

III. IL RADAR

I. GENERALITÀ

La parola deriva dalla contrazione delle parole inglesi *Radio Detection And Ranging* e significa scoperta e misura della distanza attraverso onde e.m. emesse da bordo e reirradiate da bersagli ed ostacoli alla navigazione. Il suo impiego può essere sintetizzato come segue: in condizioni di scarsa visibilità (notte e nebbia):

- come strumento di anticollisione;
- come strumento di navigazione costiera per la determinazione della posizione.

Lo schema di principio più semplice di un radar può essere come di seguito indicato fig. 1. Un trasmettitore irradia energia e.m. attraverso un'antenna direttiva; tale energia investe un bersaglio

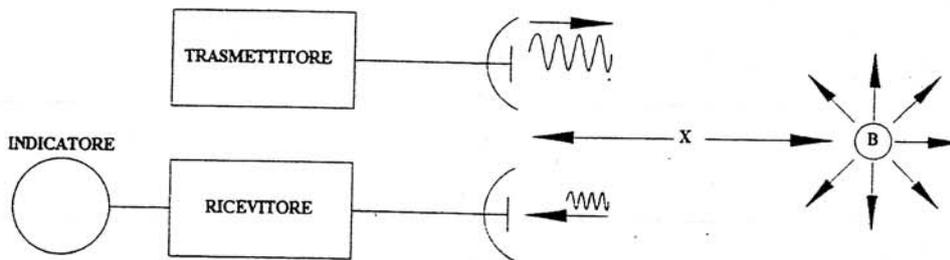


Fig. - 1 -

che la reirradia in tutte le direzioni ed in particolare una piccola frazione viene ricevuta da un'antenna altrettanto direttiva: questa porzione viene opportunamente amplificata, rivelata ed utilizzata in un conveniente dispositivo indicatore. Le informazioni fornite da tale apparato sono:

- la **direzione del bersaglio** (rilevamento polare o vero secondo la posizione dell'antenna);
- la **distanza del bersaglio**: infatti nota la velocità di propagazione delle onde e.m. $c = 3 \times 10^8$ m/s, misurando il ritardo con cui si riceve l'eco di ritorno rispetto all'istante del segnale di partenza, è possibile ricavarla tramite la semplice espressione:

$$2x = C \times \Delta t \quad \text{da cui} \quad X = \frac{C \times \Delta t}{2}$$

essendo Δt il ritardo con il quale si riceve l'eco di ritorno rispetto all'istante di partenza del segnale. Lo schema di principio di fig. 1 può ^{essere} ulteriormente semplificato adottando una trasmissione di tipo impulsivo così da poter utilizzare un'unica antenna sia per la trasmissione che per la

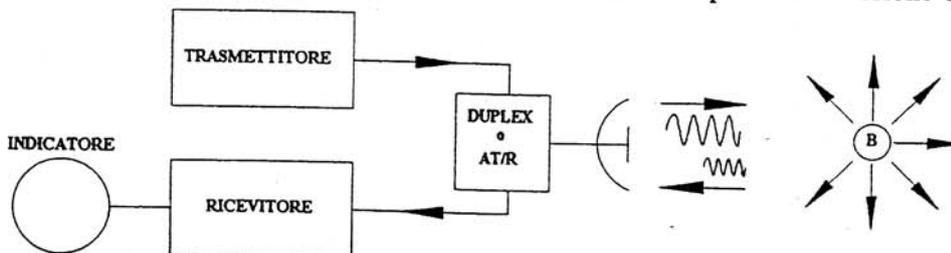


Fig. - 2 -

ricezione secondo lo schema della fig.2. Il dispositivo che permette il doppio uso dell'antenna prende il nome di *DUPLEXER* o *AT/R* ed ha il compito di isolare il ricevitore in trasmissione ed il trasmettitore in ricezione.

CARATTERISTICHE DELLA TRASMISSIONE

PARAMETRI	ORDINE DI GRANDEZZA
1) Frequenza	3 - 10 GHz
2) Potenza	Alcuni KW
3) Durata dell'impulso	1 Micro Sec
4) La frequenza di ripetizione degli impulsi cioè quanti impulsi vengono emessi ogni secondo tale frequenza viene spesso indicata con la sigla P.R.F. <i>Pulse Repetition Frequency</i> o P.R.R. <i>Pulse Repetition Rate</i> .	1000
5) Il periodo di ripetizione T_r , cioè il tempo che intercorre tra due successivi impulsi $1/P.R.F.$	
6) Il ciclo di lavoro del radar definito come t/T_r .	

