnali RT omnidirezionali emessi dai radiofari s'irradiano da antenne verticali alte mediamente 50 metri. L'emissione è tecnicamente studiata per favorire la propagazione dell'onda superficiale.

La trasmissione della linea ogni tanto è interrotta dall'emissione del nominativo di riconoscimento della stazione. Le e.o. MF e LF hanno frequenze che vanno da 285 a 525 Kc/s, corrispondenti a λ 1050 - 571 m.

Esercizio: tratto dal libro *Navigazione* (ed. Hoepli) degli autori *Ideale Capasso* e *Sergio Fede*, due Maestri della *Navigazione* e uomini di elevata cultura.

Una nave in Adriatico, nella posizione stimata P_S : $\varphi = 43^\circ 31' N$ $\lambda = 14^\circ 14' E$ rileva pressoché simultaneamente i segnali R.T. emessi dalle stazioni di Venezia (radiofaro di Punta Vecchia: $\varphi = 45^\circ 29' N$; $\lambda = 12^\circ 35' E$) e di Zara (radiofaro di Punta Amica: $\varphi = 44^\circ 08' N$; $\lambda = 15^\circ 12.5' E$) rispettivamente per $\rho_{rg} = 322.1^\circ$ e $\rho_{rg} = 37.6^\circ$. La prora vera della nave è $P_v = 10^\circ$. Determinare il P_N .

Risoluzione:

Venezia		Zara
322.1°	ρ_{rg}	37.6°
- 2.1°	+ δ_{rg}	+ 2.4°
-----	-----	-----
320°	ρ	40°
+ 10°	+ P_v	+ 10°
-----	-----	-----
330°	Ril_o	50°
- 0.6°	+ γ	+ 0.3°
-----	-----	-----
329.4°	Ril_l	50.3°

I valori modesti delle due correzioni Givry inducono al tracciamento sulla carta quadrettata dei due Ril_l . Il punto di intersezione è N_1 le cui coordinate sono:

$P_N \varphi = 43^\circ 31.5' N$ $\lambda = 14^\circ 12' E$
Vedasi Tavola 6

Tavola 5 I luoghi di posizione in radiogoniometria.

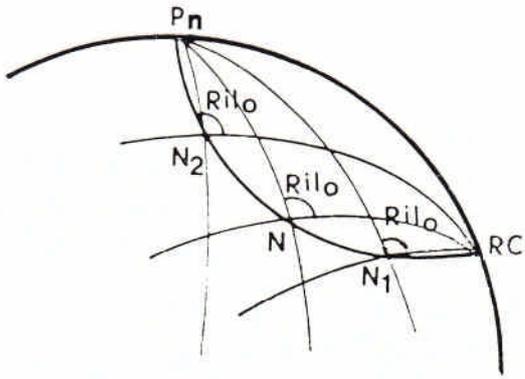


Fig. 12

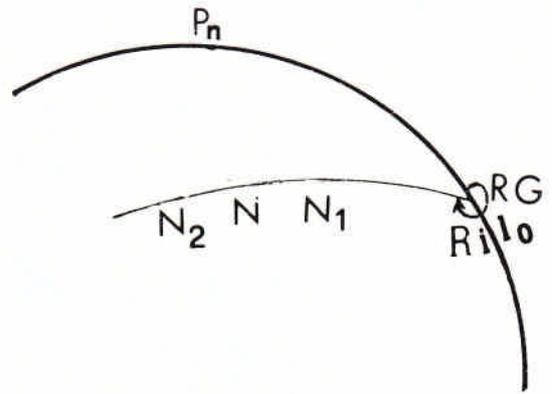


Fig. 13

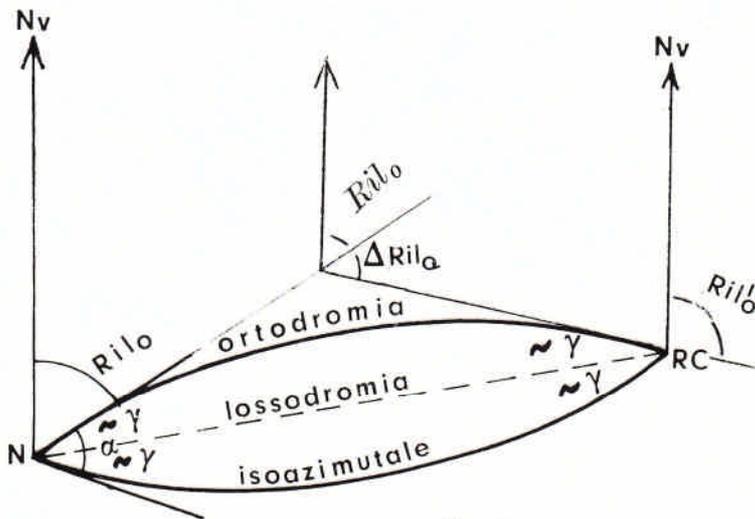


Fig. 14

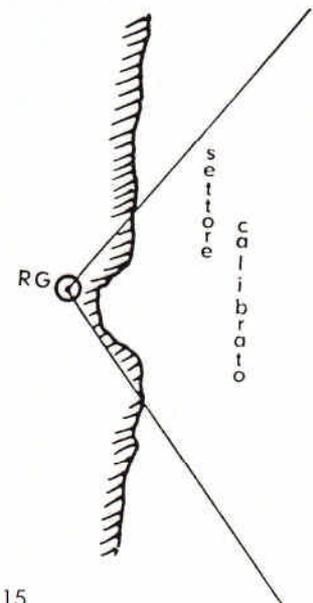


Fig. 15

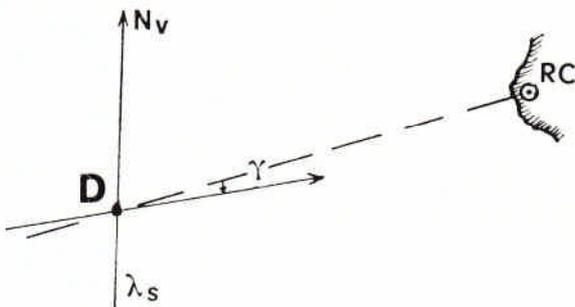


Fig. 16

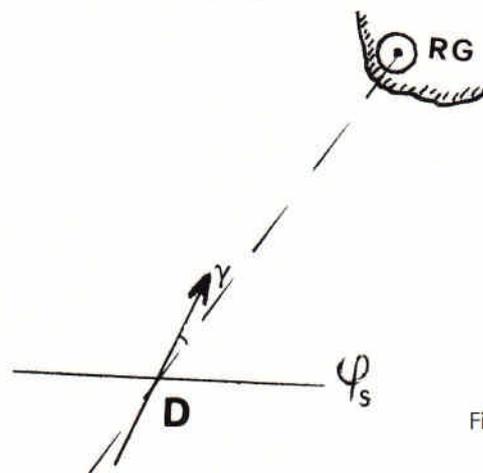
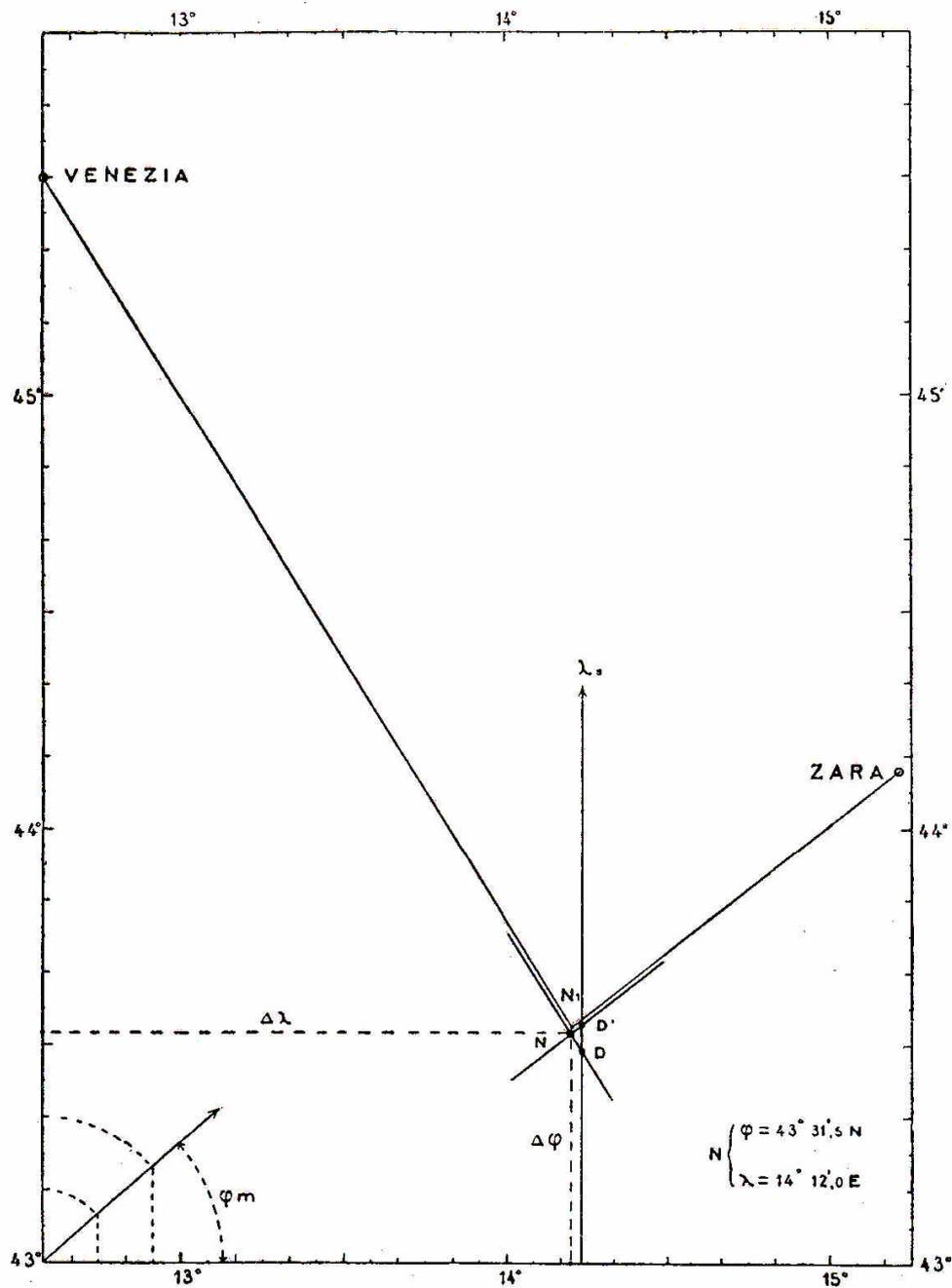


Fig. 17

- Fig. 12 Isoazimutale o curva di uguale azimut.
- Fig. 13 Circolo massimo quando RG di terra rileva la nave.
- Fig. 14 La correzione di Givry: γ .
- Fig. 15 Settore valido per essere rilevati da RG.

