

RADAR

Caratteristiche generali del RADAR

Il RADAR (Radio Detection And Ranging) può essere definito come uno strumento in grado di individuare la presenza di oggetti per mezzo di "echi", rilevandone, oltre che la presenza, la distanza, il rilevamento e parte della configurazione.

Appare subito chiaro, allora, che il radar non solo può essere impiegato come strumento di ausilio alla sicurezza della navigazione, ma anche per la determinazione del proprio punto nave.

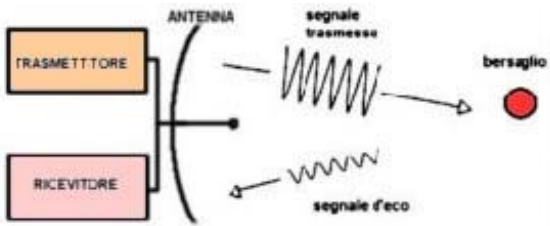


Fig. 1 Principio di funzionamento del Radar.

Il funzionamento è molto semplice: un apparecchio (magnetron) trasforma l'energia elettrica in un impulso di onde elettromagnetiche ad una certa frequenza; se l'impulso trova un ostacolo verrà riflesso in tutte le direzioni. La parte di eco che ritorna verso l'apparato trasmittente viene a sua volta convertita in un segnale elettrico visualizzabile sullo schermo radar.

Dal calcolo del tempo intercorrente fra l'emissione dell'impulso e la ricezione dell'eco si può determinare la distanza dell'oggetto, mentre, per misurare il rilevamento, si fa riferimento alla direzione istantanea dell'asse di trasmissione del radar stesso.

Il calcolo della distanza è generalmente molto più preciso del rilevamento, cosa questa da tenere ben presente nell'impiego del radar come strumento di navigazione (è meglio fare un punto nave con due cerchi di uguale distanza che con due rilevamenti). La precisione del radar nautico nella misura della distanza, se opportunamente calibrato, è molto alta con un errore dell'ordine di pochi metri o al massimo qualche decina di metri, precisione che rimane praticamente costante al variare della distanza misurata.

L'uso principale del Radar è comunque quello di 'vedere' gli ostacoli in tutte le condizioni: nebbia, notte, pioggia, ecc. E' obbligatorio a bordo di tutte le navi di SL superiore a 500tonn. Le navi aventi SL superiore a 1000tonn. devono avere due radar, di cui uno ARPA.

Le portate raggiungibili con il Radar sono variabili con la potenza dell'apparato, la frequenza di trasmissione e l'altezza dalla superficie del mare; possono andare da poche miglia (piccolo radar per il diporto) a qualche centinaia di miglia (radar molto potenti di tipo bellico).

I radar impiegati nella navigazione marittima lavorano su microonde centimetriche: 3cm, in banda X (10GHz); 10cm in banda S (3GHz).

Le regolazioni del Radar riguardano la portata ed i filtri che si possono inserire a seconda delle condizioni atmosferiche in atto (pioggia, nebbia, ecc.), per cui, prima di utilizzarlo, bisogna leggere e studiare attentamente le modalità d'uso.

Bisogna poi ricordare che sullo schermo del Radar tradizionale noi siamo sempre al centro. Ne deriva che la rappresentazione sullo schermo è sempre relativa alla nostra posizione ed al nostro movimento.

Nell'impiego del radar nautico bisogna pertanto tenere presente che:

1. La precisione del radar in azimut è molto bassa in relazione alla scarsa direttività delle antenne radar, soprattutto per quanto riguarda i radar nautici delle imbarcazioni minori, che hanno antenne trasmettenti/riceventi di ridotte dimensioni;
2. La rappresentazione "panoramica" sullo schermo radar, non consente di correlare facilmente le risposte radar ("echi" radar) con l'effettiva configurazione della costa come la si osserva sulla carta nautica;
3. Solo oggetti ben distinti dalla linea di costa possono essere individuati con sicurezza ed utilizzati per la misura della distanza, ad esempio un faro su uno scoglio isolato, una boa di segnalazione, una linea di costa alta e ben netta (non una spiaggia), l'estremità di una diga foranea;
4. La misura della distanza di oggetti isolati e radarabili, ben distinti da altri oggetti in costa, fornisce una precisione molto alta;
5. La presenza di condizioni meteo avverse, in particolare un mare formato, diminuisce la facilità d'impiego del radar a causa del disturbo causato dalle onde, che forniscono anch'esse una risposta radar, tale da rendere difficile l'acquisizione dei punti cospicui di cui vogliamo misurare la distanza.
6. Alcuni punti cospicui di rilevante importanza per la sicurezza della navigazione, possono essere dotati di un risponditore radar attivo che consente di evidenziare sullo schermo radar il punto radarabile, distinguendolo dal

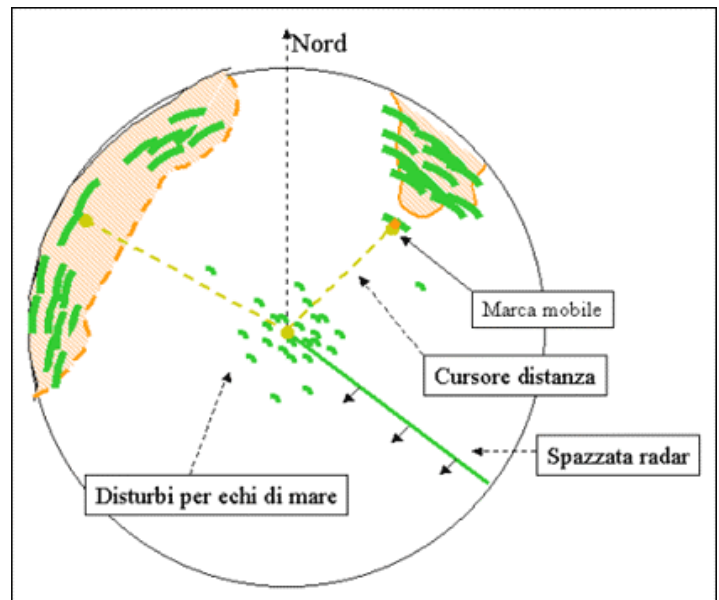


Fig. 2 Confronto tra immagine reale ed immagine sullo schermo radar; l'eco isolato dalla costa (a NE) è correlato con lo scoglio in marrone. Il cursore mobile (in verde bruno) è già stato posizionato per misurarne la distanza. La costa a NW ha un tratto di spiaggia bassa e sabbiosa che non dà risposta radar: la figura mette in evidenza la differenza tra la conformazione degli echi di costa e la reale configurazione della stessa. La misura di distanza ottenuta, come indicato dal cursore posizionato verso NW, sarebbe del tutto errata.

RADAR

contesto di echi di costa e disturbo di mare (Ramark e Racon). Superate eventuali difficoltà nel riconoscere l'eco radar del punto cospicuo di nostro interesse, la misura della distanza è diretta ed è ottenuta collimando una marca mobile, controllata dall'operatore radar, sull'eco del punto di cui si vuol misurare la distanza. In particolare la collimazione dell'eco radar deve essere fatta sul suo bordo più vicino alla nave.

Principio di funzionamento del Radar

Il radar è un sensore radio, generalmente, ma non sempre, operante nella banda delle microonde (>1GHz), di tipo attivo. Attivo significa che il sensore emette energia (in questo caso un'onda elettromagnetica) verso l'ambiente circostante e ricava informazioni su tale ambiente analizzandone l'eco di ritorno.