2. IL TRASMETTITORE

Compito del pilota di cadenza è quello di fornire impulsi di tensione rigorosamente distanziati nel tempo T_r e di inviarli sia all'oscillatore a radiofrequenza *magnetron* attraverso il modulatore che al ricevitore ed all'indicatore. Il pilota di cadenza è il direttore d'orchestra di tutto l'apparato radar e ciò deriva dalla scelta impulsiva della trasmissione. Infatti trasmette nell'intervallo τ ed è in ricezione nell'intervallo $(T_r - \tau)$. Il modulatore ha il compito di prelevare energia dalla rete di

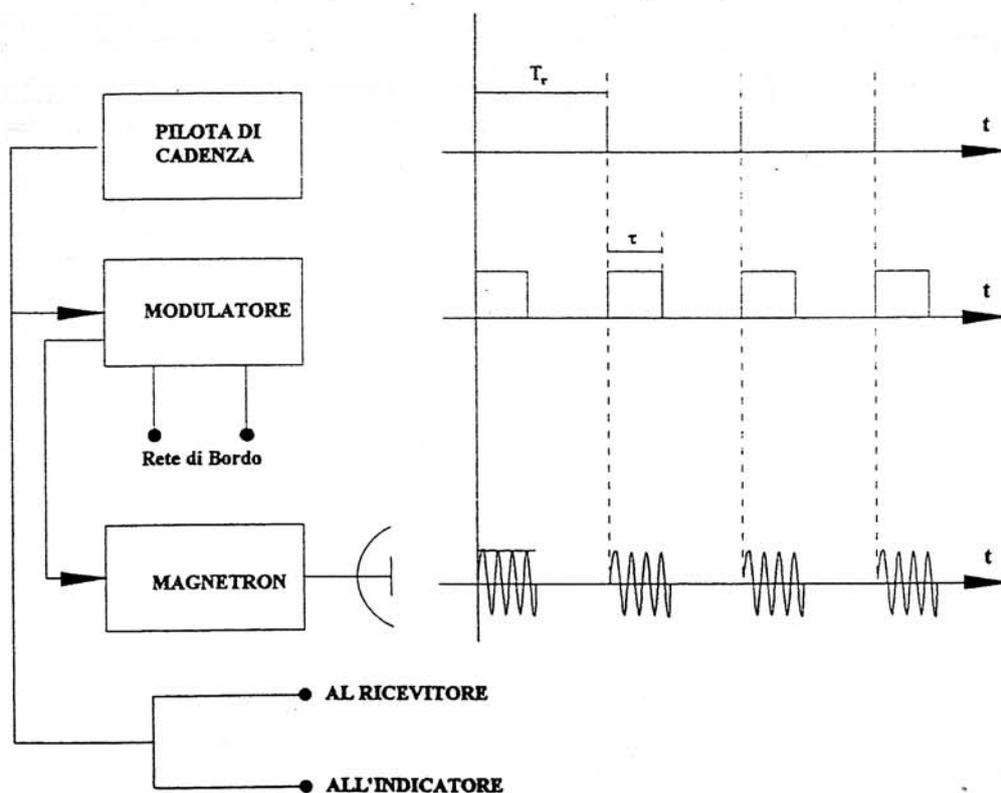


Fig. - 3 -

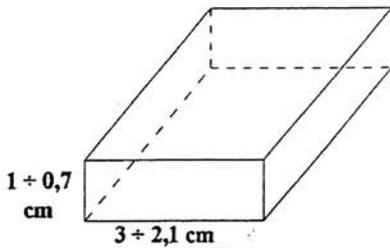


Fig. - 4 -

bordo nel tempo ($T_r - \tau$) e di restituirla nel tempo τ con intensità rigorosamente costante. Elemento principale del modulatore è la linea artificiale che accumula energia e da essa dipende il valore della durata dell'impulso τ . Ciò comporta che volendo selezionare, come si vedrà in seguito, valori diversi di τ , dovranno essere selezionate diverse linee artificiali. Il magnetron è un oscillatore di potenza che eroga l'oscillazione a radiofrequenza (da 3 a 10 GHz) che attraverso un particolare conduttore chiamato *guida d'onda* viene inviata ed emessa da un'antenna fortemente direttiva. La *guida d'onda* è un conduttore cavo a sezione rettangolare le cui dimensioni devono essere rapportate alla lunghezza d'onda λ impiegata, il lato maggiore deve essere uguale a λ o $0,7 \lambda$, mentre il lato minore $1/3$ di λ o $7/30 \lambda$. La fig.4 si riferisce ad una guida d'onda per una $\lambda = 3$ cm. La necessità di impiegare la guida d'onda al posto dei normali conduttori discende dall'esigenza di diminuire il più possibile le attenuazioni che si avrebbero del segnale usando potenze notevoli a frequenze molto elevate.