Tavola 6 Punto nave radiogoniometrico.



1179 RC **Senigallia Lt** 43°43'05" N 13°13'20" E
 298.8 A 2

No	Name	Ident	Range	Seq	Fog	Clear
1179	Senigallia ²	SA	80	1,2	Cont	H + 18,24 ; 48,54 ¹
1191	Trieste	RD	100	3,4	Cont	H + 20,26 ; 50,56 ¹

¹ Every 4 hours, commencing at 2300

² Calibration transmissions available on request to Marifari, Venezia (see notes)

I Nota. Nel caso in cui si volesse costruire un grafico limitato all'intorno del Punto stimato, si ricorre al calcolo dei punti determinativi: sono i punti d'intersezione del Ril_1 con il parallelo stimato φ_s (preferibilmente quando il rilevamento è nel quadrante Nord o Sud: punto determinativo D_1), o con il meridiano stimato λ_s (preferibilmente quando il Ril_1 è nei quadranti Est o Ovest: punto determinativo D_2). Si opera con l'equazione della lossodromia. I passaggi dei calcoli sono già stati riportati sia nel testo di Navigazione Tradizionale (Cap. V) sia in quello di Moderna (capitolo *Algoritmi*). Le coordinate di D_1 e D_2 risultano:

$D_1 \varphi = 43^\circ 31' N \quad \lambda = 14^\circ 12.4' E$; $D_2 \varphi = 43^\circ 32.7' N \quad \lambda = 14^\circ 14' E$.

Sistemati sul foglio tali punti si tracciano i due Ril_1 . Il P_N è nell'intersezione.

Per una maggiore precisione, ricordando che il vero luogo di posizione è l'isoazimutale (v. fig. 14), anziché tracciare i due Ril_1 per i due punti determinativi si tracciano i due $(Ril_1 + \gamma)$ *rette d'azimut*; procedura del doppio γ .

II Nota. La città dalmata di Zara (in croato *Zadar*) fu capoluogo di provincia italiana dal 1918 al 1945. La sua storia è legata a quella della Repubblica di Venezia.

3. STAZIONE TERRESTRE RG RILEVA LA NAVE. RADIOFARI DIREZIONALI.

Una nave, in caso di necessità, chiede di essere rilevata da una o due stazioni radiogoniometriche di terra svolgenti, a pagamento, servizio continuo. Le modalità di chiamata, col radiotelefono (o sulla 500 Kc/s per le navi che ancora hanno a bordo gli apparati R.T.), e di procedura per farsi rilevare (ad esempio sulla 410 KHz) sono contenute nell'*Admiralty List of Radio Signals*.

L'Ufficiale marconista, o chi per lui, trasmette due linee, della durata di 10 secondi ciascuna, seguite dal nominativo della nave. I segnali radiotelegrafici R.T. s'irradiano dall'antenna di bordo, propagandosi in ogni direzione, lungo archi di circolo massimo, in assenza di effetto costa o altro disturbi.

La stazione terrestre RG rileva la nave secondo l'angolo Ril_0 che il meridiano della stazione forma con l'arco di ortodromia congiungente N con RG (v. fig. 13).

Il luogo di posizione della nave è il semicircolo massimo uscente da RG e formante l'angolo Ril_0 con il meridiano della stazione.

In fig. 13 i punti $N_1, N_2 \dots$ sul c.m. ipotizzano possibili posizioni della nave (la cui posizione è incognita). La nave può richiedere alla stazione RG, o alle due stazioni RG che l'hanno rilevata, i relativi Ril_0 (procedura QTE). Incrociando, sulla carta nautica, i due rilevamenti Ril_0 si ottiene il P_N . Quando γ non è trascurabile ($> 1^\circ$) si considera (v. fig. 14): $Ril_1 = Ril_0 - \gamma$ (8)

Se si passasse al calcolo dei punti determinativi con Ril_1 (come detto nella nota del § 2), il tracciamento più preciso della cosiddetta "retta ortodromica" avverrebbe con $Ril_1 - \gamma$ (in pratica $[Ril_0 - 2\gamma]$ anche qui procedura del doppio γ). La formula del γ è la (5) dove RG prende il posto di RC.

I rilevamenti radiogoniometrici presi da RG sono più precisi di quelli presi con il radiogoniometro di bordo, sia perché mancano a terra, intorno al telaio (antenne Adcock, coi rami interrati), tutti quei conduttori dello scafo metallico e delle sovrastrutture della nave che perturbano la direttività dei segnali in arrivo sul telaio, sia perché è noto l'errore sistematico, nella propagazione delle onde, dovuto all'effetto costa. Sperimentalmente viene individuato un settore, avente per vertice la stazione RG, entro cui, per ogni rilevamento, la stazione conosce la correzione da apportare al rilevamento stesso. Tale correzione è funzione dell'ora e della stagione. Tale settore è detto calibrato (v. fig. 15). Fuori del settore l'errore è notevole e variabile.

Nota. In Agosto 1980 la CP della Capitaneria di Porto ascolta, sul canale 16, un drammatico appello di soccorso lanciato dallo skipper di un panfilo in pericolo di affondare, con 4 persone a bordo. Alla richiesta delle coordinate, la risposta fu: "non lo so!. Sono al largo del Mare di Sardegna, non vedo la costa". Il Capitano della C.P.: "mi ripeta per 10 volte, lentamente, il nome della sua barca, sempre con la stessa altezza di voce, in tre momenti che le segnalerò". Il panfilo fu radiogoniometrato dalla C.P. e da due stazioni terrestri sarde. Individuata la posizione, la C.P. riuscì nell'opera di salvataggio delle persone. Il panfilo affondò.

Radiofari direzionali RD, RW. I radiofari direzionali, a differenza dei radiofari circolari, non hanno un'emissione omnidirezionale delle r.o.. L'irradiazione è variabile a seconda delle direzioni azimutali intorno all'antenna. Se immaginiamo l'antenna come un radiatore a telaio, le cui bobine siano percorse da corrente a RF, per il teorema di reciprocità riguardante le antenne trasmettenti e riceventi, il diagramma d'irradiazione è la curva a 8.

Al posto del telaio vengono usati, con uguale effetto, le antenne Adcock a rami verticali (con un solo ramo orizzontale interrato). Per semplicità di trattazione immaginiamo che l'irradiazione sia prodotta da due telai incrociati e ortogonali, che ciascuno emetta per proprio conto, sulla stessa frequenza.

Le due curve a otto (uguali se vi è perfetto equilibrio nei due circuiti d'antenna) **s'intersecano in quattro punti. Le congiungenti il centro delle antenne con ognuno dei 4 punti danno origine alle direzioni equisegnali.**

Seguiamo la figura 18a: se il telaio T_1 trasmette la lettera A ed il telaio T_2 la lettera N, si può dire che una normale radio ricevente, che sia sintonizzata sulla frequenza portante di lavoro dei telai, riceverà i segnali A e N con intensità differente a seconda del settore in cui si trova la nave.

Nei settori I e III, essendo maggiore l'irradiazione del telaio T_2 rispetto all'altro, si ode la lettera N con maggiore intensità della lettera A. Viceversa, nei settori II e IV prevale la lettera A irradiata dal telaio T_1 . Una nave (od un aereo) che si trova in un punto delle linee equisegnali sente le due lettere con uguale intensità. La manipolazione in trasmissione avviene in modo che un telaio funzioni nei periodi di silenzio dell'altro (v. fig. 18b), nei punti equisegnali si ode un fischio continuo: composizione dei segnali A-N complementari nel tempo.

Le semirette equisegnali sono rotte di approdo in alcuni porti e sono utili in tempo di nebbia. Quando la nave va fuori rotta, l'operatore all'ascolto se ne accorge per il prevalere del segnale di una lettera sull'altra; interviene sul timone per riportare la nave sul **radio-allineamento**.

Teoricamente l'equisegnale giace in un piano verticale, ma non essendo tecnicamente possibile realizzare una perfetta direttività si parla comunemente di fascio equisegnale. Ad esempio il fascio equisegnale all'imboccatura della Gironda è ampio m 54 a 18 miglia dalla trasmittente.

I radiofari direzionale rotanti (RW) sono stazioni che irradiano con un telaio "girevole" con velocità costante.