Nel caso specifico, è possibile determinare la posizione di oggetti:

- In azimuth/elevazione, grazie alla direttività dell'antenna: se si dispone di un'antenna direttiva, si riceverà ovviamente l'eco solo quando si irradia in direzione di esso.
- In distanza, misurando il ritardo dell'eco, essendo nota la velocità della luce (circa 3×10^8 m/s). In $1 \mu\text{s}$, l'onda elettromagnetica percorre quindi 300m; considerando che essa deve percorrere la distanza in andata ed in ritorno, un ritardo di $1 \mu\text{s}$ corrisponde quindi ad una distanza dell'oggetto di circa 150m (secondo la relazione: $v = \Delta s / \Delta t$).

La maggior parte dei radar sono del tipo cosiddetto monostatico, cioè hanno il trasmettitore ed il ricevitore fisicamente uniti in un unico apparato. Esistono però anche radar bistatici o multistatici, in cui vi sono un trasmettitore ed uno o più ricevitori fisicamente separati.

Per inciso, il primo radar sperimentale di Watson-Watt (1937) era di tipo bistatico: infatti vi erano un trasmettitore ed un ricevitore distanti alcune centinaia di metri; il ricevitore rivelava una variazione del segnale ogni qualvolta un aereo sorvolava lo spazio tra trasmettitore e ricevitore, dimostrando così la possibilità di avvistare oggetti volanti tramite onde radio.

I radar più comunemente impiegati sono del tipo ad impulsi: il segnale trasmesso è un "breve" impulso di radiofrequenza (dove per breve si intende, da decine di ns a decine di μs), ripetuto periodicamente. Durante l'intervallo tra un impulso trasmesso e quello successivo, l'apparato commuta in ricezione (normalmente, impiegando la stessa antenna utilizzata per la trasmissione) per captare gli echi di ritorno.

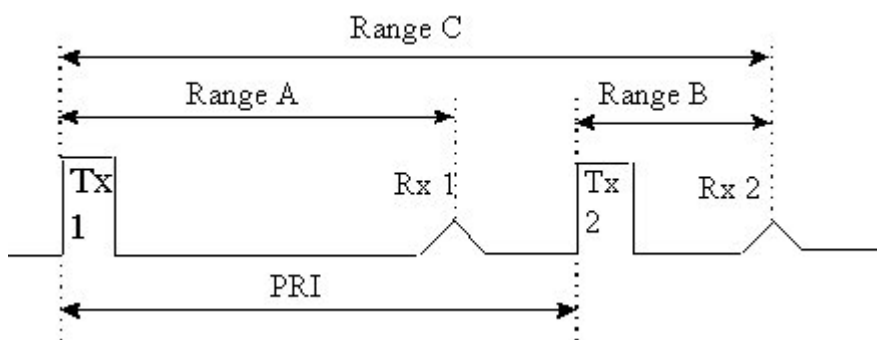


Fig. 3 Ciclo di trasmissione, portata non ambigua e portata effettiva.

un bersaglio che si trova ad una distanza "Range A". L'eco Rx2 potrebbe essere dovuto sia ad una riflessione dell'impulso Tx2 da un bersaglio che si trovi a distanza "Range B", sia ad un bersaglio più lontano ("Range C"), che riflette l'impulso precedente. In quest'ultimo caso si dice che il bersaglio si trova in distanza ambigua.

La massima portata non ambigua del radar è quella corrispondente alla PRI, cioè:

$$R_{na} = PRI \cdot c / 2$$

Si osservi che è possibile discriminare comunque la distanza effettiva di oggetti posti a distanza superiore a quella ambigua alternando frequenze di ripetizione di impulsi diverse. L'oggetto che si trovi a distanza ambigua avrà distanze apparenti diverse per ogni diversa PRI. Un'apposita logica è quindi in grado di risolvere l'ambiguità, determinando la distanza reale.

La portata non ambigua, in realtà, non dà nessuna indicazione sulla capacità di un radar di rilevare un oggetto ad una determinata distanza: essa indica solo la massima distanza a cui un eventuale eco ricevuto può essere correttamente interpretato. Per determinare la portata effettiva occorre considerare la perdita della tratta, anzi, delle tratte, radar-bersaglio e bersaglio-radar e le caratteristiche del bersaglio. Il rapporto segnale/rumore (da qui in poi, S/N, S = signal, N = noise) minimo richiesto per la corretta identificazione di un bersaglio, dipende dalle modalità di elaborazione del segnale ed è qui supposto fissato a priori, in quanto una trattazione dell'argomento richiederebbe eccessivo spazio.

Pur non entrando nel dettaglio dell'argomento, è importante sottolineare come il rilevamento radar sia sempre un fenomeno statistico. Il problema fondamentale è quello di discriminare la presenza di un segnale immerso in un rumore avente distribuzione gaussiana.

Comunque posizioni la mia soglia di decisione ("tutto ciò che supera la soglia è segnale, tutto ciò che sta sotto è rumore") vi è sempre una probabilità finita che:

- 1) il rumore superi la soglia
- 2) il segnale ed il rumore siano al disotto della soglia (anche se il segnale da solo sarebbe stato al di sopra).

Per un dato rapporto S/N è possibile, variando la soglia, ridurre la probabilità di falso allarme a scapito della probabilità di rilevazione e viceversa. Per cui non sarebbe corretto dire "il radar ha una portata di x chilometri sul bersaglio y", a meno di non aggiungere "con 90% di probabilità di rivelazione e probabilità di falso allarme 10^{-6} ".

Senza derivare qui l'intera equazione radar, cerchiamo di illustrare alcuni concetti fondamentali. Immaginiamo di avere

RADAR

un'antenna trasmittente isotropica, cioè che irradia omogeneamente in tutte le direzioni. La potenza trasmessa P_t , ad una distanza R dal trasmettitore, sarà distribuita omogeneamente sulla superficie di una sfera di raggio R , con una densità di potenza (P_d) pari a:

$$P_d = P_t / 4\pi R^2$$

Tutte le antenne reali sono però di tipo direttivo: il guadagno di antenna (numero puro, indicato con G . Le antenne di tipo parabolico, hanno guadagni che vanno da 40 a 50dB) indica quanto l'antenna stessa sia "efficace" nel concentrare l'energia nella direzione di interesse (a scapito ovviamente di quella irradiata in altre direzioni):

$$P_d = G P_t / 4\pi R^2$$

Per il segnale di ritorno dal bersaglio al radar, vale esattamente lo stesso ragionamento fatto per il segnale di andata: la potenza di ritorno al radar si distribuisce sulla superficie della sfera e la densità di potenza in ricezione sarà così:

$$P_d = \sigma G P_t / 16\pi^2 R^4$$

con σ , la sezione d'urto o parametro di riflettività, misurato in m^2 .

Un oggetto con $\sigma = 1m^2$ riflette verso il radar una potenza equivalente a quella di un riflettore che reirradi isotropicamente tutta la potenza incidente su $1m^2$ di superficie. Va da sé che l'oggetto potrebbe essere più piccolo, ma reirradiare prevalentemente nella direzione di incidenza del segnale.

Il segnale viene catturato dall'antenna ricevente, in proporzione alla sua area equivalente (A_{eff}). Se usiamo la stessa antenna per la trasmissione e per la ricezione, ci torna comodo la formula che lega l'area equivalente al guadagno:

$$G = 4\pi A_{eff} / \lambda^2$$

Il guadagno di antenna è definito come il rapporto tra la potenza irradiata nella direzione di massima emissione e la potenza che si sarebbe irradiata da un'antenna isotropa.

La potenza che ritorna al ricevitore radar sarà quindi:

$$P_r = P_d A_{eff}$$

$$P_r = \sigma G^2 P_t \lambda^2 / 64\pi^3 R^4$$

relazione che, per semplicità, non tiene conto delle perdite per attenuazione atmosferica né di quelle dovute alla non idealità del sistema.