3. IL RICEVITORE

Il ricevitore del radar è un classico ricevitore del tipo *supereterodina*: il segnale in ricezione dovuto alla presenza di un bersaglio risulta molto debole e prima di poter essere utilizzato nell'indicatore deve essere opportunamente irrobustito cioè amplificato. In generale, si definisce *amplificazione* o *guadagno* di un amplificatore il rapporto tra l'ampiezza del segnale in uscita e l'ampiezza del segnale in ingresso; tuttavia è necessario precisare che gli amplificatori sono in grado di amplificare solo un determinato intervallo di frequenze che prende il nome di *banda passante* dell'amplificatore: essa è l'intervallo di frequenza all'interno del quale il guadagno risulta compreso tra il valore massimo ed il 70% del valore massimo. Il segnale in ricezione attraverso l'AT/R perviene ad un *amplificatore a radiofrequenza (A.R.F.)* che tuttavia non sempre è presente nei radar nautici per il suo costo elevato: infatti ciò è dovuto alle difficoltà che derivano dalla manipolazione delle alte frequenze, comunque è a banda larga, di elevato guadagno e poco rumoroso. Pertanto il segnale ricevuto, per essere amplificato, deve subire una conversione di frequenza, cioè deve essere portato ad una frequenza assai più bassa: la *frequenza intermedia (F.I.)* in generale compresa tra 30 e 60 MHz). A questo scopo è presente un oscillatore locale (*klystron*) che produce un segnale con frequenza prossima a quella di trasmissione del magnetron (ad es. 9970 MHz se la frequenza del magnetron è di 10.000 MHz): tale frequenza, unitamente a quella del segnale ricevuto viene inviata ad un miscelatore che ne esegue il battimento (differenza) ottenendo la desiderata frequenza intermedia (ad es. 10.000 - 9970 MHz) successivamente inviata all'amplificatore a frequenza intermedia (*A.F.I.*) che è a banda stretta (dell'ordine di $1/\tau$). Purtroppo il magnetron subisce alterazioni nella frequenza di trasmissione a causa di variazioni di temperatura, di variazioni della tensione di alimentazione e

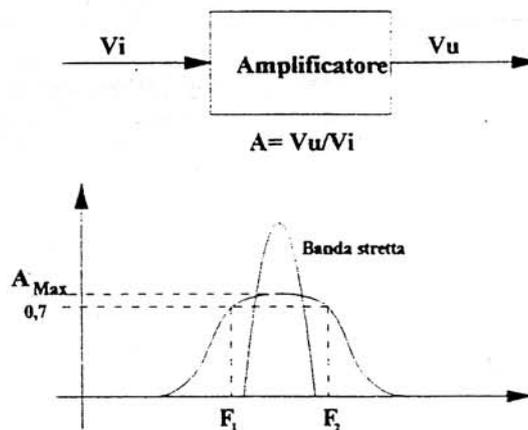


Fig. - 5 -

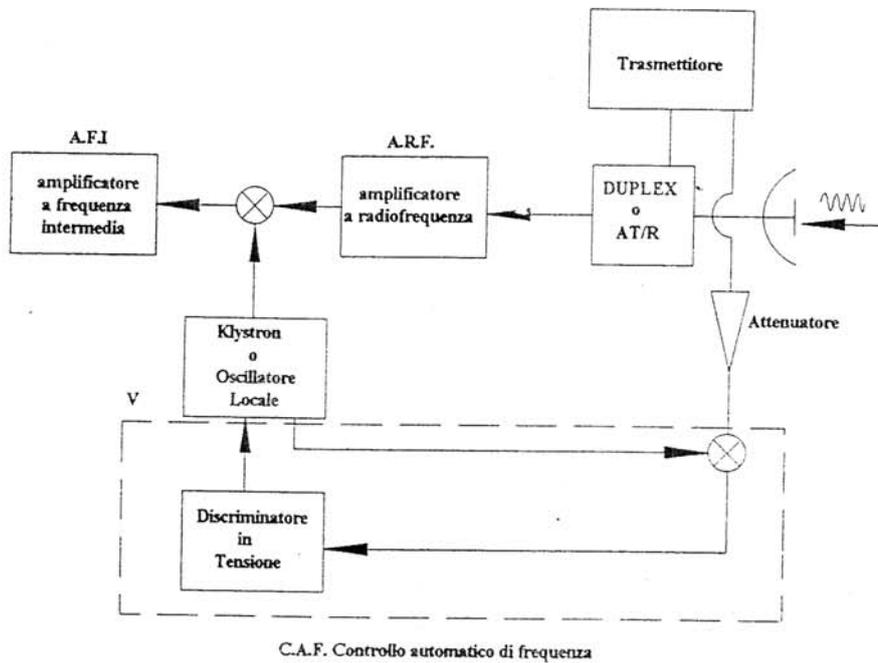


Fig. - 6 -

dell'usura: ciò determinerebbe la perdita del segnale di ricezione (con la stessa frequenza alterata) a causa della banda passante stretta dell'A.F.I. Ma ciò risulta più chiaro con un esempio numerico.

La banda passante dell'A.F.I. è $1/\tau$ e poiché $\tau = 10^{-6}$ sec, la banda passante è di 10^6 Hz = 1MHz, la frequenza trasmessa sia di 10.000 MHz e subisce una variazione, per i motivi già detti dell'1% equivalente a 10 MHz; la frequenza ricevuta risulta essere quindi di: $10.000 + 10 = 10.010$ MHz nettamente al di fuori della banda passante dell'A.F.I. con la conseguenza della perdita di ogni informazione radar (addirittura ciò comporta il mancato avvistamento del bersaglio).