La stazione emette una regolare serie di punti. Tali punti sono uditi con intensità variabile nel tempo da ogni ascoltatore. L'ascoltatore in N (v. fig. 18c) cronografa l'intervallo di tempo tra il segnale omnidirezionale di Nord (specificato dai Radio servizi) e l'istante in cui perde l'ascolto dei punti; ciò avviene quando il telaio è a 90° dalla direzione N della nave. *L'angolo di cui ruota il telaio in tale intervallo è il rilevamento di RW.* Esempio: se il telaio ruota con la velocità di 1° al secondo ed ogni secondo emette un punto, il numero dei punti cronografati è l'angolo di Ril_v della stazione. L'ambiguità di 180° è eliminata dal punto stimato.

GEOMETRIA DEI SISTEMI IPERBOLICI

4. FAMIGLIE DI IPERBOLI.

I principali sistemi di navigazione iperbolica impiegati dal navigante per determinare il punto nave sono: Loran, Decca, e Omega (Transit, ora in disuso).

Loran, Decca, Omega e Transit sono denominati sistemi iperbolici perché il luogo di posizione derivante dalle misure è l'iperbole. I sistemi di radionavigazione iperbolica, a differenza di quelli radiogoniometrici in cui si misura l'angolo di direzione di provenienza della radioonde, si basano sulla misura indiretta della differenza di distanza coperta dai segnali radiotelegrafici partenti dalle stazioni e giungenti al ricevitore di bordo. Le posizioni delle stazioni Loran, Decca, etc. fungono pertanto da fuochi delle famiglie di iperboli.

Nel Loran si misura la differenza di tempo con cui giungono al ricevitore i segnali partiti dalle stazioni Loran. Nel Decca e nell'Omega si misura la differenza di fase delle radioonde in arrivo. Nel Transit la misura è la differenza di frequenza (effetto Doppler) tra la radiofrequenza emessa dal satellite e la radiofrequenza di arrivo ...

In tutti e tre i casi queste misure "differenze" sono proporzionali alla differenza delle distanze tra la nave ed ognuna delle due stazioni.

Il parametro fondamentale è la velocità di propagazione delle radioonde:

$c = 300.000 \text{ Km/s}$; $c = 300 \text{ m/s}$ in prima approssimazione (v. § 1 Cap. 4).

Poiché la velocità di propagazione di un'onda e. m. è elemento più stabile della sua direzione di propagazione, le relative misure sono più precise di quelle radiogoniometriche.

Si definisce iperbole il luogo dei punti per i quali è costante la differenza delle distanze da due punti fissi chiamati fuochi (F_1 e F_2). Nei sistemi iperbolici i fuochi sono le posizioni delle stazioni (A e B nelle figure 19, 20).

Le carte di radionavigazione hanno già le iperboli sovrastampate. Dopo la misura si passa immediatamente alla ricerca dell'iperbole corrispondente.

Equazione dell'iperbole del piano:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

dove $b^2 = c^2 - a^2$; c è la distanza tra i due fuochi. Per qualsiasi punto dei due rami d'iperbole è costante la differenza, (valore assoluto) $2a = |d_2 - d_1|$. La sola differenza ha segni opposti nei 2 rami.

Una sola misura definisce un luogo di posizione. Occorre almeno una seconda misura per incrociare le due iperboli (di due differenti famiglie) ed ottenere il P_N .

Le qualità dell'iperbole e del P_N . Dove le iperboli sono più vicine tra loro, lì l'iperbole è relativamente più precisa; come avviene con le isobate (v. Cap. XII Navigazione Tradizionale). Ogni misura, manuale o automatica, ha un potenziale errore. A tale errore corrisponde un errore sul LOP, tanto più grande quanto più le iperboli sono rade. Ciò si verifica quando le iperboli si allontanano dalla linea di base e quando dalla linea centrale volgono verso i prolungamenti della linea di base. La qualità del P_N viene giudicata anche dall'angolo d'intersezione delle due iperboli. L'angolo ottimale è 90° , come avviene nei rilevamenti costieri, le rette di altezza ...

Tavola 8 Iperboli e Iperboloidi.

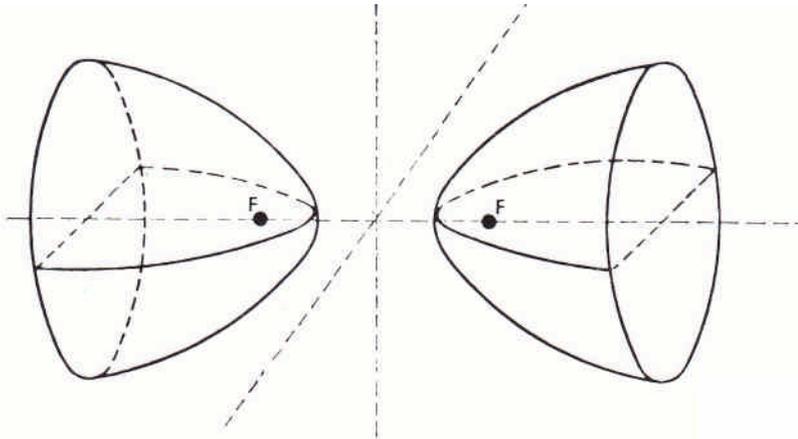


Fig. 19
Famiglia d'iperboli
sul piano.

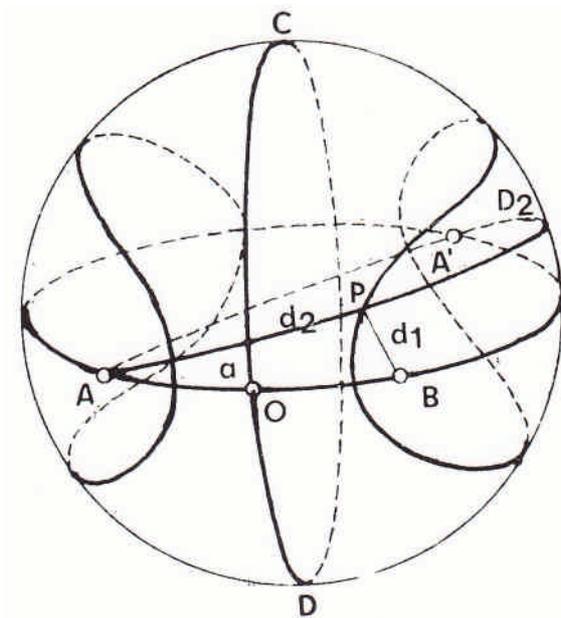


Fig. 20 Iperboloide nello spazio.

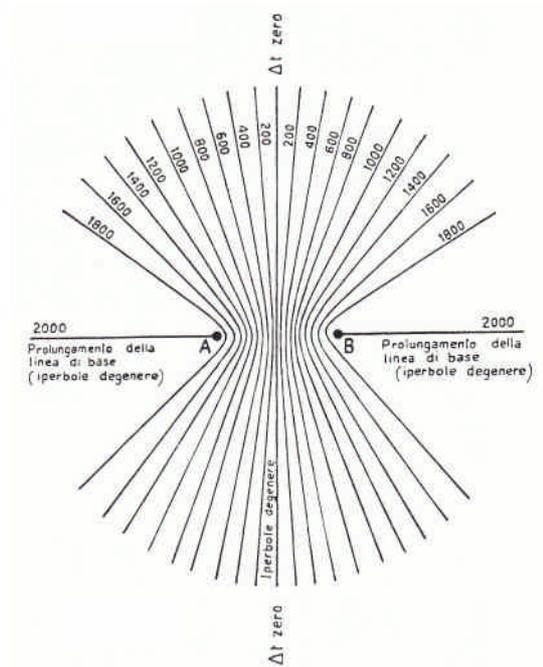


Fig. 21 Iperbole sferica.

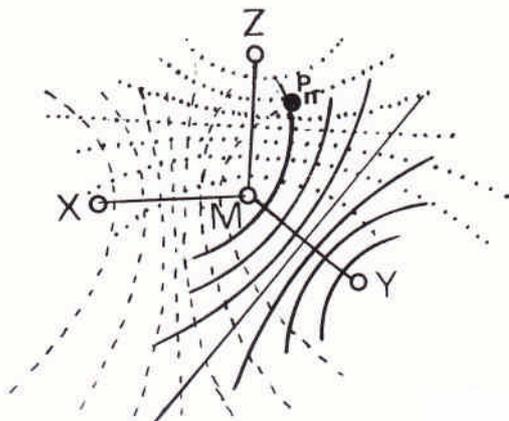


Fig. 22 Due famiglie d'iperboli: P_N .

Didascalia. Esaminiamo un'iperbole del piano della Fig.19. La sua rotazione intorno alla linea di base (linea dei fuochi - stazioni) genera l'iperboloide nello spazio (fig. 20). L'intersezione dell'iperboloide con la superficie sferica genera l'iperbole sferica (fig. 21). I rami dell'iperbole sferica sono chiusi, a differenza dei rami dell'iperbole piana che vanno all'infinito. La figura 22 mostra due famiglie d'iperboli, luoghi di posizione (LOP). L'intersezione di due LOP determina il P_N .

5. LORAN.

La parola Loran è l'acronimo delle parole "*Long Range Navigation*". Le prime stazioni, della U.S.A. Navy, furono impiantate lungo le coste atlantiche durante la 2^a guerra mondiale. Per capire il principio di funzionamento del Loran immaginiamo, in un primo momento, che le due stazioni emittenti M, S (v. Tav. 9 fig. A), occupanti i fuochi della famiglia di iperboli, trasmettano simultaneamente radioonde ad impulsi. Queste si propagano circolarmente viaggiando con la nota velocità «c» delle r.o.; giungono al ricevitore R intervallate (giungerebbero contemporaneamente soltanto se il ricevitore si trovasse sulla linea centrale). Indicando con d_M e d_S le distanze della nave dalle stazioni M ed S, i tempi di viaggio sono d_M/c e d_S/c . L'intervallo nella ricezione dei due impulsi è dato da $\Delta t = (d_S - d_M) / c = t_S - t_M$.