La cosa più importante da notare è che la potenza ricevuta decresce con la quarta potenza della distanza; per poter incrementare la portata di un fattore 2 occorre aumentare la potenza trasmessa di ben 16 volte.

In ogni caso, a partire da queste ultime relazioni si può ricavare il valore di R .

La risoluzione in angolo, o potere separatore in azimuth, corrisponde, per un radar di tipo convenzionale, all'apertura del fascio di antenna. Questa dipende dalle dimensioni lineari dell'antenna stessa e dalla lunghezza d'onda del segnale. Per un'antenna avente dimensione l , l'apertura del fascio (in radianti) può essere determinata in via approssimata dalla formula:

$$\theta = 1,2 \lambda / l$$

Utilizzare frequenze più elevate presenta quindi il vantaggio di poter impiegare antenne di minori dimensioni, a parità di risoluzione angolare.

Per quanto riguarda la risoluzione in distanza, è possibile discriminare tra di loro due echi se la differenza dei loro ritardi è maggiore della durata T degli impulsi stessi.

La risoluzione in distanza, o potere separatore in distanza è pari a:

$$D = cT/2$$

Per ottenere una migliore risoluzione in distanza, è quindi necessario accorciare l'impulso, allargandone la banda (si dimostra che il contenuto informativo, in questo caso la risoluzione in distanza, è proporzionale alla banda del segnale). Questo però equivale a diminuirne l'energia, riducendone quindi la portata a parità di altre condizioni.

Ciò pone notevoli difficoltà nella realizzazione di radar aventi risoluzioni spinte. Infatti, il limite tecnologico nella realizzazione dei trasmettitori è relativo soprattutto alla potenza di picco, piuttosto che alla potenza media e all'energia del singolo impulso. In pratica, un trasmettitore che eroghi un impulso da 2 kW di picco per 10 μ s è molto più facile da realizzare di uno che emetta 20 kW per 1 μ s, anche se l'energia dell'impulso rimane la stessa.

Per conciliare l'esigenza di elevate risoluzioni in distanza con l'impiego di impulsi "lunghi" con limitata potenza di picco, si ricorre spesso alla cosiddetta codifica dell'impulso. Tale tecnica consiste nell'introdurre una qualche forma di modulazione in un impulso di lunga durata, allargandone la banda. In questo modo è possibile distinguere due echi parzialmente sovrapposti grazie alla modulazione presente nell'impulso.

In ricezione, il segnale viene correlato con una replica del segnale trasmesso memorizzata nel sistema.

Schema a Blocchi del Radar

Lo schema a blocchi, molto semplificato, di un radar è rappresentato in figura 4.

La sezione trasmittente è costituita da un oscillatore di potenza a radiofrequenza, normalmente un Magnetron, pilotato da un generatore di impulsi. Vengono dunque prodotti impulsi brevissimi, a iperfrequenza, di grande potenza.

L'antenna del radar altamente direttiva, è sistemata in modo da poter essere ruotata in ogni direzione. Normalmente viene usata la stessa antenna sia per

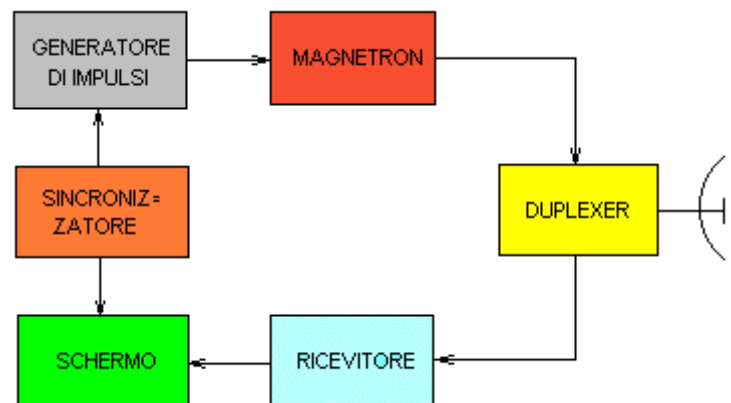


Fig. 4 Schema a blocchi del Radar.

RADAR

trasmettere gli impulsi che per riceverne l'eco. Questo fatto rende necessario l'uso di un dispositivo di commutazione, chiamato Duplexer, che isola la sensibilissima sezione ricevente dalla trasmittente durante l'emissione degli impulsi ad alta potenza che altrimenti la danneggerebbero irrimediabilmente. Viceversa, negli intervalli di silenzio del trasmettitore, dirige verso la sezione ricevente il segnale eco di ritorno dal bersaglio.

Il ricevitore radar è un normale radiorecettore funzionante con il metodo supereterodina con frequenze intermedie, ad esempio di 70MHz, con la minore possibile figura di rumore, un'alta sensibilità ed una larghezza di banda uguale alla frequenza degli impulsi prodotti.

Il terminale video in ricezione è normalmente un tubo a raggi catodici con lo schermo di forma circolare che visualizza l'intervallo di tempo tra l'emissione e la ricezione degli impulsi creando una traccia ottica su una scala graduata in miglia. Per ottenere questo risultato la scansione del tubo a raggi catodici è sincronizzata con gli impulsi trasmessi.

Il segnale ricevuto da un radar, dopo essere stato amplificato, demodulato, rivelato come in un comune radiorecettore supereterodina, viene visualizzato su di uno schermo con fosfori ad alta permanenza di solito di forma circolare, sebbene siano usate anche altre due forme di visualizzazione.

Un pennello elettronico, ruotante con velocità angolare costante, descrive tutto il cerchio mentre in contemporanea l'antenna, in alto, ruota irradiando tutto lo spazio circostante con gli impulsi a microonde.

Esiste pure una scala graduata in angoli che parte a raggiera dal centro dello schermo e determina l'angolo di azimut con cui il radar vede il bersaglio.

In corrispondenza di un bersaglio il raggio determina uno spot luminoso sullo schermo che, per la permanenza dei fosfori, rimane visibile per qualche tempo.

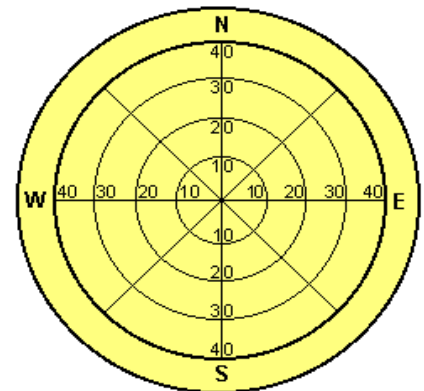


Fig. 5 Schermo Radar.

Elementi circuitali del Radar

L'analisi dei circuiti che compongono il Radar consente di identificare per la generazione degli impulsi:

1. **Pilota ad oscillatore di cadenza** – in sostanza, è un oscillatore a bassa frequenza (500÷4000Hz) che comanda la successione tra i periodi di trasmissione e di ricezione. Produce onde quadre di durata relativamente breve. Se, per esempio il periodo è di 1000÷2000ms, la durata dell'onda quadra è di appena 1µs. In questo tempo brevissimo il radar funziona in trasmissione. Ne consegue che, sebbene la potenza media sia relativamente bassa, quella di picco assume valori molto elevati.
2. **Thyratron** – produce tensioni a dente di sega. Oggigiorno è sostituito dai diodi a rettificazione controllata detti comunemente SCR.
3. **Modulatore** – negli istanti in cui il pilota di cadenza emette l'onda quadra, il modulatore entra in funzione. In questi brevi istanti il modulatore deve fornire all'antenna dei segnali di altissima frequenza (10GHz) e di elevata potenza. Il modulatore si compone di due parti: la linea artificiale che ha la funzione di accumulare l'energia elettrostatica prelevandola dalla rete di bordo (~KV), indispensabile per il funzionamento del magnetron ed il Trasformatore d'impulsi, che ha il compito di innalzare tensione in uscita dalla linea artificiale fino a 50 KV.
4. **Magnetron** - è il classico oscillatore per microonde usato in campo radaristico. Può generare impulsi di onde elettromagnetiche della potenza istantanea di alcuni megawatt nel campo di frequenza dei gigahertz.