Sui vecchi radar, per ripristinare la ricezione si eseguiva l'operazione di SINTONIA (*Tuning*) che consisteva nell'intervenire manualmente sul klystron così che la frequenza intermedia risultasse quella desiderata. Nei radar moderni esiste un dispositivo che esegue la sintonia automatica ed è chiamato C.A.F., *controllo automatico di frequenza*. Il suo funzionamento, con riferimento alla fig.6 è il seguente: la frequenza istantanea trasmessa viene prelevata, tramite un attenuatore, dal magnetron ed inviata ad un miscelatore al quale perviene anche la frequenza generata dall'oscillatore locale (*Klystron*): la differenza di queste due frequenze viene inviata ad un discriminatore la cui curva di risposta è centrata sulla frequenza intermedia. Se la frequenza intermedia è quella corretta, la tensione errore in uscita è nulla; se viceversa la frequenza generata dal magnetron risulta slittata per motivi già detti precedentemente, in uscita dal miscelatore risulta una frequenza diversa con il risultato che il discriminatore produce una tensione V_e tale da modificare la frequenza del klystron ed ottenere nuovamente frequenza intermedia richiesta.

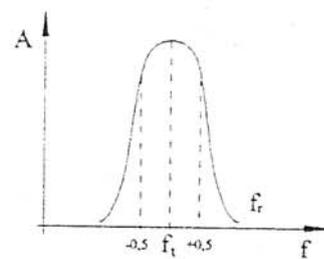


Fig. - 7 -

4. L'INDICATORE TIPO P.P.I.

L'indicatore tipo P.P.I. *Plan Position Indicator* è essenzialmente un tubo a raggi catodici, cioè una ampolla di vetro all'interno della quale è stato fatto il vuoto e dotata di una serie di elettrodi la cui funzione risulterà chiara dalla descrizione che segue fig.8. Partendo dal filamento *C* a sinistra, notiamo che esso è alimentato e quindi riscaldandosi emette elettroni in quantità resa varia-

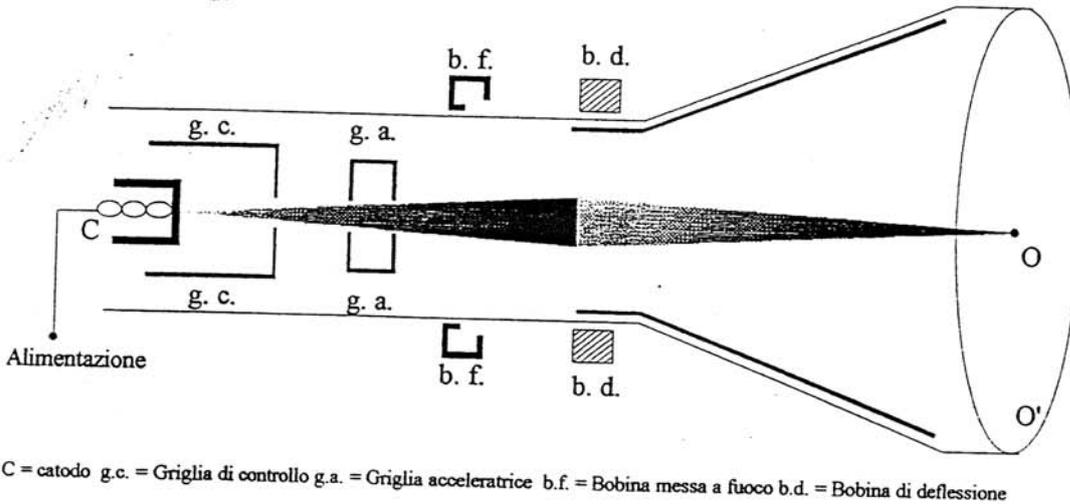


Fig. - 8 -

bile variando la tensione di alimentazione del filamento tramite un potenziometro. Poiché l'interno della superficie tronco conica del tubo è rivestita con una sostanza conduttrice (*Aquadag*), ad essa può essere applicata una tensione positiva elevata (ad esempio ± 15 KV) che determina un flusso di elettroni verso la parte anteriore del tubo cosparso di una sostanza fluorescente. In tali condizioni il tubo si illumina approssimativamente come lo schermo di una televisione quando, essendo accesa non vi è trasmissioni di immagini. Ricordando che lo scopo dell'indicatore è di visualizzare la posizione del bersaglio su un piano a mezzo del *rilevamento* e

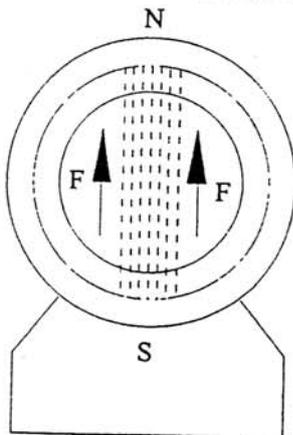
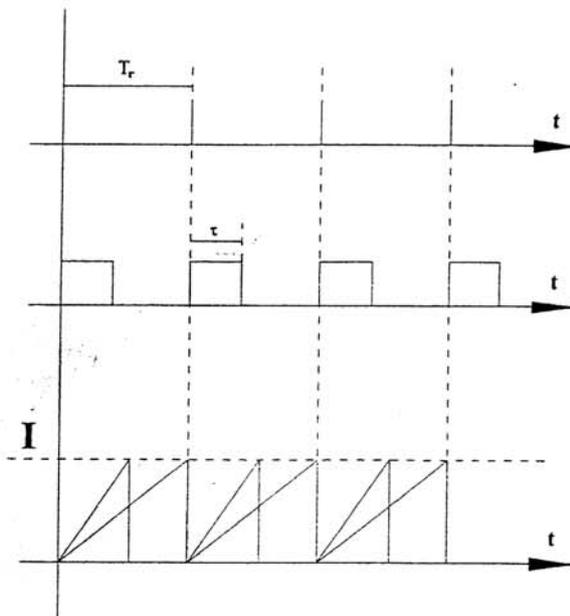