L'intervallo di tempo Δt è proporzionale alla differenza delle distanze ($d_S - d_M$) separanti il ricevitore dalle due stazioni. Il luogo di posizione è l'iperbole.

L'emissione simultanea, però, non permette al ricevitore di distinguere l'impulso di M (*Master*) da quello di S (*slave*); rimane, conseguentemente, l'ambiguità nella scelta tra i due rami d'iperbole; ambiguità non eliminabile dal punto stimato quando la nave si trova vicina alla linea centrale.

S'impone la necessità di un sistema di trasmissione sincronizzata, sequenziale, con la stazione principale M che piloti le emissioni e che svolga il monitoraggio. La stazione schiava S emette dopo aver ricevuto l'impulso della principale. Così l'impulso della principale arriverà sempre prima di quello dell'asservita.

Le prime frequenze usate nel sistema Loran oscillavano intorno a 1900 KHz - onde medie. Successivamente, nel Loran C, furono introdotte, le onde lunghe con frequenza intorno a 100 KHz ($\lambda = 3.000\text{m}$). Questo cambiamento, avvenuto intorno al 1957, aveva lo scopo di allargare la portata del sistema e di migliorare la precisione. Le stazioni Loran C sono distanti tra loro, mediamente, 800 miglia. La portata diurna dell'onda superficiale (*Ground Wave*) è ~1250 M (miglia), mentre di notte l'onda ionosferica (*Sky wave*) allarga la portata fino a 2500 M.

Le antenne irradiano con potenze di picco variabili nella gamma che va da 250 Kw a 1000 Kw.

Lo schema di trasmissione (v. Tav. 9) fa vedere i 9 impulsi (8 + 1 staccato; v. Tav. 9 fig. C) della stazione principale e gli otto impulsi, in sequenza, di tre stazioni asservite X, Y, Z (talune catene hanno anche una quarta *slave* : W). Ogni impulso è "lungo" 200 μs .

Viene indicato genericamente con T il tempo impiegato dal treno di impulsi della *master* per arrivare a ciascuna *slave* (T_{MX} , T_{MY} ...), per coprire cioè la rispettiva linea di base.

Le tre stazioni asservite trasmettono i loro impulsi con ritardo δ (δ_x , δ_y , δ_z ...).

Con l'introduzione di questi ritardi gli impulsi delle stazioni asservite giungono al ricevitore di bordo dopo quelli della principale, sempre, nella sequenza X, Y, Z ... (o W, X, Y, Z) in qualsiasi punto dell'area di copertura.

L'espressione generale del ritardo T_G (*Time-Ground*) è:

$$T_G = T + \delta + (t_S - t_M) \quad (10)$$

T, δ sono costanti; ($t_S - t_M$) è la variabile al mutare della posizione del ricevitore Nave. La misura della differenza di tempo T_G è un valore sempre positivo. Vi è quindi una corrispondenza biunivoca tra i T_G e le iperboli, corrispondenza che elimina l'ambiguità insita nei due rami componenti l'iperbole.

L'iperbole Loran è il luogo dei punti in cui è costante la differenza di tempo con cui arrivano i due segnali delle stazioni.

Il prospetto (v. Tav. 9) riporta le tre cadenze fondamentali e le cadenze specifiche delle coppie di stazioni Loran C. La catena del Mediterraneo è composta dalla principale situata a Catanzaro. Le tre asservite sono X a Lampedusa, Y a Istanbul, Z in Catalogna. L'intervallo di cadenza fondamentale è 80.000 μs (12,5 impulsi al secondo); la cadenza specifica è 79.900 μs . Il numero identificatore della catena è formato dalle prime quattro cifre della cadenza specifica. Pertanto la catena del Mediterraneo ha un cosiddetto GRI pari a 7990.

Le prime misure oscillografiche. Diamo un cenno a quelle misure sui Loran di prima generazione. L'ufficiale doveva impegnarsi in una sequenza operativa che richiedeva abilità tecnica unita a buone conoscenze teoriche. Seguiamo le figure della Tavola 15. Senza entrare in dettagli oramai inutili, diciamo che nel ricevitore Loran (come nel radar) si verifica un sincronismo: il tempo di crescita della tensione a denti di sega (e quindi di scansione del fascio elettronico) uguaglia l'intervallo di ripetizione degli impulsi in arrivo dalla principale (*master*) sia dall'asservita (*slave*). La base del tempo del t.r.c. (linee orizzontali dello schermo) è generata dalle placche verticali che deflettono orizzontalmente gli elettroni; le deflessioni verticali sono generate dagli impulsi in arrivo dalle stazioni; gli impulsi polarizzano le placche orizzontali: il pennello elettronico subisce le deflessioni verticali.

Gli impulsi *ground* sono stabili sulla base del tempo; gli impulsi *sky* sono instabili sia nella posizione della base del tempo sia nell'intensità; ciò a causa della fluttuazione in quota dello strato ionosferico e della variabilità dell'assorbimento. Queste considerazioni erano una guida: quando la nave si trovava in quella fascia di transizione, variabile, tra la copertura superficiale e quella ionosferica (v. Tav. 9). Se si riconoscevano come impulsi *ground* la correlativa misura era T_G , definitiva; se viceversa gli impulsi erano riconosciuti *sky* la misura era T_S . In questo secondo caso, per avere il valore corrispondente T_G si doveva ricorrere alla correzione C (tabellata nelle Tavole Loran in funzione di Latitudine e Longitudine). $T_G = T_S + C$. La scelta del LOP, luogo di posizione iperbole, sulla carta Loran, è funzione di T_G .

Agendo su tre manopole veniva creato un artificiale spostamento verso sinistra dell'immagine dell'impulso *slave* fino a combaciarlo con l'impulso *master*. Tale spostamento era automaticamente contabilizzato; ciò consentiva, alla fine, di leggere il T_G o il T_S . Le distanze d_s e d_g (v. Tav. 9) sono quelle *sky* e *ground*.

Homing. Il navigante avente la carta Loran (o Decca) può far uso di un solo luogo di posizione (LOP) per guidare la sua nave quando tale LOP coincide o quasi con un tratto di rotta da seguire: sostituisce la bussola ed è un luogo di posizione «ancorato», per così dire, al fondo marino e quindi sicuro ed efficace particolarmente in zona di vento e di correnti variabili. Si guida la nave mantenendo costante, sullo schermo, il valore TG espresso in μs . Si realizza in sostanza una radiobussola, nota anche col termine "homing". Gli ultimi modelli Loran C, dopo aver operato la sintonia sul GRI della catena, lavoravano automaticamente e sullo schermo comparivano le coordinate del punto nave e la qualità del punto d'intersezione delle iperboli.

L'*homing* non è un esclusiva dell'iperbole Loran o Decca. Va bene con qualsiasi altro luogo di posizione, ad esempio l'isobata, quando è più o meno orientato vicini alla rotta di approdo o per prendere il largo per una prima destinazione. Con i sistemi di navigazione moderni ha perso parte dell'importanza che aveva un tempo.

Tavola 9 LORAN.

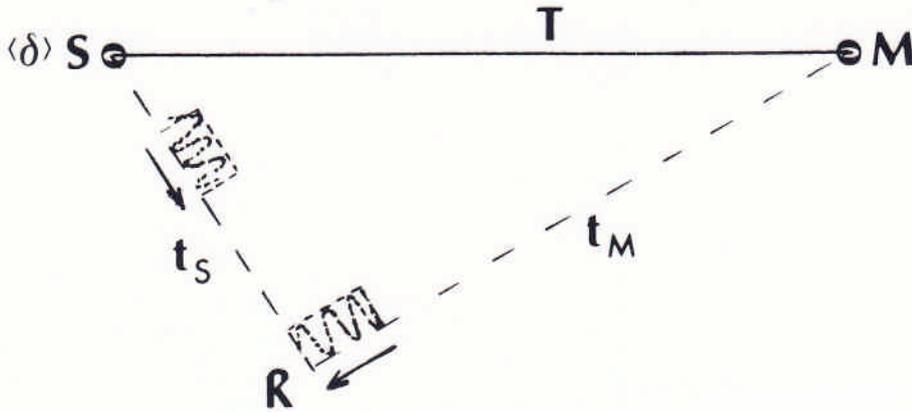


Fig. 23

Principio del Loran.

Cadenza base SL 12,5 impulsi al secondo		
Numero distintivo	Cadenza specifica	Intervallo di cadenza
0	$12^{32/64}$	80.000
1	$12^{33/64}$	79.900
2	$12^{34/64}$	79.800
3	$12^{35/64}$	79.700
4	$12^{36/64}$	79.600
5	$12^{37/64}$	79.500
6	$12^{38/64}$	79.400
7	$12^{39/64}$	79.300

Fig. 24
Cadenze degli impulsi.