È costituito da un grosso cilindro in metallo forato, come indicato in figura 6, con un catodo al centro e un anodo che comprende tutta la struttura esterna.

Tra anodo e catodo si applicano impulsi di forma rettangolare di alta tensione che determinano l'emissione di elettroni che dal catodo tendono ad avvicinarsi all'anodo e che, la presenza di un intenso campo magnetico assiale, costringe a percorrere traiettorie circolari all'interno dei numerosi fori cilindrici della struttura i quali sono opportunamente predisposti in modo da costituire dei risuonatori per microonde.

Gli impulsi sinusoidali di microonde così generati vengono poi estratti dal generatore per mezzo di un cavo coassiale ed inviati all'antenna trasmittente.

5. **Duplexer Tx/Rx** – è comandato dal pilota di cadenza ed ha il compito di collegare il trasmettitore ed il ricevitore con i rispettivi circuiti a seconda che si sia in fase di trasmissione o di ricezione.

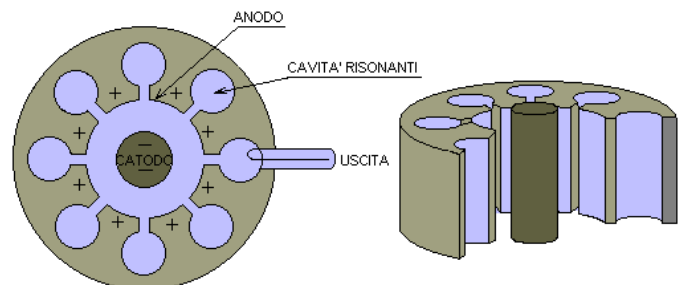


Fig. 6 Magnetron.

RADAR

In fase di ricezione degli impulsi, troviamo invece:

1. Klystron - è un tubo elettronico a modulazione di velocità; esso oscilla a frequenza f_0 , di poco diversa dalla f_1 del magnetron.
2. C.A.F - il controllo automatico di frequenza serve a mantenere costante la frequenza intermedia $F_1 = (f_1 - f_0)$, per una eventuale instabilità della frequenza del magnetron. Interviene andando a modificare la frequenza del klystron. In sostanza si va a migliorare il rapporto S/N
3. Mescolatore - in questa parte del circuito avviene il battimento tra la frequenza f_0 del klystron ($f_0 = f_1 + F_1$) e quella dell'eco proveniente dal duplexer.
4. Amplificatore Frequenza Intermedia - ha il compito di elevare il segnale in arrivo di $10^8 \div 10^{12}$ volte.
5. Rivelatore - è il demodulatore che ricostruisce il segnale in arrivo.
6. Amplificatore Video - amplifica il segnale proveniente dal rivelatore fino ad un valore accettabile dall'indicatore, dell'ordine del Volt.
7. Schermo fluorescente - è in sostanza un oscilloscopio. Quest'ultimo è uno strumento che consente di dare la forma ai segnali elettrici; in particolare consente di indicare la posizione dei bersagli sullo schermo.

Gli oscilloscopi analogici sfruttano un principio di funzionamento piuttosto semplice, basato sul particolare

pilotaggio del loro tubo catodico. Le griglie dell'asse Y sono pilotate dal segnale di ingresso che si desidera mostrare, mentre le griglie dell'asse X sono pilotate da un generatore a dente di sega con frequenza impostabile dall'utente (la base dei tempi). Il dente di sega fa procedere il pennello a velocità costante lungo l'asse orizzontale, da sinistra verso destra; nel mentre le variazioni del segnale fanno salire o scendere il pennello, che così disegna l'andamento del segnale in funzione del tempo. Questa operazione è ripetuta per ogni dente di sega; sul video si sovrappongono tante "spazzolate", che, grazie alla persistenza dei fosfori dello schermo (e delle immagini sulla retina), formano un'immagine. Per mostrare in modo stabile un segnale periodico è necessario che tutte le spazzolate si sovrappongano perfettamente fra di loro, il che equivale a dire che la frequenza del dente di sega deve essere un multiplo o sottomultiplo della frequenza del segnale periodico; questo si può ottenere agendo manualmente sulla regolazione fine della base dei tempi, oppure utilizzando un particolare circuito (detto "trigger") che permette di sincronizzare i denti di sega direttamente con il segnale di ingresso.

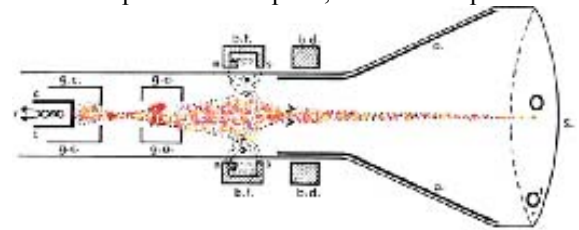


Fig. 8 Cannone elettronico e schermo Radar.

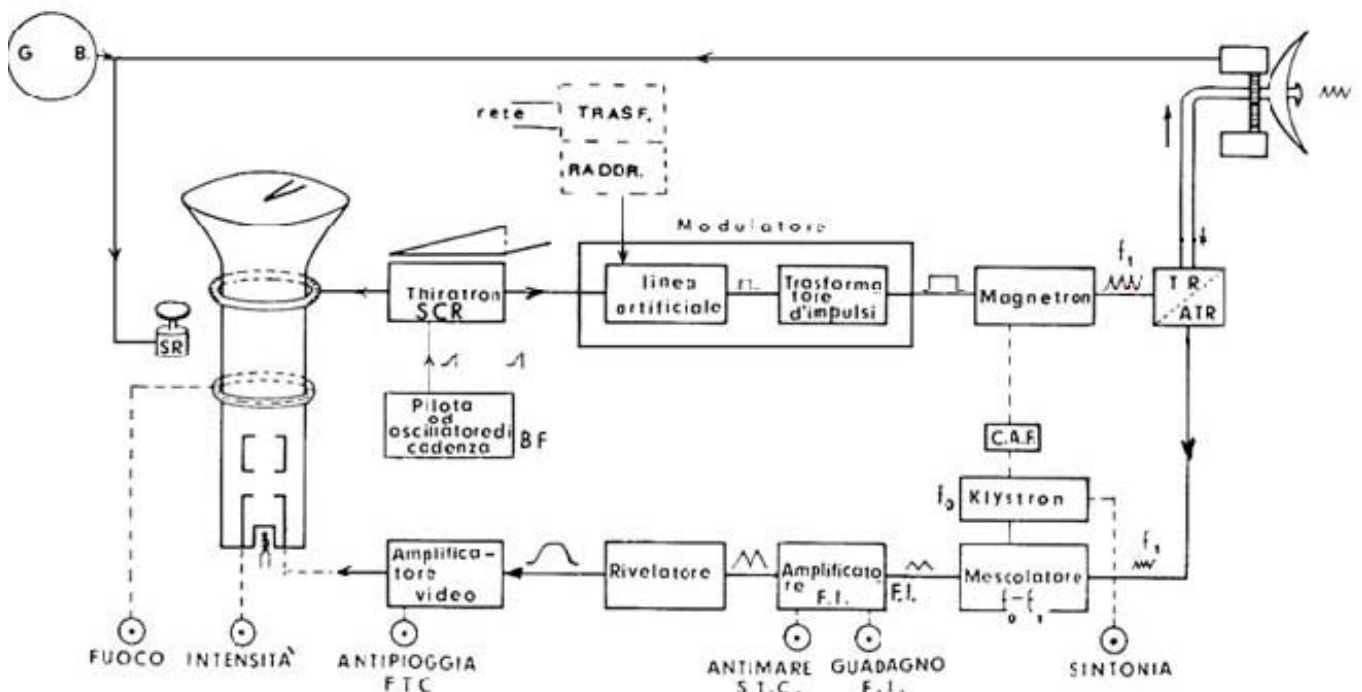


Fig. 9 Circuito elettrico del radar.