Fig. - 9 -

della *distanza*, l'uno ottenuto tramite la posizione che assume l'antenna, l'alta attraverso la misura di una differenza di tempo, interessa che gli elettroni colpiscano il tubo tutti concentrati per realizzare il *pennello elettronico* che, deflesso verso la periferia del tubo, ruoterà in sincronia con l'antenna. Pertanto è necessario, per prima cosa *focalizzare* gli elettroni al centro del tubo attraverso un campo e.m. di tipo radiale generato da bobine avvolte attorno al collo del tubo e attraversate da una corrente variabile con un potenziometro detto appunto (*focus*) per tenere conto delle qualità visive dell'operatore. Ottenuta quindi la macchia al centro dello schermo è necessario che il pennello defletta verso la periferia lungo un raggio dello schermo circolare: ciò si ottiene applicando al collo del tubo 2 bobine in serie, avvolte entrambe nello stesso senso e con lo stesso numero di spire e poste a 180° l'una dall'altra. Le bobine generano un campo che agisce perpendicolarmente all'asse longitudinale del tubo: questo produce una deflessione del pennello elettronico proporzio-



Andamento della corrente a rampa dove I ne rappresenta l'intensità necessaria per deflettere il pennello dal centro alla periferia dello schermo.

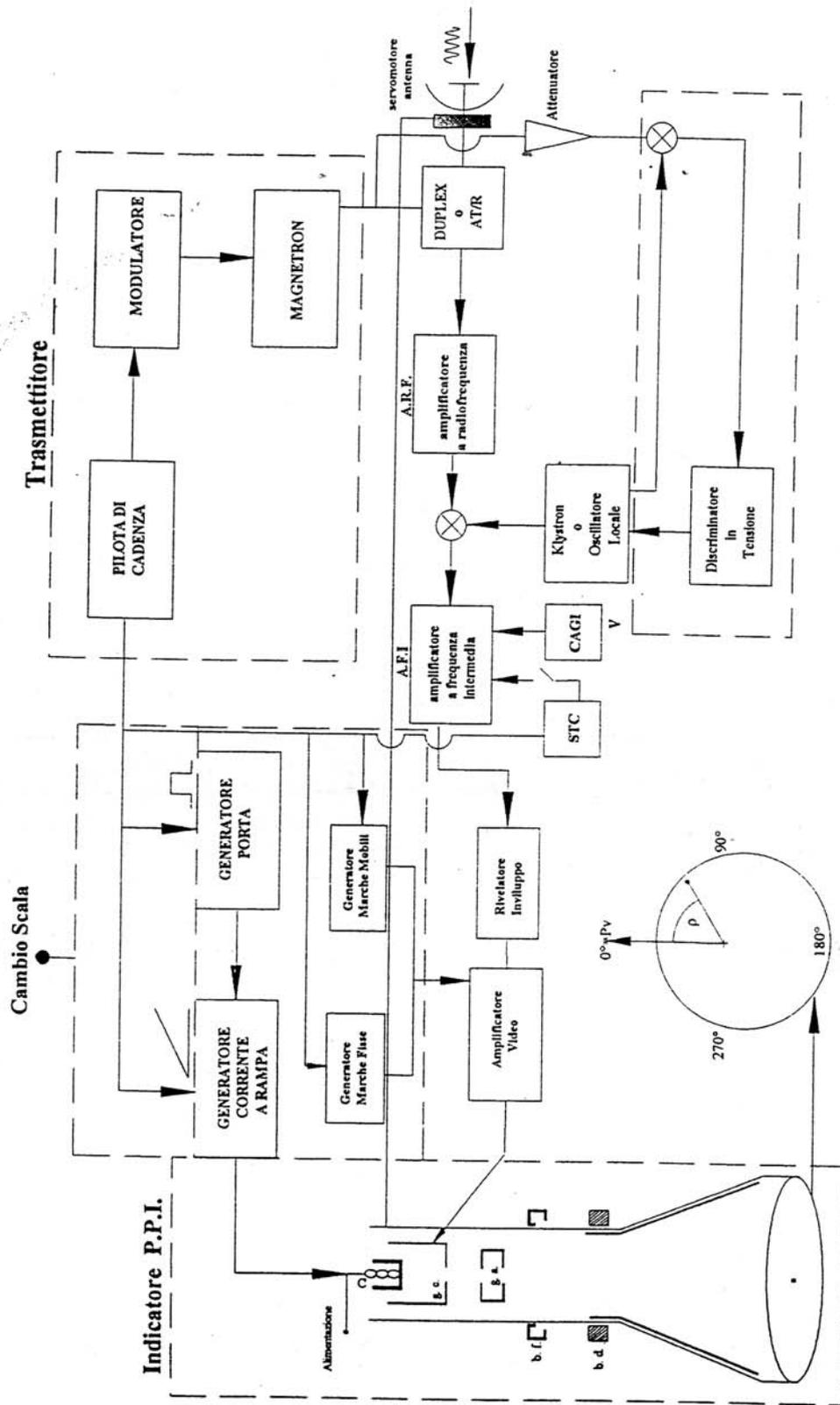
Fig. - 10 -

nale al valore del campo, pertanto se questo varia linearmente anche lo spostamento sarà lineare. La linearità è assicurata dal passaggio di una corrente a rampa ed il pennello dovrà partire dal centro dello schermo su comando del pilota di cadenza. Il tempo impiegato dal pennello per andare dal centro alla periferia è deciso in relazione alla scala di distanza che si vuole realizzare. Nell'istante in cui la corrente si annulla il pennello torna al centro del P.P.L. Quanto si è detto discende dalla relazione di proporzionalità diretta che lega la distanza al ritardo tra la ricezione dell'eco e l'istante di partenza dell'impulso. Come ultima operazione è necessario far ruotare il pennello conformemente alla rotazione dell'antenna: ciò si ottiene con la rotazione dell'equipaggio di deflessione trascinato da componenti elettromeccanici che trasferiscono il moto dell'antenna alle bobine intorno al collo del tubo. La presenza di un bersaglio viene rilevata inviando il segnale di uscita dall'A.F.I. attra-