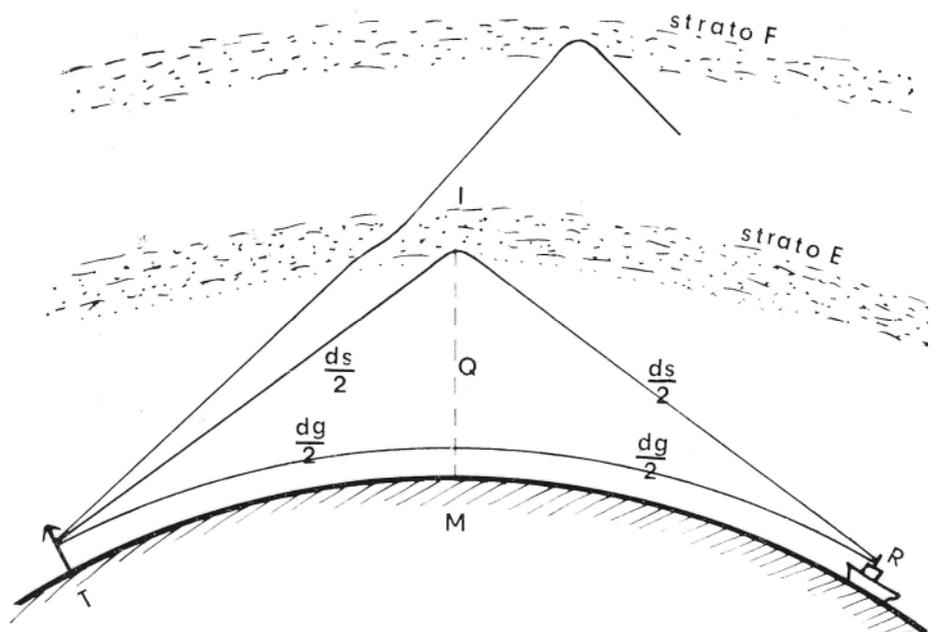


Fig. 25 impulsi : ground, sky.

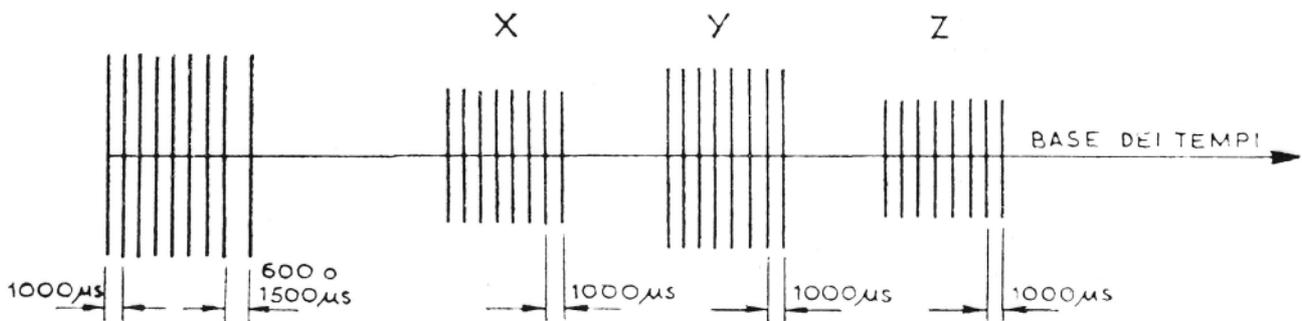


Fig. 26 Treno di impulsi.

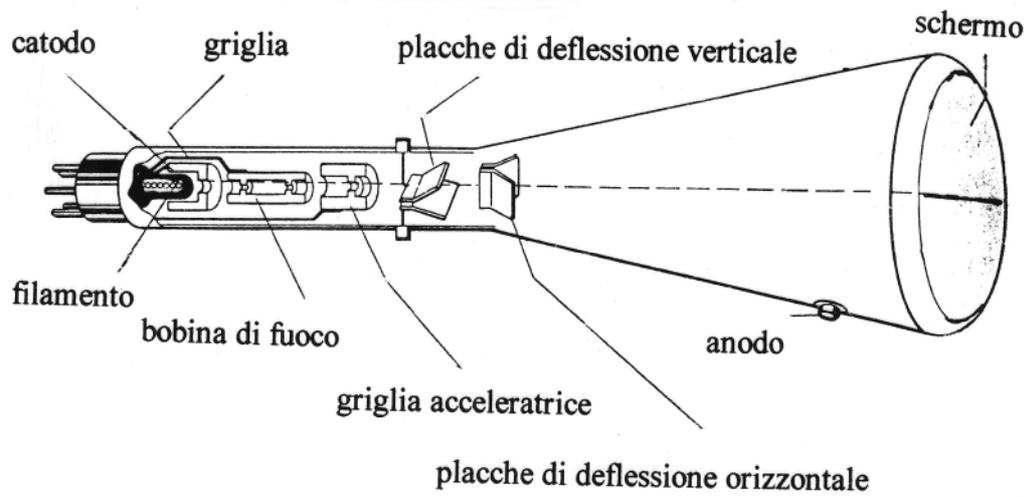


Fig. 27
Oscilloscopio.

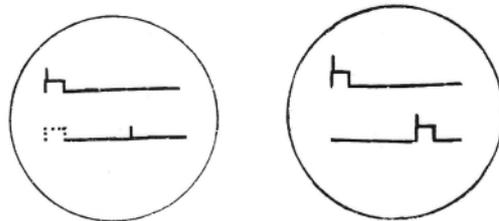


Fig. 28

I segmentini verticali sono: impulso della *master* (inizio del piedistallo sulla base superiore del tempo) e quello dalla *slave* (sulla base inferiore del tempo).

Tavola 10 Catena di stazioni e Carta nautica Lorán.

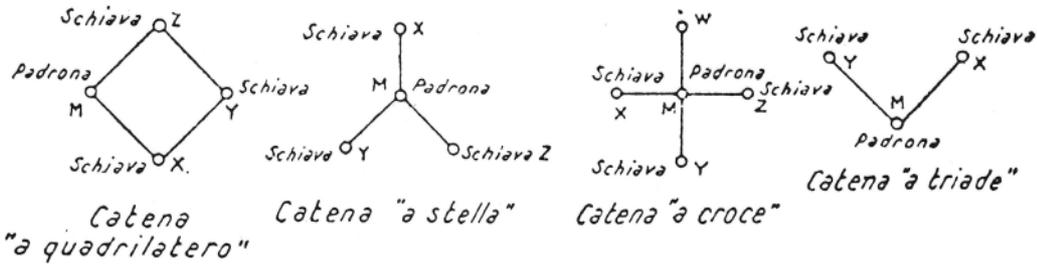
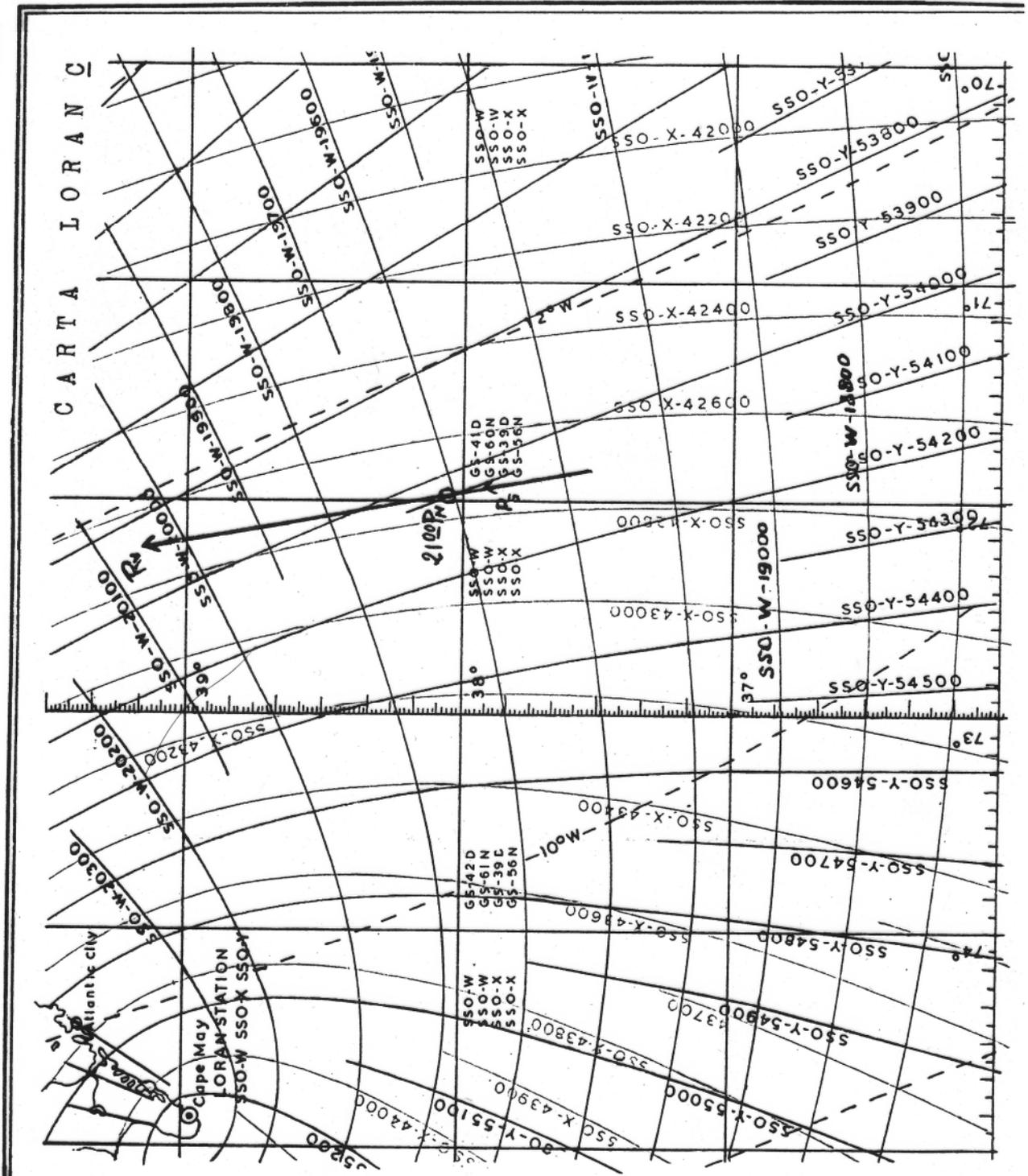


Fig. 29

Fig. 30



6. DECCA.

Il Decca è un sistema di radionavigazione iperbolica, avente una copertura di ~ 350 miglia di notte, e ~ 450 miglia di giorno. Vengono irradiate, con continuità, radioonde di frequenza intorno a 100 KHz ($\lambda = \sim 3000$ metri: onde lunghe). Le due stazioni sono lontane, fra loro, circa 200 Km.