Regolazioni e circuiti ausiliari

Le funzioni che i Radar possono avere, sono più o meno simili per tutti i modelli; tra le principali regolazioni ricordiamo:

- 1) Regolazione del guadagno (GAIN): Questa regolazione viene adoperata per variare la sensibilità del ricevitore e quindi per modificare la forza degli echi; se regolato troppo debole, potrebbero non essere rilevati gli echi, mentre, se fosse eccessivamente alto distorcerebbe il segnale, rendendo difficoltosa l'individuazione. Ogni volta che si cambia scala, passando ad una più bassa, è bene regolare il guadagno, diminuendolo, mentre passando da una scala bassa ad una più alta dovremo aumentare il guadagno.

RADAR

- 2) Regolazione della luminosità dello schermo (BRILL): Nel regolare la luminosità dello schermo è buona norma mantenere lo schermo più luminoso durante le ore di luce e meno luminoso la notte e questo per permettere all'occhio di adattarsi meglio alla luce quando si passa dall'osservazione dello strumento all'osservazione diretta del mare aperto.

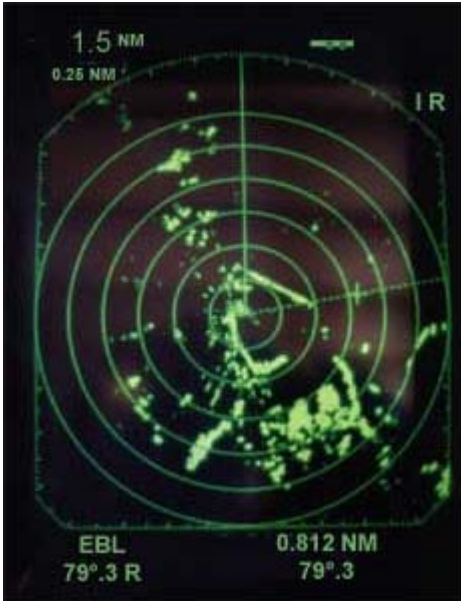


Fig. 10 Regolazione della scala.

- 3) Regolazione della sintonia (TUNE): Serve per sintonizzare il ricevitore sull'esatta frequenza di trasmissione. La maggior parte degli apparati radar hanno delle barrette o puntini luminosi di sintonia. Il maggior numero di barrette o puntini illuminati indica una buona sintonia.

- 4) Regolazione della scala: Quando si imposta il valore di una scala, automaticamente viene impostato anche l'intervallo tra le varie marche fisse, (rappresentate da anelli concentrici) e, conseguentemente, anche il loro numero. Così, con scale da 1.5, 3, 6, 12, 48 miglia si hanno automaticamente 6 marche fisse alle distanze di 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8. Notate che il valore della scala si raddoppia, così come le distanze delle marche fisse. Sono diversi i fattori che influiscono sulla scelta di una scala, ma, in buona approssimazione è bene tenere presente che le scale corte sono preferibilmente da adoperare in situazioni in cui sia necessario avere informazioni su bersagli vicini, come spesso accade in zone di intenso traffico. In mare aperto, se utilizzassimo una scala a breve distanza, sarebbe prudente passare con una certa frequenza ad esplorare con scale più lunghe in modo tale da avere tempestivamente informazioni su avvicinamenti pericolosi di altri bersagli. È bene ricordare che la portata di un radar dipende da molti fattori, come l'altezza dell'antenna sul livello del mare, l'altezza e la natura dei bersagli e, non ultime, le condizioni di propagazione.

- 5) Rain clutter (A/C RAIN): serve per ridurre i disturbi creati dalla pioggia; in sostanza si attenua, per una breve frazione di tempo (50µs), l'amplificazione del segnale in arrivo;
- 6) Sea clutter (A/C SEA): le onde generano degli echi che possono causare un disturbo che può coprire la parte centrale dello schermo; più alte sono le onde e più alta è l'antenna sul livello del mare tanto maggiore risulta questo disturbo. Si manifesta come una numerosa e fitta presenza di piccoli echi che agiscono negativamente sulle prestazioni dello strumento, rendendo praticamente impossibile rilevare la presenza dei bersagli nascosti dal disturbo. Attenzione, però, un anticlutter troppo spinto potrebbe far scomparire, assieme al disturbo, anche la presenza di qualche debole eco. È buona norma lasciare sempre un po' di disturbo e questo per assicurare che i piccoli echi non vengano persi. Per ridurre tali disturbi, si procede con sistemi analoghi a quelli del circuito precedente;
- 7) Zona di guardia (GZ): è un settore predefinito sul radar che attiva un segnale sonoro non appena un bersaglio entra nell'area;
- 8) Electronic bearing line (EBL): è una linea che si può spostare nella direzione di un bersaglio per rilevare l'angolo fra noi e il bersaglio;
- 9) Variable range marker (VRM): è una circonferenza che si può spostare nella direzione di un bersaglio per rilevare la distanza fra noi e il bersaglio.

Da aggiungere, infine, che tutti i radar hanno un settore cieco che si posiziona grossomodo in direzione del coronamento, a causa della presenza degli ostacoli situati a poppa (palo di sostegno dell'antenna e fumaiolo), che impediscono la ricezione dell'eco, ovvero che fornirebbero un eco costante. Similmente, nella zona prodiera, fino anche a un centinaio di metri, cioè fintanto che il segnale non arriva a terra, non è possibile rilevare i bersagli.

Si può infine riportare la relazione approssimata che definisce la portata del Radar:

$$P = 2,23[(H)^{1/2} + (e)^{1/2}]$$

dove H esprime l'altezza dell'antenna, mentre e, l'altezza del bersaglio. 2,23 è un coefficiente correlato alle condizioni di propagazione dell'onda: può assumere valori compresi tra 2,16 e 2,30.

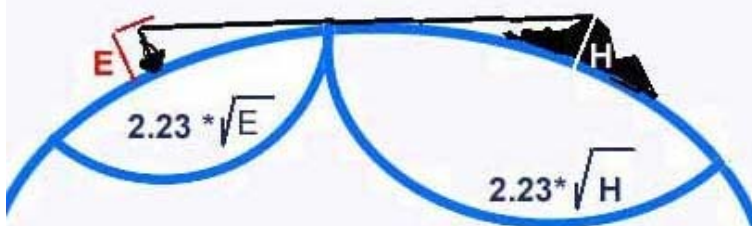


Fig. 12 Portata del radar.

Con questa rappresentazione siamo in grado di misurare la distanza ed il rilevamento polare di ogni eco, rispetto alla nostra posizione. Prima di determinare qualsiasi misura di distanza è bene controllare la scala impostata. È una questione di sicurezza.