verso un ulteriore amplificatore, chiamato *amplificatore video* al filamento del tubo realizzando l'intensificazione del pennello grazie ad un aumento di produzione di elettroni in modo da lasciare una traccia luminosa sullo schermo definita dalla posizione istantanea dell'antenna (rilevamento) e dalla distanza dal centro (distanza) proporzionale all'intervallo di tempo con cui il segnale d'eco è giunto rispetto alla partenza dell'impulso.

COMANDI DI UN RADAR NAUTICO

COMANDO	EFFETTO
POWER	posizioni Off - Stand by - On
SCANNER	attivazione della rotazione dell'antenna
BRILLANCE	luminosità dello schermo, si va ad agire sul potenziometro che regola l'alimentazione del filamento del T.R.C.
GAIN	guadagno, si va a modificare a seconda delle circostanze il guadagno dell'A.F.I.
SHORT/LONG PULSE	impulso corto o lungo, si va ad agire sul modulatore il 1° consigliato su grandi distanze, il 2° su quelle brevi
FOCUS	fuoco: si va ad agire sulla tensione di alimentazione delle bobine di focalizzazione del pennello elettronico del T.R.C.
RINGS	marche fisse: si producono delle intensificazioni del pennello elettronico ad intervalli di tempo proporzionali alle distanze che si vogliono rappresentare
RANGE	scala delle distanze: si agisce sulla durata ma non sull'intensità della corrente a rampa che attraversa le bobine di deflessione del T.R.C.
CLUTTER	anti-pioggia e antimare: si va a modificare sull'amplificazione dell'A.F.I. solo per brevi distanze per diminuire i disturbi prodotti dal moto ondoso e dalle gocce di pioggia.



SCHEMA A BLOCCHI DI UN RADAR IMPULSIVO

5. CARATTERISTICHE DEL RADAR

Ai fini del suo impiego giova conoscere alcune caratteristiche dalle quali discendono le modalità d'impiego del radar sia come strumento anticollisione che come strumento di navigazione costiera. Date le caratteristiche delle frequenze impiegate l'impiego è limitato alla propagazione per onda diretta e l'*orizzonte radar* dipende dall'altezza dell'antenna sul livello del mare: in particolare la distanza dell'orizzonte radar è data dall'espressione:

$$d = 1,22 \times \sqrt{e}$$

con d espresso in miglia e elevazione dell'oggetto in piedi.

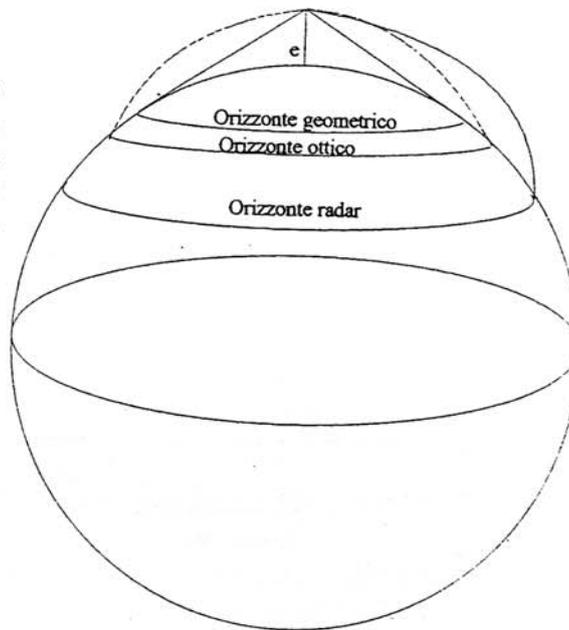
5.1 POTERE SEPARATORE IN DISTANZA.