La prima catena Decca fu impiantata nel 1944 nella Manica ed aiutò le navi inglesi e statunitensi nello storico sbarco di Normandia.

Sul ricevitore si legge la differenza di fase delle due onde (principale, asservita). **Se le onde partissero con la stessa fase, la differenza di fase sarebbe direttamente proporzionale alla differenza di distanza della nave dalle due stazioni (fuochi).**

Indichiamo i campi elettrici partenti da A (principale - master) e da B (asservita - slave) con le espressioni :

$$e_A = E \sin \omega t \qquad e_B = E \sin \omega \left(t + \frac{D}{c} \right)$$

D è la distanza tra A e B ; $\omega = 2 \pi f$ è la pulsazione delle r.o.; ωt è la fase di e_A ; $\omega \left(t + \frac{D}{c} \right)$ è la fase di e_B .

I campi elettrici in arrivo al ricevitore, lontano d_A dalla master, d_B dalla slave (v. Tav. 19), sono :

$$e'_A = K'E \sin \omega \left(t - \frac{d_A}{c} \right) \qquad e'_B = K''E \sin \omega \left(t + \frac{D}{c} - \frac{d_B}{c} \right)$$

K' e K'' sono i coefficienti di attenuazione. Le due fasi sono:

$$\varphi_A = \omega \left(t - \frac{d_A}{c} \right) \qquad \varphi_B = \omega \left(t + \frac{D}{c} - \frac{d_B}{c} \right)$$

operando la differenza $\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$, dopo facili passaggi e dopo aver introdotto $\lambda = c/f$ e scambiato 2π con 360° , si perviene a :

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{\lambda} (D + d_A - d_B)$$

il termine significativo è $[d_A - d_B]$, variabile col mutare della posizione nave.

Esempio numerico, di valore didattico, riferito alla figura 40 :

$$\varphi_A = 4,19 \text{ cicli} ; \quad \varphi_B = 6,5 \text{ cicli} ; \quad \Delta\varphi = -(6,5 - 4,19) \text{ cicli} ; \quad \Delta\varphi = -2,31$$

Aggiungiamo i 5 cicli della linea di base : $\Delta\varphi = 2,69 = 2 \text{ cicli e } 248^\circ$.

Con la formula sopra riportata: $D = 80 \text{ mm}$; $d_A = 67 \text{ mm}$; $d_B = 104 \text{ mm}$; $\lambda = 16 \text{ mm}$.

Risulta : $\Delta\varphi = 967,50$. Dividendo per 360° : $\Delta\varphi = 2 \text{ cicli e } 248^\circ$.

Decometri o fasometri sono gli strumenti su cui si leggono le differenze di fase delle 3 coppie di stazioni componenti la catena Decca. L'indice scorre su un quadrante che, anziché essere graduato da 0° a 360° , ha la graduazione da 0 a 100 (ogni parte centesimale corrisponde a 3.6°).

L'iperbole Decca è il luogo dei punti dai quali si misura la stessa differenza di fase delle r.o. provenienti dalle stazioni.

Viale è la zona delimitata da due iperboli aventi la stessa differenza di fase 0° , ma $\Delta\varphi$ e $\Delta\varphi'$ differiscono proprio di 360° (angolo giro).

La lunghezza "l" di un viale, sulla linea di base, è uguale a $\lambda/2$. I viali sono raggruppati in canali.

Tavola 11 Catena Decca – Famiglia di Iperboli - Fasometri.

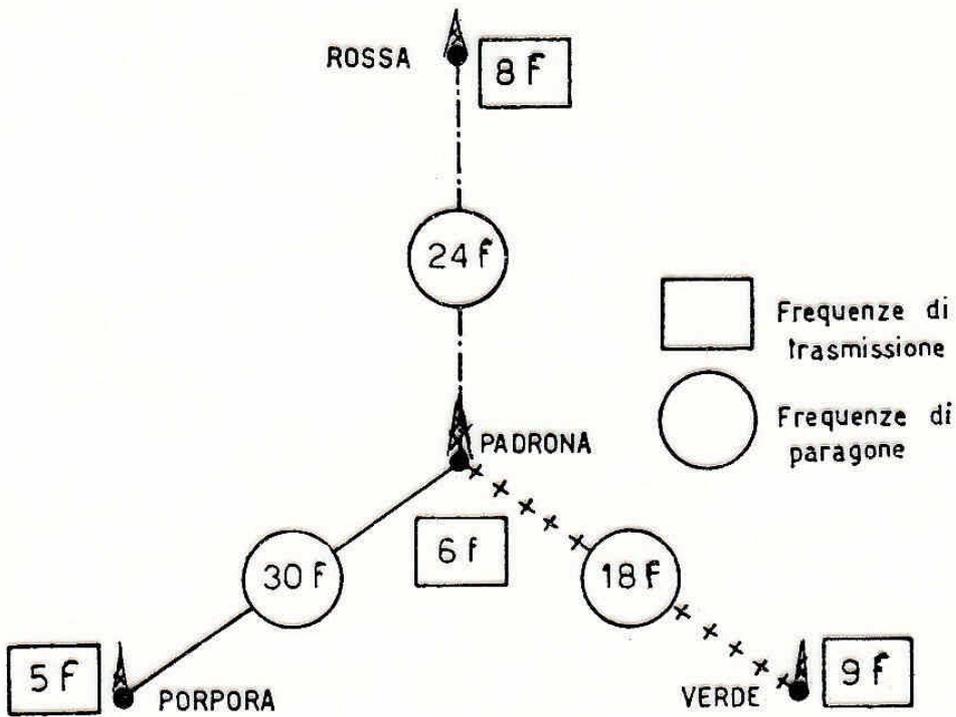


Fig. 31

Le radiofrequenze emesse dalle stazioni e di paragone

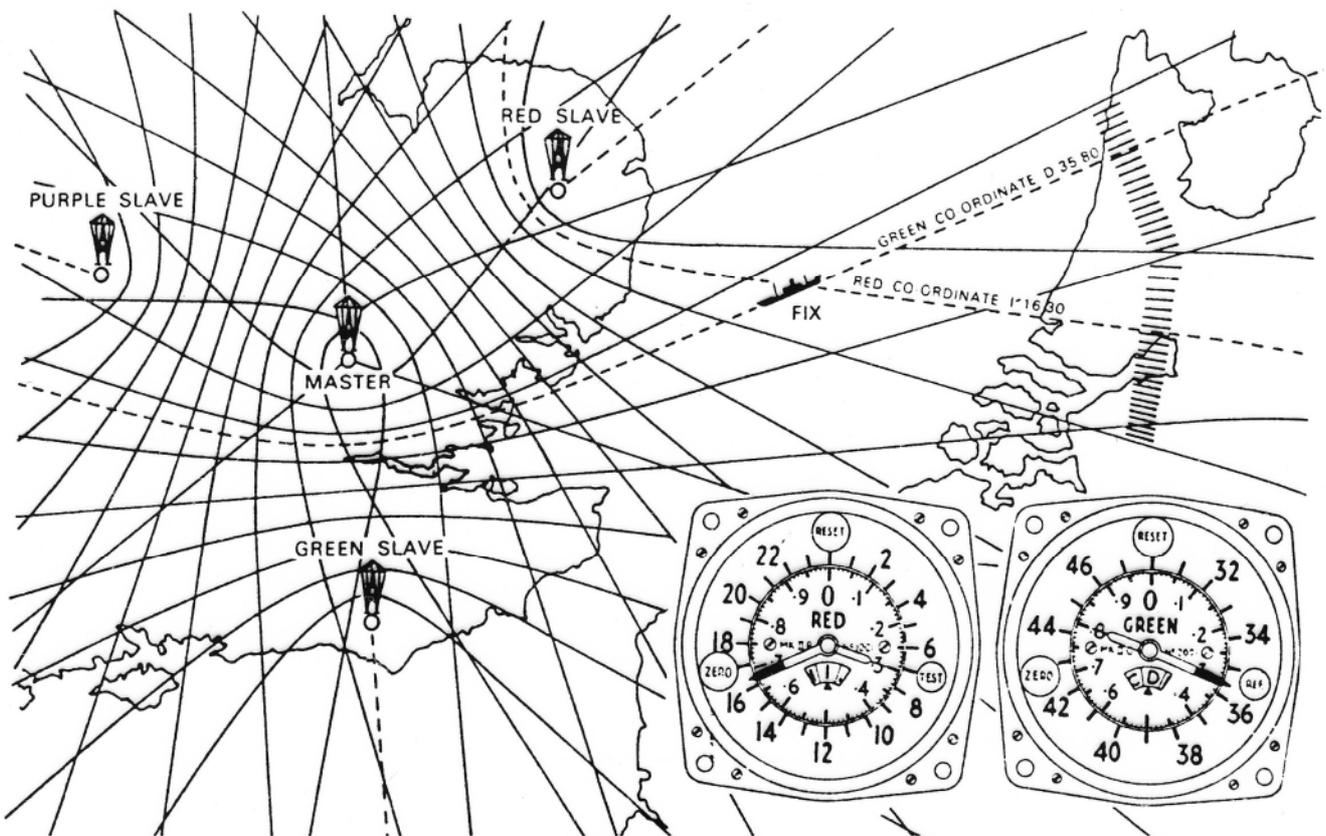


Fig. 32

I viali rossi sono numerati da 0 a 24, i viali verdi da 30 a 48, i viali porpora da 50 a 80.