La misura della distanza può essere determinata, in modo grossolano, in base alla scala impostata (se, per esempio,

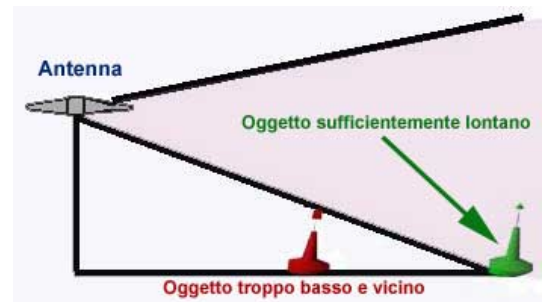


Fig. 11 Settore cieco prodiero.

Misure di distanza e rilevamento

Nella rappresentazione usuale del radar, almeno per quelli normalmente adoperati in campo nautico è utilizzata la modalità in Moto Relativo (RM) e direzione della prua in alto (Head Up - HU), in essa l'imbarcazione è al centro dello schermo, mentre il resto dello schermo rappresenta l'orizzonte ampio 360° attorno a noi.

RADAR

abbiamo lo strumento impostato con scala 3 miglia ed osserviamo un bersaglio a metà schermo sulla dritta, potremo valutare la sua distanza a circa 1.5 miglia). Attraverso l'uso delle marche fisse (gli anelli concentrici disposti a distanze regolari e variabili a seconda della scala adottata) la valutazione della distanza è più precisa. Per avere una misura più accurata, dovremo lavorare con il cursore manovrato con la trackball o il joystick (in questo modo si ottiene una misura accurata ma temporanea), altrimenti può essere vantaggiosamente adoperata la marca mobile, la così detta VRM (Variable Range Marker - visibile sullo schermo come un cerchio luminoso tratteggiato), ottenendo una misurazione accurata e continua. Il valore della distanza viene indicato con LED luminosi, in una apposita finestrella.

Occorre tenere presente che, nel caso in cui la riflessione originasse una immagine allungata del bersaglio, la distanza deve essere letta collimando il punto del bersaglio più vicino al centro dello schermo.

Nel caso in cui si misurasse la distanza della costa, bisogna ricordare che con una costa bassa e degradante dolcemente, senza costruzioni rilevanti, la riflessione che si ottiene è debole e difficilmente rilevabile dal radar, mentre una costa rocciosa a picco è ben rilevata dal radar (queste considerazioni sono da tenere presente quando si effettua la misura di distanza e del rilevamento della costa).

Per quanto attiene al rilevamento questo può essere determinato con la linea elettronica di rilevamento detta EBL (Electronic Bearing Line - visibile sullo schermo come una linea luminosa tratteggiata). In questo caso è indispensabile collimare il bersaglio, soprattutto se esteso, bisecandolo. I due valori, distanza e rilevamento, possono essere ottenuti anche contemporaneamente, portando l'EBL e il VRM sul bersaglio; il loro valore viene raffigurato sullo schermo.

Il valore del rilevamento ottenuto può essere polare (cioè contato in senso orario, da 0° a 360° a partire dall'asse longitudinale dello scafo) oppure vero (contato cioè a partire dalla direzione cardinale Nord), se il radar viene asservito ad una girobussola.

Ricordiamo che il rilevamento polare indica a quanti gradi dalla direzione della prua si trova un certo bersaglio. Per esempio, se appare sullo schermo un bersaglio a circa 310°, significa che, se osserviamo fuoribordo la zona di mare situata a sinistra, dovremo vedere l'oggetto verso prora a circa metà strada tra il traverso e la prua.

La determinazione del rilevamento e della distanza di bersagli piccoli e lenti è più accurata di quella ottenuta osservando bersagli grossi o veloci.

Il rilevamento del bersaglio viene fornito dalla direzione istantanea assunta dall'indicatore, che si muove in sincronia con l'antenna, mentre la distanza viene calcolata dall'apparecchio, che interpreta l'intervallo di tempo necessario all'impulso per compiere il percorso antenna-bersaglio-antenna in relazione alla velocità di propagazione delle radioonde (300.000 Km/sec).

Non tutto ciò che abbiamo attorno però viene rilevato dal radar. Alcuni limiti sono imposti dalla posizione dell'antenna e del bersaglio rispetto alla superficie del mare e dalla natura del bersaglio.

L'antenna capta le onde che "rimbalzano" sugli oggetti e questi, ovviamente, devono trovarsi nella zona di emissione. Oggetti troppo vicini e oggetti molto bassi posti in lontananza possono non essere visti, inoltre non tutti i bersagli hanno buone proprietà riflettenti o sono delle dimensioni ideali.

Potrà essere del tutto inutile esplorare in mare aperto con un radar in scala 48 miglia, se si dispone di una imbarcazione con antenna posta a non più di 4 metri sul livello del mare.

Rappresentazioni Radar

Una rappresentazione radar, anche se offerta da un moderno strumento, è sempre una rappresentazione radar e occorre saperla interpretare correttamente.

La stessa situazione, osservata sul PPI (Plain Position Indicator = schermo del radar) dipende dal tipo di rappresentazione adoperata.

Queste possono essere:

- a. Head Up (HU) – Prora in alto. È la classica rappresentazione radar, quella più semplice e più adoperata, soprattutto sulle piccole imbarcazioni. In questa rappresentazione la nostra nave si trova al centro dello schermo e la direzione assunta dalla Prora è quella diretta in alto sullo schermo e rappresentata dalla Heading Line (Linea di fede, HL) luminosa. Tutti i rilevamenti sono polari e, quindi, riferiti alla nostra prua. Lo strumento non è asservito ad una girobussola o a un GPS, e la schermata del radar segue l'accostata della prua della nostra imbarcazione, "trascinando" e "sporcando" l'immagine nella fase di accostata. Un bersaglio di prua sarà rappresentato, sullo schermo, a prua, sulla Heading Line. Un bersaglio al traverso di dritta sarà localizzato sulla destra dello schermo radar, a 90° dalla HL. Questa è la rappresentazione che meglio si presta a valutare il pericolo di collisione. Un bersaglio che si trovi in tale condizione manterrà costante il rilevamento polare e si avvicinerà al centro dello schermo.
- b. North Up (NU) - Nord in alto. È una modalità che richiede l'asservimento del radar ad una girobussola o ad un GPS o qualunque altro sensore capace di dare indicazioni sulla rotta che si sta seguendo. Nella modalità moto relativo e North Up (NU) lo 0° della graduazione della scala azimutale coincide con la direzione del Nord, mentre la Heading Line, che rappresenta la direzione della prua, è orientata secondo il suo valore. La costa sul radar viene raffigurata come sulle carte nautiche, con il nord in alto. È la rappresentazione ideale quando si carteggia o quando si dispone di uno strumento che ci consente la visione contemporanea della schermata radar e della carta elettronica. Nelle manovre di accostata l'immagine radar non cambia perché è bloccata con il Nord in alto e la Heading Line ruota con l'accostata. In questa modalità moto vero o assoluto e North Up la nostra imbarcazione non occupa più una posizione fissa al centro dello schermo radar, ma si muove. La costa resta ferma e i bersagli si muovono di moto vero. È la rappresentazione ideale in caso di navigazione in zone di intenso traffico; in questa modalità è possibile evidenziare la scia lasciata dai bersagli mobili, distinguendoli, in tal modo, da quelli fissi (boe, scogli, ecc.). I rilevamenti che si misurano sono rilevamenti veri. È una rappresentazione che può creare qualche perplessità nell'operatore. Soprattutto se poco esperto. Con rotte nel secondo e terzo quadrante non è immediata la valutazione del lato dritto e di quello

RADAR

sinistro e richiede maggiore attenzione.

