

## CAPITOLO 12

### **Cenni sul progetto del sonar**

#### **12.1) Criteri generali.**

Il progetto di un sonar può essere impostato secondo due linee molto diverse tra loro:

a) Il progetto nasce in base a specifiche esigenze operative e il suo sviluppo coinvolge e subordina la costruzione del sommergibile che si deve adattare alle necessità funzionali del sonar.

Lo scafo del battello è costruito per alloggiare, come suggerito dai progettisti del sonar, le basi idrofoniche affinché esse sfruttino nel modo ottimale le loro caratteristiche per ottenere le precisioni richieste nella localizzazione dei bersagli. Esso ha inoltre un profilo idrodinamico studiato per ridurre al minimo il disturbo di cavitazione.

Il sistema di propulsione e le macchine ausiliarie sono silenziate secondo severi criteri di adattamento del battello al sonar.

I locali che alloggiavano il sonar sono capienti e consentono le normali attività degli operatori e il regolare svolgimento delle procedure di controllo e manutenzione.

b) Il progetto è condizionato dalla struttura del sommergibile, la cui impostazione è già determinata da studi di ottima ingegneria navale, che però non sempre garantiscono la migliore funzionalità del sonar. In questo caso le prestazioni non sono ottimali e si cerca di raggiungere un ragionevole compromesso tra le condizioni imposte dal battello e il sistema di localizzazione.

La linea a) rappresenta la meta a cui aspirano i progettisti del sonar, che purtroppo non sempre possono veder realizzata. La linea b) è la più comune ed è quella che seguiremo nell'espone brevemente i criteri per il progetto del sonar.

#### **12.2) La definizione delle basi idrofoniche.**

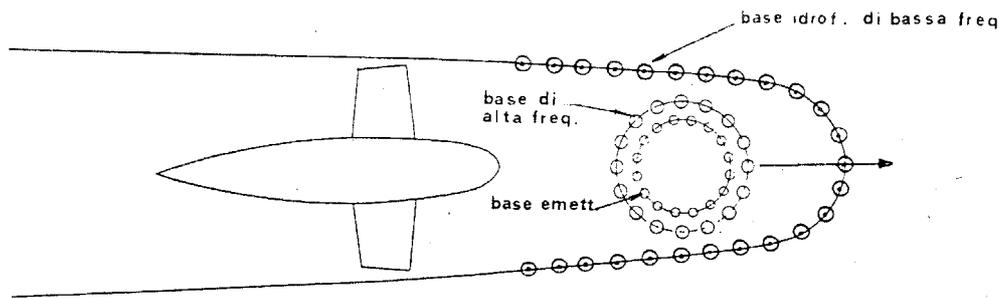
Se le strutture del battello sono già state studiate, si inizia l'esame dei disegni costruttivi forniti dai cantieri navali.

Si individuano, nell'architettura del sommergibile, le zone più adatte per la sistemazione delle basi idrofoniche e si cerca di disporle in modo da svi-

luppare al massimo le loro dimensioni allo scopo di ottenere le migliori caratteristiche di direttività possibili.

Se non si può installare una base circolare di dimensioni adatte per la ricezione dei segnali a bassa frequenza, si cerca di sistemare una cortina di stecche idrofoniche lungo il profilo prodiero del battello, in modo da realizzare una base del tipo già mostrato in figura 3.16, in grado di fornire la direttività necessaria.

L'adozione di questo tipo di base implica lo studio di uno speciale sistema a compensatore, per l'orientamento manuale del fascio direttivo, molto più complesso di quello per la base circolare illustrato nel paragrafo 4.4.3. Per la ricezione dei segnali idrofonici nel campo delle alte frequenze si possono prevedere delle piccole basi circolari sistemate opportunamente in modo da evitare che risultino schermate dalle sovrastrutture del battello. Si stabilisce infine l'ubicazione della base degli emettitori che, per un sonar installato a bordo di un sommergibile, non presenta grandi problemi. Una possibile sistemazione delle basi idrofoniche, in un sommergibile già progettato, è indicata in Fig. 12.1.



**fig. 12.1** Sistemazione di basi idrofoniche multiple.

Una volta stabilite le dimensioni e la collocazione delle basi si prendono in esame le caratteristiche operative dettate dalle specifiche tecniche che indirizzano il progetto del sonar.

### **12.3) Valutazioni delle massime distanze di scoperta con la componente passiva.**

Con gli elementi ricavati dalle geometrie delle basi e con le caratteristiche operative del sonar si determina la distribuzione più corretta delle bande di frequenze di lavoro da assegnare alle singole basi.