7. OMEGA.

È un sistema di navigazione iperbolica e sequenziale con misure di differenza di fase. La frequenza è ~ 10 KHz; le onde, lunghissime (VLF), intorno a 30 Km. La copertura è elevata. Con otto stazioni viene coperta tutta la superficie terrestre con almeno tre iperboli simultanee. Le antenne delle stazioni Omega sono altissime, oltre 300 metri. La stazione A, della Norvegia, ha antenne che vanno da una cima all'altra delle montagne di un fiordo (Tav. 12); le acque del fiordo assolvono il compito di superficie riflettente. La potenza in uscita è ~ 10 Kw; diminuisce d'inverno allorché le antenne si ricoprono di ghiaccio.

Le frequenze emesse sono tre, di poco più grandi di 10 KHz. La portata, elevatissima, supera le 5500 miglia, grazie ad una attenuazione dei segnali debolissima. Le onde dell'Omega vengono ricevute anche dai sommergibili grazie alla loro penetrazione nei mari per qualche decametro. Non si può parlare di propagazione tipicamente superficiale o ionosferica in quanto che l'onda si propaga in maniera simile al modo "IT2" di propagazione delle onde che viaggiano nelle guide d'onda (v. fig. 36). La guida d'onda dell'Omega è il sentiero formato dalla superficie terrestre e dallo strato ionosferico che di giorno è lo strato D a 73 Km, circa, di notte è lo strato E a circa 96 Km. Trattasi in altre parole di una propagazione troposferica per successive onde riflesse. Non è prevista l'utilizzazione dei segnali delle stazioni nel raggio di 600 miglia, zona di copertura dell'onda superficiale che però subisce interferenza con l'onda riflessa. I parametri di propagazione subiscono sempre variazioni a causa dei cambiamenti di conduttività e dell'indice di rifrazione dei vari suoli terrestri, dei cambiamenti di quota della ionosfera, nelle stagioni, ed infine dal giorno alla notte.

Due stazioni di monitoraggio (Rugby - R.U. e Balboa - Panama) fanno servizio di controllo e di eventuale rettifica della fase iniziale. I tempi di trasmissione sono regolati su T.U.2. La trasmissione sequenziale facilita il monitoraggio delle emissioni.

8. TRANSIT.

È il primo sistema satellitare della storia della navigazione.

Cinque satelliti, in orbita quasi polare, descrivono traiettorie ad altezze di 1000 ÷ 1100 Km rivoluzionando in un periodo di 107 minuti. Trasmettono segnali sulle portanti 150 e 400 MHz.

I segnali, destinati ad essere ricevuti con effetto Doppler dalle navi e dagli aerei, contenevano tutti i valori dei parametri orbitali (effemeridi) che consentono al computer del ricevitore di calcolare la posizione della nave o dell'aereo (e la sua quota).

Il luogo di posizione è l'iperboloide (v. Tav. 13) i cui fuochi sono la posizione del satellite all'inizio ed alla fine del ciclo di trasmissione.

Lo spostamento del satellite, la rotazione della Terra, il movimento della nave, producendo un cambiamento relativo tra le posizioni della sorgente (satellite) e del ricevitore (nave o aereo), determinano sui segnali in arrivo un mutamento di frequenza (f_R) rispetto alla frequenza in trasmissione (f_T). Lo slittamento di frequenza ($f_R - f_T$) registrato, dipendente direttamente dalla differenza di distanza ricevitore - satellite (1^a e 2^a posizione di ogni ciclo: $S_2 - S_1$), consente al computer di calcolare la posizione dell'utente.

Il sistema ha un raggio di copertura di circa 1800 miglia. Importante è la copertura delle regioni polari. I passaggi del satellite sopra l'orizzonte dell'utilizzatore avvengono ogni 90 minuti. Il satellite rimane sopra l'orizzonte per quasi 20 minuti. I parametri orbitali, lievemente variabili (una delle cause: la precessione) esigono il loro controllo da terra. Quattro stazioni di tracciamento, a monte di un centro di elaborazione e calcolo, controllano le orbite passate dei satelliti per estrapolare le orbite future. Altre due stazioni - di iniezione - a valle del centro di calcolo, comunicano al satellite le sue effemeridi future. Queste entrano nel messaggio di navigazione che il satellite irradia per i suoi utilizzatori.

Tavola 12 Antenna Omega. Propagazione IT2. *Format* dei segnali.

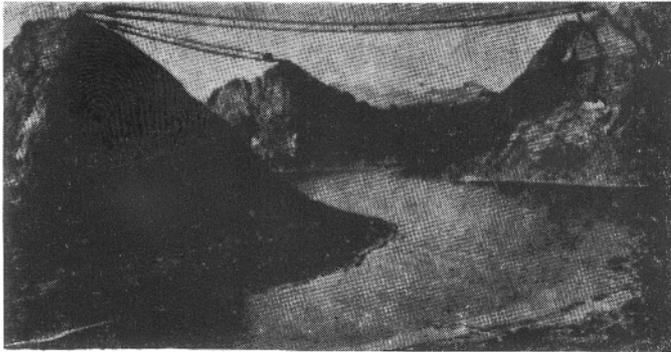


Fig. 33

La stazione Omega della Norvegia ha un'antenna particolarmente lunga (oltre 2Km) che si estende da un versante all'altro di uno stesso fiordo.

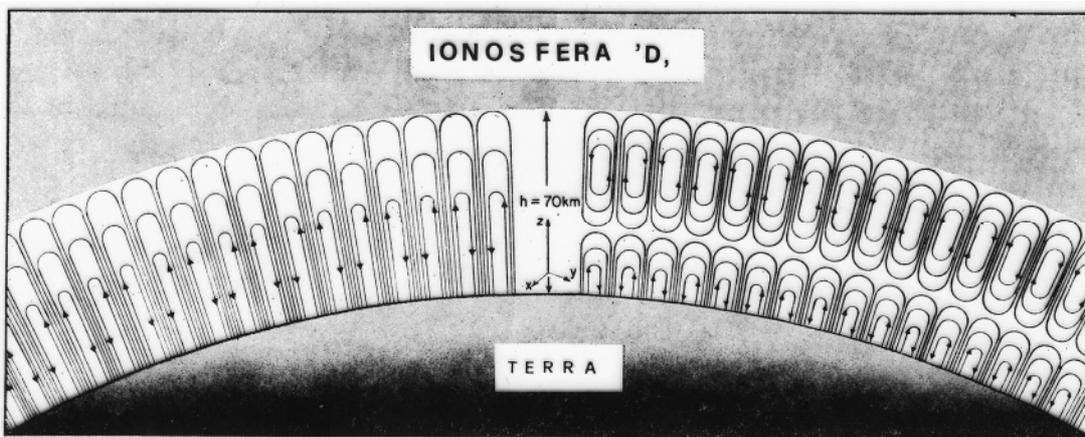


Fig. 34

Modello IT2 di propagazione dell'onda "lunghissima" del sistema Omega tra la superficie terrestre e lo strato ionosferico D