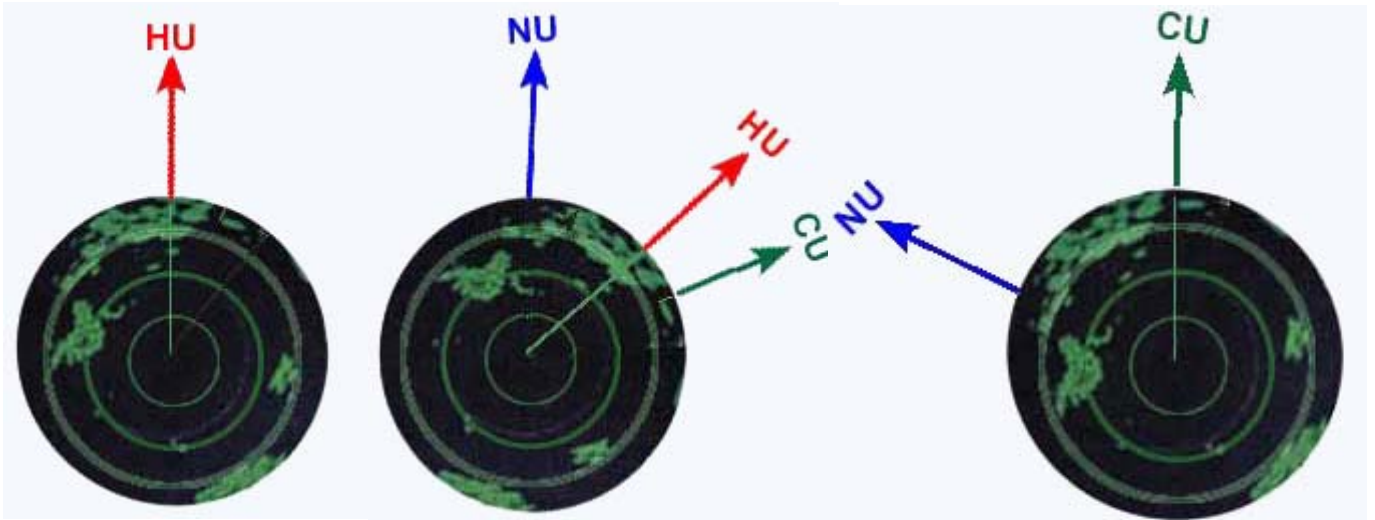


Fig. 13 Rappresentazioni radar a confronto: Head Up, North Up e Course Up.

- c. Course Up (CU) - Rotta in alto. Questa modalità viene attivata una volta che l'imbarcazione si trova in rotta. Il radar è quindi asservito alla girobussola o al GPS, la nostra imbarcazione viene sempre raffigurata al centro dello schermo radar, Rotta e Prora sono rappresentate in alto dalla Heading Line, il cerchio azimutale ha lo 0° in corrispondenza della nostra Rotta, mentre la direzione del Nord sarà raffigurata da una traccia luminosa sul cerchio azimutale. Vediamo sullo schermo ciò che vediamo attorno a noi dal pozzetto (fermi, con la costa e gli altri bersagli che si muovono di moto relativo). È la modalità da preferirsi nelle fasi di pilotaggio.

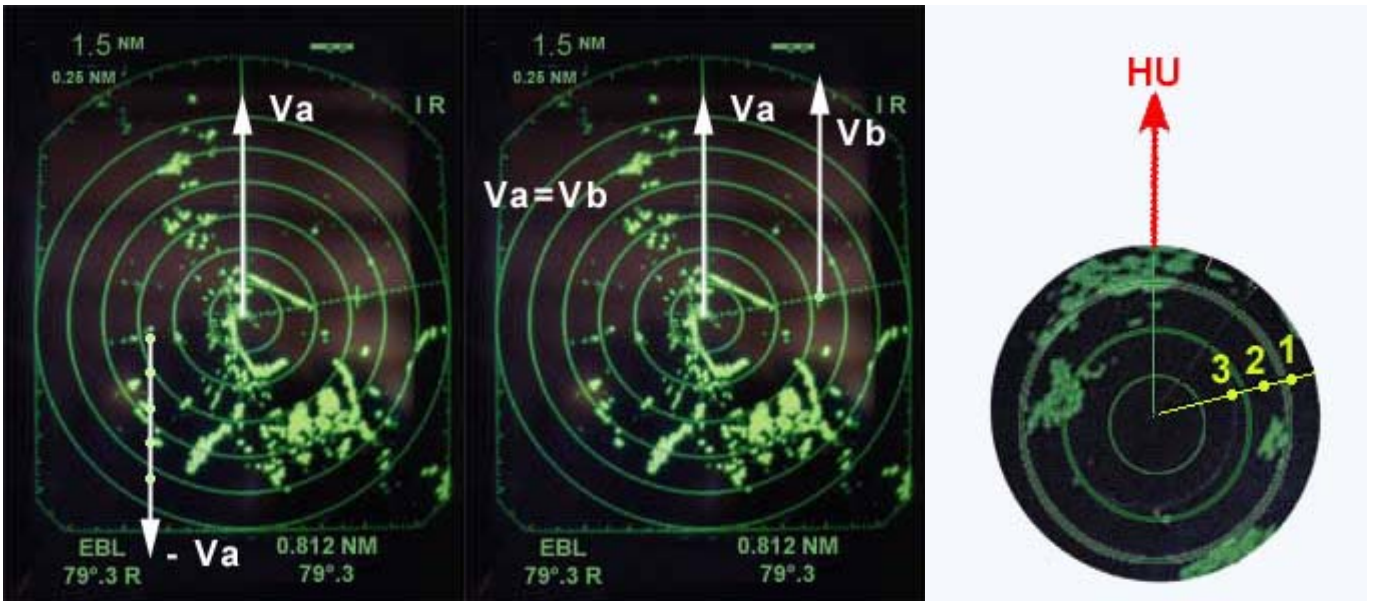


Fig. 14 Rappresentazione radar a moto relativo (RM): bersaglio fermo; bersaglio avente velocità uguale a quella della nave propria e rotta parallela; bersaglio in rotta di collisione.

- d. Moto relativo (RM) e Moto vero (TM) A bordo delle piccole e medie imbarcazioni viene generalmente preferita la modalità Moto relativo (RM), in modalità Head Up (HU - Prora in alto). Con tale rappresentazione la posizione della nostra imbarcazione è ferma al centro dello schermo, mentre bersagli e costa si muovono di moto relativo. Uno scoglio o una boa non saranno visti immobili sullo schermo radar, ma li si vedrà muovere con rotta contraria alla nostra e con velocità uguale a quella della nostra imbarcazione.

È ciò che vediamo se guardiamo fuoribordo (un po' quello che accade se da un treno in corsa guardiamo fuori dal finestrino; vedremo il paesaggio correre via, in senso contrario al moto del treno e con velocità di uguale intensità e verso contrario). Lo scoglio o la boa si muoveranno, quindi, di moto relativo risultante dalla somma vettoriale delle grandezze vettoriali che rappresentano il moto dell'imbarcazione ed il moto del bersaglio. Nel caso citato dello scoglio e della boa, non avendo questi bersagli alcun moto proprio, la rappresentazione vettoriale del moto relativo risulterà quella opposta al nostro moto.

Quando un bersaglio si muove di moto proprio, noi osserveremo sullo schermo radar l'effetto combinato del moto della nostra imbarcazione e del bersaglio. Così, se una imbarcazione naviga al nostro fianco con rotta parallela e stessa velocità, noi la vedremo ferma. Il bersaglio sarà battuto dal radar sempre nella stessa posizione, con lo stesso rilevamento e alla stessa distanza.