Il campo delle frequenze di ricezione, imposto dalle specifiche tecniche, viene diviso in modo che ciascuna base sia adibita alla ricezione in un determinato settore di esso.

Assegnate le frequenze di lavoro vengono fatti i calcoli di previsione delle portate di scoperta del sonar per i diversi settori di banda in cui è diviso il campo di ricezione.

L'esecuzione di ciascun calcolo implica la conoscenza e l'assunzione dei seguenti elementi:

1) guadagno di direttività delle basi riceventi che viene dedotto dalle loro dimensioni e dalla frequenza di lavoro assegnata;

2) tipo del bersaglio di cui si ipotizza la scoperta: il livello del rumore irradiato dipende dalle dimensioni del bersaglio (caccia, nave da carico, sommergibile, ecc.);

3) presunto stato del mare all'atto della scoperta del bersaglio, valori di SM da 0 a 6;

4) tipo della propagazione ipotizzata;

5) dati della prevista rumorosità del sommergibile dedotti in base a rilievi eseguiti su battelli simili;

6) caratteristiche dei sistemi per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo, se rivelatori, correlatori o ascolto diretto;

7) dati statistici relativi alla scoperta dei bersagli, si ricavano da particolari diagrammi ottenuti dallo sviluppo di teorie sulle comunicazioni. Il risultato del calcolo è un numero che esprime la distanza massima alla quale è possibile scoprire il bersaglio, se si verificano tutte le condizioni indicate nei precedenti punti. Questa previsione, che è la sola possibile, è imprecisa ma comunque indicativa delle capacità teoriche di scoperta del sonar, che deve essere installato a bordo del sommergibile preso in esame. La previsione di portata è utile anche come elemento orientativo nel dimensionamento dei circuiti elettronici che, dopo la stesura di un "diagramma dei livelli", sono progettati per elaborare i segnali idrofonici ricevuti dalle stecche delle basi.

Il diagramma dei livelli, che fa parte del progetto del sonar, sarà illustrato nel paragrafo 12.5.

#### **12.4 Valutazione delle massime distanze di scoperta con la componente attiva.**

La valutazione delle portate di scoperta con il metodo dell'eco richiede la conoscenza degli elementi indicati ai punti 1, 3, 4, 5, 6, 7, del paragrafo precedente oltre ai seguenti altri elementi:

8) tipo del bersaglio e sua inclinazione rispetto alla congiungente bersaglio-sommergibile (si ricavano gli elementi numerici con l'impiego di diagrammi simili a quello di figura 9.4);

9) potenza acustica e durata dell'impulso di trasmissione, sono dati ricavati dalle specifiche tecniche;

10) guadagno di direttività della base degli emettitori che si calcola dalle sue dimensioni e dalla frequenza di emissione;

11) intensità del livello di riverberazione determinata in base alle osservazioni del paragrafo 11.3.

Il risultato del calcolo è la distanza alla quale il sonar, con l'emissione di un impulso, può localizzare il bersaglio se sono verificate tutte le ipotesi assunte per la valutazione.

La previsione di portata è utile per la stesura del diagramma dei livelli della componente attiva del sonar e per dare un'indicazione della sua capacità di scoperta.

#### **12.5) Il diagramma dei livelli.**

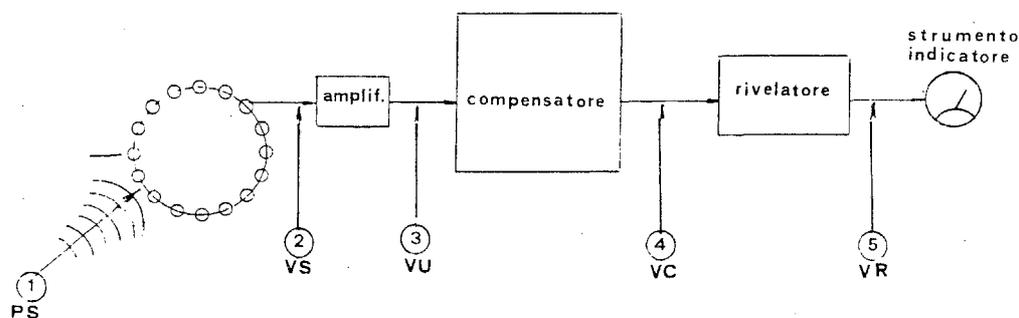
A seguito dei calcoli di portata emergono i valori orientativi della pressione del segnale che può essere ricevuto dal sonar se si verificano le condizioni previste; questi valori possono variare notevolmente se alcune di queste non si realizzano, ciò accade il più delle volte.