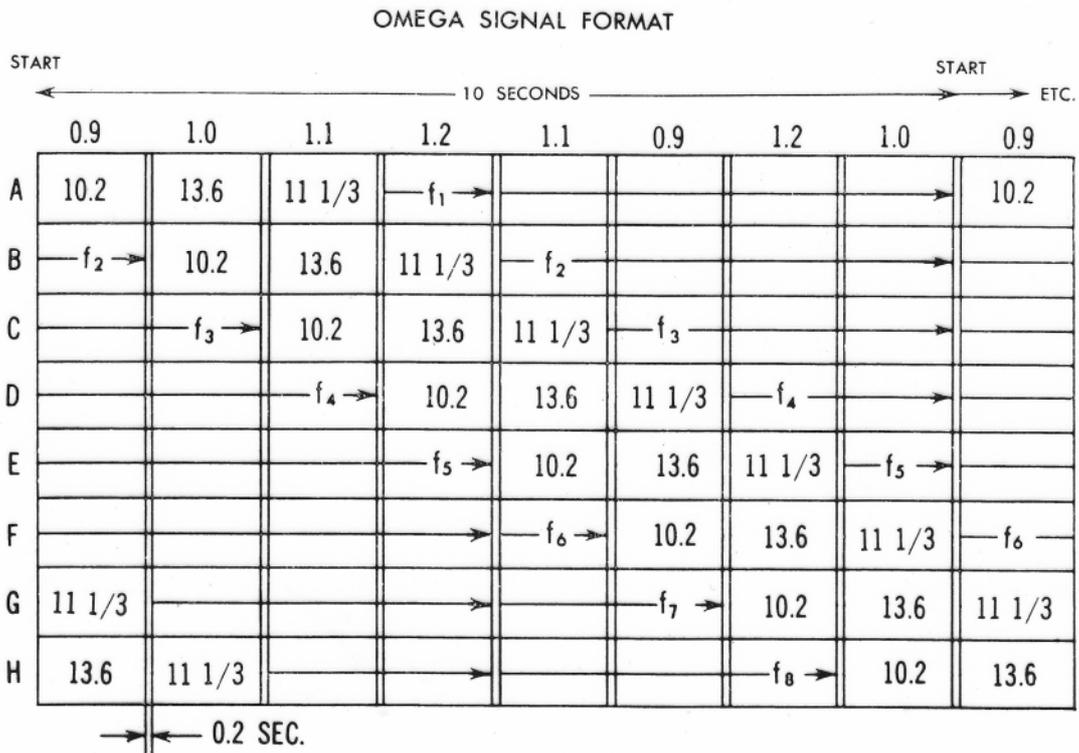
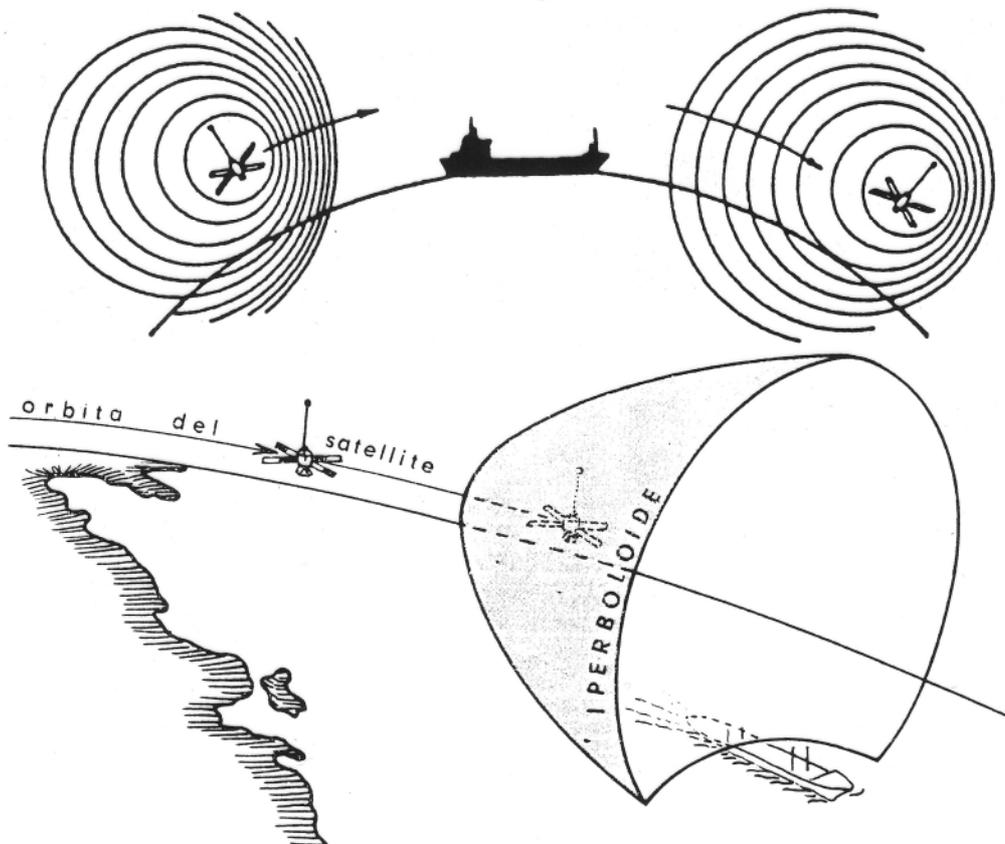
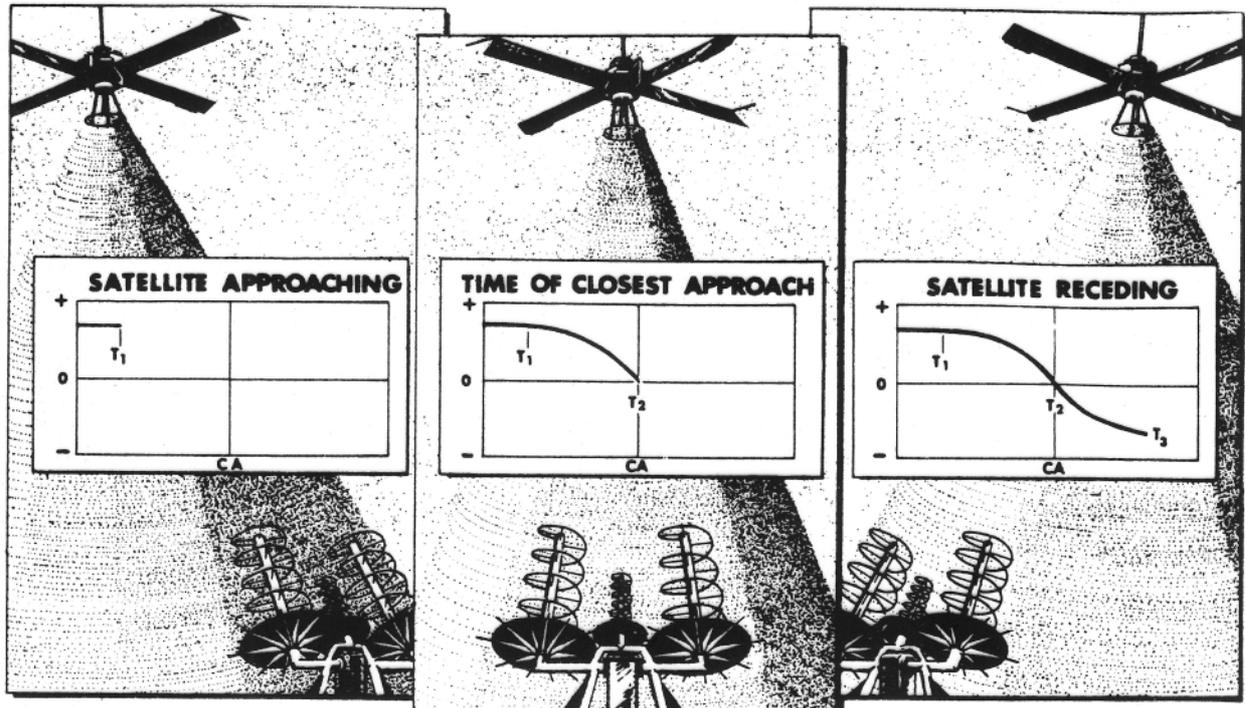


Fig. 35

Tavola 13 Transit ed Effetto Doppler.



Didascalia. Le intersezioni, con la superficie terrestre, dei due iperboloidi individuati dai due valori di differenza di distanze $\pm[S_2 - S_1]$, (quello prima e quello dopo il *transit*) ricavati dalle differenze delle frequenze $\pm[f_R - f_T]$ consente la determinazione della posizione della nave per l'istante T_2 del transit del satellite alla minima distanza dalla nave (v. III diagramma di Tav. 13). L'effetto Doppler è spiegato compiutamente nel Cap. IX Navigazione tradizionale.

Considerazioni finali. Tutti i sistemi di radionavigazione di questo capitolo sono, in gran misura, superati dalla supremazia, per precisione e sicurezza, dal sistema satellitare GPS (et similia), argomento del prossimo capitolo. Non si può dire di abbandono degli strumenti di radionavigazione. La struttura terrestre, anche se non funzionante, è custodita dalle Marine Militari. I radiofari e le stazioni Loran, Decca ... che ora non trasmettono, potrebbero essere riattivati in breve tempo qualora dovessero servire per sopraggiunte circostanze temporanee oltre che deprecabili. I satelliti con orbite polari del *GMDSS* (C. SAR-SAT) sono o si avvicinano, come modello, a questi descritti.

9. ESERCIZI DI RADIOGONIOMETRIA.

1)

4099 RC **Kaybolovo Lt** (Baltic Coast) Russia
294,5 A2 59°44'45"N 28°02'20"E

No	Name	Ident	Range	Seq	Fog	Clear
0499	Kaybolovo ¹	KA	75	1	Cont	Cont
0497	Mys Lounatrivi	ÜG ²	50	3	Cont	Cont
0495	Mokhni	MH	75	4	Cont	Cont
0493	Pikasääre O.	NG	75	5	Cont	Cont
0491	Pakrineem	PA	80	6	Cont	Cont

¹ Caution: There is a possibility of mutual interference with 0509 Orrengrind.

² (·- - - - ·).

0501 RC **Krasnogorskiy Lt Buoy** 60°02'25"N 29°20'50"E
NR 745 A1 10 miles Cont for 1 min in every 6 min

Da una nave in navigazione nel Mar Baltico verso Leningrado con:

$P_v = 75^\circ$ $V = 20$ nodi si rileva :

02.25 RC Kaybolovo Lt. $\rho = 113^\circ,4$

02.30 RC Krasnogorskiy $\rho = 22^\circ,2$

P_s (02.30) : $\varphi = 60^\circ 02'.5$ N $\lambda = 28^\circ 12'.3$ E

Determinare il P_n all'istante del 2° rilevamento. Risultato ($\varphi = 60^\circ 06'.0$ N ; $\lambda = 28^\circ 12'.3$ E)

2) Una nave in navigazione nel Nord Atlantico con $P_g = 238^\circ$ ($C_g = + 1^\circ$)

$V = 22$ nodi. Dal punto stimato $\varphi = 42^\circ 14'N$ $\lambda = 64^\circ 31'W$ si rilevano al RG, quasi simultaneamente :

RC Boston ($\varphi = 42^\circ 21'30"N$ $\lambda = 71^\circ 03'30"W$) $\rho_{rg} = 30^\circ,8$ $\delta_{rg} = + 2^\circ,2$

RC Halifax ($\varphi = 44^\circ 40'00"N$ $\lambda = 63^\circ 40'00"W$) $\rho_{rg} = 136^\circ,9$ $\delta_{rg} = 0^\circ$

Determinare il P_N . Risultato ($\varphi = 42^\circ 22'.4N$ $\lambda = 64^\circ 35'.3W$)

3) Una nave in navigazione nello Stretto di Cook con $R_v = 160^\circ$ $V = 20$ nodi alle ore $t_f = 4.00$ dal P_s : $\varphi = 40^\circ 30'S$ $\lambda = 172^\circ 30'E$ chiede di essere rilevata dalle stazioni neozelandesi, in servizio QTG.

Auckland ($\varphi = 36^\circ 52'40"S$; $\lambda = 174^\circ 54'50"E$) $Ril_0 = 203^\circ,8$

Wellington ($\varphi = 41^\circ 16'30"S$; $\lambda = 174^\circ 45'52"E$) $Ril_0 = 303^\circ,6$

Determinare il P_N . Risultato ($\varphi = 40^\circ 19'.2S$; $\lambda = 172^\circ 54'.7E$).