La spiegazione di questo fatto è semplice: se dobbiamo considerare la nostra imbarcazione ferma al centro dello

RADAR

schermo radar o come ci appare il mondo circostante quando osserviamo l'orizzonte attorno a noi dal ponte di comando, è come se applicassimo alla nostra imbarcazione una forza uguale e contraria al nostro moto. Così facendo le due forze, di uguale intensità e verso contrario, hanno risultante nulla e la nostra imbarcazione apparirà relativamente ferma.

È ovvio che lo stesso procedimento va applicato a tutto quanto ci circonda, in questo modo alla boa o allo scoglio immobile abbiamo applicato un vettore uguale e contrario al nostro moto e noi, relativamente fermi, li vediamo muovere in senso contrario al nostro moto e con la stessa velocità. L'imbarcazione che procedeva a nostro fianco, con la nostra stessa velocità e con rotta uguale e parallela la vedevamo ferma.

Quando osserviamo un bersaglio sul radar in una certa posizione (rilevamento e distanza) e, dopo un intervallo di tempo sufficiente, lo osserviamo in una diversa posizione (nuovo rilevamento e nuova distanza), siamo già in grado di capire come questo bersaglio si muove rispetto alla nostra imbarcazione. Tre o quattro battute dello stesso bersaglio, prese ad intervalli regolari, ci dicono tutto ciò che ci occorre per navigare in sicurezza.

Un rilevamento costante, con distanza in diminuzione, significa che il bersaglio ci sta venendo contro, siamo in rotta di collisione e dovremo attivarci per attenerci alle norme per evitare gli abbordi in mare.

Un rilevamento che varia così come varia la distanza ci fornisce indicazioni preziose sul moto del bersaglio; prolungando la linea che unisce più battute e che rappresenta la direzione del moto relativo del bersaglio, siamo in condizioni di stabilire a quale minima distanza questo passerà da noi (quello che viene chiamato CPA - Closet Point of Approach o passaggio alla minima distanza) e se questo passaggio avverrà di prua o di poppa.

Misurando la distanza relativa percorsa dal bersaglio nell'intervallo di tempo tra la prima e l'ultima battuta, siamo anche in grado di stabilire dopo quanto tempo il bersaglio passerà alla minima distanza (il così detto TCPA - Time Closet Point of Approach).

Il moto vero (TM - True Motion) ci consente di vedere sullo schermo radar il moto vero, vale a dire bersagli fermi (costa, boe, scogli, etc.), appariranno immobili, mentre oggetti in movimento si vedranno muovere sullo schermo con il loro moto vero (indipendentemente quindi dal nostro moto). Per avere questa rappresentazione il radar deve essere asservito a strumenti che forniscano rotta vera e velocità effettiva della nostra imbarcazione.

La posizione della nostra imbarcazione sullo schermo radar sarà sempre posizionata all'inizio della Heading line che ci sposta sullo schermo con rotta e velocità dipendenti da quelli della nostra imbarcazione.

Quando lo spostamento raggiunge una certa percentuale del raggio dello schermo, la posizione viene automaticamente resettata e riportata nella parte bassa dello schermo. La posizione può essere resettata anche manualmente dall'operatore.



Fig. 16 Segnale Racon.

radioelettronica detta SART, che viene utilizzata nelle operazioni SAR (Search and Rescue); questa apparecchiatura, se attivata e colpita dal lobo emesso da un'antenna radar che trasmette in banda X, è in grado di far apparire, sullo schermo radar, una serie di dodici trattini, che consentono la certa individuazione (rilevamento e distanza) dell'unità in pericolo.

Radar ARPA (Automated Radar Plotting Aids)

È in sostanza un radar che ha in sé integrate funzioni software automatiche che gli consentono la gestione automatica dei bersagli, la presentazione della manovra e l'integrazione con gli altri strumenti di bordo.

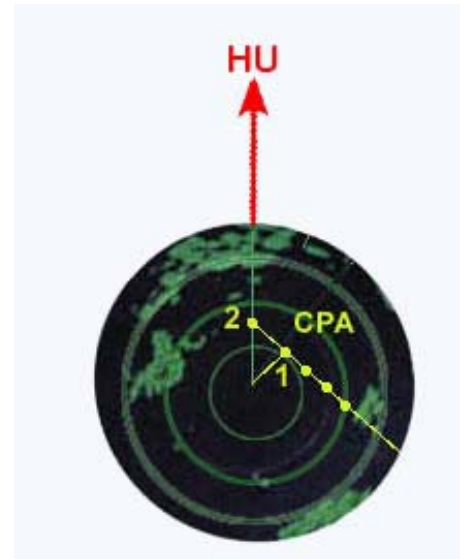


Fig. 15 CPA.

Racon e Ramark

Si tratta di un radiotrasmettitore omnidirezionale, che emette un segnale distintivo quando viene innescato da un impulso radar emesso dal radar di una nave. Dal segnale emesso dal Racon è possibile dedurre distanza e rilevamento, essendo il segnale di ritorno attivato solo quando l'antenna del radar posto sulla nave è puntata su di esso. Il segnale appare sullo schermo radar come una linea radiale che parte dal racon o come segnale Morse.

Il Ramark è un altro tipo di beacon, che effettua una trasmissione continua su una frequenza pure in continuo cambiamento, in modo da spaziare in tutta la banda di frequenze radar. Il suo segnale appare come una linea continua o con una serie di puntini o trattini.

Per la sicurezza recentemente è stato, introdotta una apparecchiatura



Fig. 17 Schermo di un radar ARPA.

RADAR

Glossario Essenziale

Beacon = Segnale, faro, meda

Bearing = Rilevamento

Brilliance = Luminosità dello schermo

Clutter = Riflessione indesiderata, disturbo

CPA = Closet Point of Approach - Passaggio alla minima distanza

Dimmer = Oscuratore

Dimmer Control = Regolatore della luce

EBL = Electronic Bearing Line (cursore elettronico di rilevamento)

ES = Echo stretch - Allargamento dell'eco. Impiegato per ingrandire piccoli echi

Gain = Guadagno

HD = Heading Line (linea di prora)

HM = Heading Marker (con lo stesso significato del precedente)

PPI = Plain Position Indicator (visore in cui appare la schermata radar)

Racon = Radiofaro o radar secondario a risposta

Radome = Cupola in plastica permeabile alle onde elettromagnetiche posta a protezione dell'antenna radar quando questa è in rotazione

Range = Scala, portata, distanza

RM = Relative Motion (moto relativo)

SAR = Search and Rescue - Organizzazione mondiale che si attiva per la ricerca ed il salvataggio

Scanner = Antenna rotante del radar, esploratore, antenna-riflettore

SHL = Indicato anche con HL OFF - Comando che esclude temporaneamente la linea luminosa HL (o HM)

Target = Bersaglio

TCPA = Time Closet Point of Approach - Ora del passaggio alla minima distanza

TM = True motion (moto vero)

VRM = Variable range merker. Marca mobile per l'indicazione della distanza.

Riferimenti Bibliografici

- <http://academic.amc.edu.au/~irodrigues/LECTURES>
- Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- Nicoli "Navigazione Moderna" Ed. Quaderni marinari
- web.tiscali.it/no-redirect-tiscali/nauticnet/
- www.cdh.it_alfanautica
- www.enetsystems.com
- www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/8528/index.html
- www.ilmondodelletelecomunicazioni.it
- www.imo.org
- www.leganavale.it/portale/cultnaut_1ez8.asp
- www.stingmare.it/services/teach/app.asp