Ipotizzando le possibili variazioni del livello della pressione acustica del segnale in mare, dovute alla variabilità delle condizioni, si costruisce il diagramma dei livelli; in esso compaiono tutti i valori minimi delle pressioni acustiche e delle corrispondenti tensioni elettriche che devono essere elaborate dai vari circuiti del sonar.

Un esempio molto semplificato di un diagramma dei livelli è riportato in Fig. 12.2; esso è relativo al solo canale del compensatore manuale del sonar.

Nei diversi punti sono indicate: (1) la pressione acustica PS del minimo segnale ricevuto dalle stecche della base, (2) la corrispondente tensione VS che si forma ai capi delle stecche, (3) la tensione VU che si deve avere all'u-

scita degli amplificatori affinché consentano il corretto funzionamento dei



**fig. 12.2** Diagramma dei livelli canale compensatore.

circuiti successivi, (4) la tensione VC all'uscita del sistema a compensatore quando questo è orientato sul bersaglio, (5) la tensione corrispondente VR all'uscita del rivelatore.

Dal diagramma dei minimi livelli se ne ricava un altro relativo agli ipotetici livelli massimi, considerando le pressioni acustiche generate da un bersaglio posto alla minima distanza operativa.

Con i due diagrammi si procede all'individuazione delle caratteristiche di amplificazione dei vari circuiti elettronici che compongono la catena di elaborazione dei segnali idrofonici. Essa, da un lato, deve avere una elevata sensibilità per consentire la percezione dei segnali più piccoli, dall'altro deve poter accettare, senza distorcerli, i segnali più elevati.

Un terzo diagramma dei livelli viene elaborato per mettere in evidenza l'entità delle tensioni elettriche dovute ai vari disturbi che colpiscono la base idrofonica ricevente.

## 12.6 Dimensionamento degli amplificatori.

Come abbiamo visto nel paragrafo 8.2.3, la caratteristica principale degli amplificatori delle tensioni idrofoniche è avere basso disturbo elettronico. Dal diagramma dei livelli si stabilisce quale valore di sensibilità attribuire agli amplificatori per utilizzare i minimi segnali generati dai bersagli lontani, si prevede altresì la possibilità di ricevere i segnali molto elevati provenienti dai bersagli vicini. Fatto questo si prende in esame il livello di ten-

sione che il disturbo del moto ondoso, con  $SM=0$ , produce ai capi delle stecche idrofoniche e si progettano degli amplificatori che, pur avendo le caratteristiche di sensibilità richieste, producono un disturbo elettronico nettamente inferiore a quello dovuto al mare.

La ragione di ciò è così spiegabile: se nel ricevere i segnali dai bersagli lontani si verificano condizioni ambientali molto più favorevoli di quelle prese a base per i calcoli di portata è opportuno che il sonar non abbia all'interno elementi disturbanti che limitano l'utilizzo di tali segnali.

Per ciascuna base idrofonica si devono progettare gli appositi amplificatori che, con filtri adatti, determinano la banda delle frequenze di lavoro assegnata. Si devono inoltre dimensionare i filtri per l'equalizzazione del disturbo dovuto al moto ondoso come indicato nel paragrafo 1.7.1.2.

### **12.7) Indicazioni per lo sviluppo dei sistemi a compensatore.**

Una parte importante del progetto del sonar è rivolta allo sviluppo dei sistemi a compensatore per l'orientamento manuale del fascio direttivo. Lo studio dei compensatori è strettamente legato alle dimensioni e alla forma delle basi idrofoniche riceventi. Con i disegni di esse, in dipendenza dalla distanza tra le stecche e dal profilo del loro schieramento, si calcolano i ritardi che devono essere introdotti artificialmente dal compensatore, da questi si progettano le catene di ritardo che formano, con la struttura rotante, l'insieme di tutto il sistema.

Il progetto di un apparato di localizzazione subacquea può prevedere uno o più compensatori collegati ciascuno ad una diversa base ricevente. I compensatori collegati alle basi riceventi di bassa frequenza, data la minore attenuazione dei segnali a tali frequenze, consentono la scoperta dei bersagli a grande distanza. I compensatori collegati alle basi riceventi di alta frequenza sono più adatti a seguire i bersagli a media distanza, ma con elevata precisione.