Interessa bersagli che si trovano sullo stesso rilevamento a breve distanza l'uno dall'altro, si definisce come la minima distanza alla quale debbono trovarsi affinché sullo schermo essi appaiono distinti. Tale caratteristica dipende dalla durata dell'impulso: quanto più breve è l'impulso tanto maggiore è il *potere separatore* in distanza; applicando la relazione fondamentale:

$$d = \frac{C \times \Delta t}{2} \text{ se } \tau = 1 \mu \text{ sec. } d = \frac{C \times \tau}{2}$$

$$\text{cioè } d = \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-6}}{2} = 150 \text{ m}$$

Questo significa che due navi, sullo stesso rilevamento, per essere viste separatamente sullo schermo radar dovranno essere a una distanza superiore a 150 metri. Da quanto detto discende che in una zona di traffico elevato, per una buona guardia anticollisione, dovrà essere usata una scala grande (piccole distanze) e l'impulso corto.



La figura sopra mette in raffronto l'orizzonte radar con l'orizzonte geometrico e quello ottico tenendo conto dell'effetto di rifrazione che le onde e.m. subiscono.

Fig. - 11 -

5.2 POTERE SEPARATORE IN AZIMUT.

È la capacità di distinguere sullo schermo due bersagli che si trovano alla stessa distanza ma vicini tra loro in azimut. Esso dipende dall'apertura orizzontale della sezione del solido di radiazione dell'antenna. Tanto minore è l'apertura, tanto maggiore è il potere separatore in azimut. In pratica l'apertura orizzontale del solido di radiazione è di solito di 2° , 3° , mentre l'apertura nel piano verticale si aggira sui 30° . Quest'ultimo potrebbe sembrare elevato ma ciò si giustifica con

la necessità di non perdere bersagli a causa del rollio e del beccheggio con moto ondoso senza stabilizzare l'antenna nel piano orizzontale.

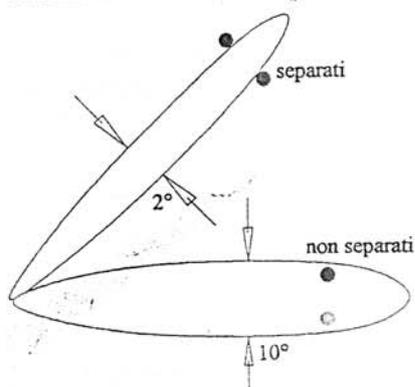


Fig. - 12 -

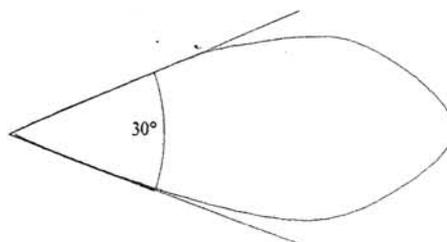


Fig. - 13 -

6. PUNTO NAVE RADAR

Come si è detto più volte, le informazioni che si possono ottenere dal radar sono il rilevamento e la distanza, tuttavia la possibilità di impiego del radar come strumento di navigazione costiera dipende in gran parte dalla natura della costa presso la quale si sta navigando. Infatti, se la costa è bassa, sabbiosa e senza particolari profili che possono essere riconosciuti sulla carta, l'impiego del radar risulta assai problematico poiché le distanze ottenute risulteranno imprecise ed i rilevamenti inattendibili; viceversa se la costa è alta e netta con punti facilmente riconoscibili, l'impiego del radar sarà assai utile. In questo ultimo caso tuttavia è necessario fare delle precisazioni che risulteranno chiare analizzando la figura che segue. Utilizzando due rilevamenti e due distanze si otterrebbero 4 punti nave ottenuti per intersezioni di:

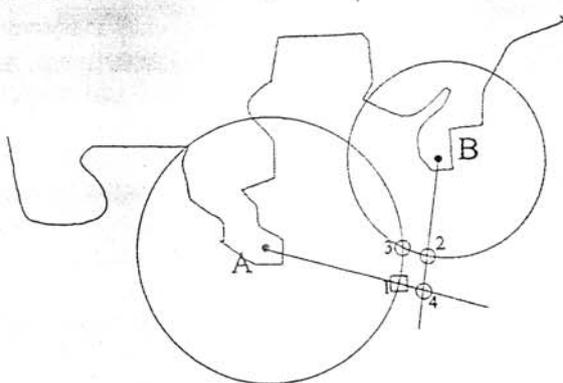


Fig. - 14 -

- 1) due distanze;
- 2) due rilevamenti;
- 3) un rilevamento ed una distanza da A;
- 4) un rilevamento ed una distanza da B;

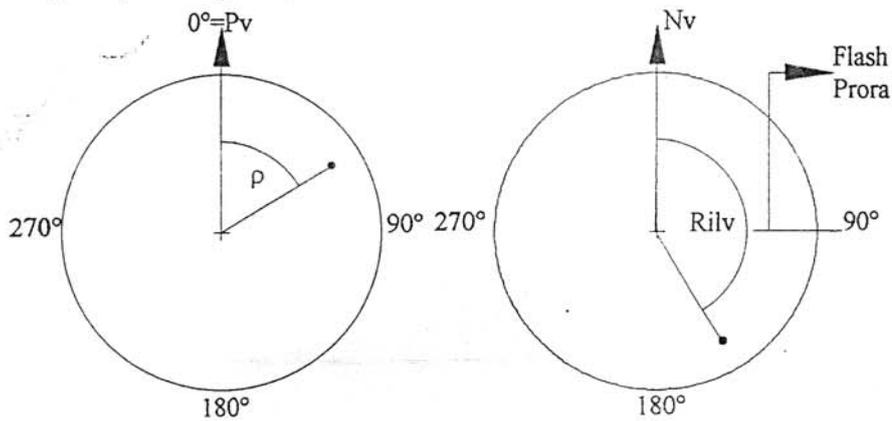
Nell'ipotesi di costa ben delimitata il punto nave più attendibile risulta il n° 1 cioè deriva dalla maggior precisione del radar nella misura delle distanze rispetto ai rilevamenti che invece si ottengono dalla posizione dell'antenna con gli inevitabili errori che si hanno nella trasmissione meccanica del dato angolare dall'antenna al tubo a raggi catodici. Disponendo quindi di un solo punto cospicuo è necessario ottenere il punto nave

tramite l'intersezione del cerchio di uguale distanza radar con il rilevamento ottico.

6.1 ASSERVIMENTO DEL RADAR ALLA GIROBUSSOLA.

In condizioni normali il rilevamento fornito dal radar è di tipo polare: ciò ha come inconveniente l'oscillazione dei bersagli in caso di mare agitato a causa del fatto che l'origine dei rilevamenti (la

prora) è continuamente variabile e ciò determina un'imprecisa valutazione dei dati cinematici del bersaglio. Questo inconveniente può essere eliminato asservendo il radar alla girobussola cioè inviando al radar il dato P_v . Elettricamente è possibile eseguire l'operazione $Ril_v = P_v + \rho$ pertanto il dato fornito dal radar è ora riferito non più a P_v ma al nord geografico con la conseguenza che in caso di mare agitato i bersagli restano fissi sullo schermo mentre oscilla l'indicazione della prora seguita (*flash di prora*).



Per una nave che segue una $P_v = 90^\circ$

Fig. - 15 -

7. RADAR A.R.P.A.

La sigla arpa è l'acronimo di *automatic radar plotting aids*. La tecnologia, la necessità di elaborare elettricamente i dati radar e di controllarli, la loro presentazione alfanumerica e soprattutto, l'opportunità di poter sovrapporre alle informazioni radar altre informazioni analogiche e digitali, hanno indotto i costruttori del radar ad introdurre, per lo schermo, il tubo di tipo televisivo (*raster scan*). Questi tipi di radar sono ben visibili anche in ambiente luminoso, con prestazione diurna senza ricorrere alla tradizionale cuffia paraluce e le immagini sono ad alta risoluzione. Sui margini dello schermo possono essere visibili tutti i dati propri della navigazione e di ogni bersaglio possono essere visualizzati i

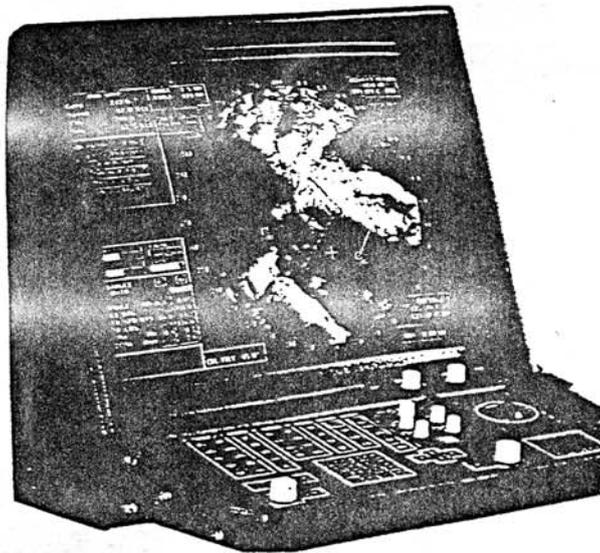


Fig. - 16 -

dati in modo alfanumerico e con simboli grafici. Un computer ha il controllo totale del sistema, garantisce sofisticate diagnostiche e monitoraggi, grande flessibilità di impegno ed elevata affidabilità delle informazioni. Analizziamo ora le funzioni principali.

- 1) Tracciamento automatico dei bersagli.
- 2) Calcolo per venti bersagli degli elementi del moto.
- 3) Presentazione dei vettori veri o relativi.
- 4) La prova di manovra evasiva, con la visione dell'effetto della manovra simulata.
- 5) Controllo manuale o auto adattivo del antimare e anti pioggia.
- 6) Sono previsti allarmi acustici e segnalazioni luminose in rosso, quando si verificano situazioni di pericolo, come ad esempio un CPA piccolo, minore di quello impostato sulla tastiera.
- 7) Sulle grandi plance vi è la possibilità di asservire dei ripetitori schermo.
- 8) La componentistica elettronica è basata su circuiti stampati.