Le specifiche tecniche prescrivono, per ragioni operative, il numero dei compensatori ed il modo con il quale devono essere comandati. I comandi possono essere di due tipi: a) comando unico di due compensatori; l'operatore agendo su di esso provoca la rotazione simultanea dei compensatori ed il conseguente orientamento, sullo stesso bersaglio, dei loro fasci direttivi. In questo caso egli stabilisce di volta in volta quale dei compensatori è più adatto all'azione del momento; b) comandi separati: uno o più operatori orientano i compensatori su diversi bersagli.

Nel primo caso si ha il vantaggio che un solo operatore può scoprire il ber-

saglio a grande distanza, con il compensatore di bassa frequenza, per passare, successivamente, al suo inseguimento con il compensatore di alta frequenza che si trova già orientato sul bersaglio.

Nel secondo caso, pagando con un più elevato impegno degli operatori, si possono inseguire più bersagli contemporaneamente.

Nello sviluppo dei sistemi a compensatore giocano un ruolo determinante le strutture elettroniche per l'elaborazione dei segnali; queste sono i gruppi di filtraggio e ascolto, i gruppi di rivelazione e indicazione strumentale, i gruppi di correlazione e di anticorrelazione. Lo studio di questi circuiti richiede la conoscenza del comportamento dei compensatori, che dipende dalle caratteristiche di direttività delle basi ad essi collegate. Questo ci dice una volta di più che le basi idrofoniche determinano tutto il progetto del sonar.

I circuiti elettronici di elaborazione dei segnali devono essere dimensionati per lavorare nel campo delle frequenze che competono alle basi e devono inoltre accettare le massime variazioni dei segnali idrofonici dovute alla variabilità delle condizioni a cui abbiamo già accennato.

Il progetto dei compensatori richiede inoltre lo studio di appositi dispositivi di asservimento elettromeccanico per il posizionamento a distanza delle loro parti rotanti.

Il grado di precisione dei compensatori, per la determinazione della direzione dei bersagli, è imposto dalle specifiche tecniche, ma in ogni caso non è ragionevole che esso superi di molto la precisione che intrinsecamente è determinata dalle dimensioni delle basi, comparate alla loro frequenza di lavoro.

Queste osservazioni sono molto importanti nel progetto del sonar, perchè evitano la costruzione di compensatori eccessivamente complicati, ingombranti e costosi, quando ciò, oltre un certo limite, non contribuisce più ad aumentare la reale precisione di localizzazione.

### **12.8) Note sui sistemi a fasci preformati.**

Nel progetto del sonar la funzione di scoperta panoramica è affidata ai sistemi di fasci preformati.

A ciascuna base può essere collegato un sistema di scoperta a fasci in modo da esplorare simultaneamente tutto l'orizzonte subacqueo, tanto nel campo delle basse frequenze quanto in quello delle alte frequenze.

Anche in questo caso, come per i compensatori, i sistemi collegati alle basi di bassa frequenza sono indicati per la scoperta a grande distanza, mentre

quelli collegati alle basi di alta frequenza sono più indicati per l'inseguimento dei bersagli.

Il progetto dei sistemi a fasci preformati dipende dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro delle basi idrofoniche ad essi collegate. Lo studio dei disegni delle basi fornisce gli elementi per il calcolo dei ritardi che devono poi servire per il progetto delle catene di ritardo necessarie per la formazione dei fasci.

Nella definizione del progetto dei sistemi a fasci preformati è necessario stabilire il loro numero minimo che consente il corretto funzionamento del circuito interpolatore (vedi paragrafo 4.5).

In altre parole, volendo che il sonar determini con precisione la direzione dei bersagli individuati con il sistema a fasci, anche quando esse non coincidono con le direzioni di orientamento degli stessi, è necessario che il numero minimo di questi sia opportunamente calcolato.

Per eseguire questo calcolo è necessario determinare la legge matematica che governa l'andamento delle caratteristiche di direttività delle basi collegate ai singoli sistemi. Ciò si ottiene elaborando opportunamente i dati relativi alle dimensioni delle basi, alla loro frequenza di lavoro e al numero di stecche impiegate. Un successivo sviluppo matematico sulla caratteristica di direttività così calcolata conduce alla determinazione del minimo numero dei fasci che si devono impiegare nel sistema.

Aumentare il loro numero oltre il valore calcolato è ragionevole soltanto se si desidera che esso sia un sottomultiplo di  $360^\circ$  per eventuali ragioni di simmetria. Ulteriori aumenti del numero dei fasci non portano alcun vantaggio funzionale, ma incrementano inutilmente il volume e il costo dell'intero sistema.

Nello sviluppo di questo progetto sono fondamentali i circuiti elettronici per il riconoscimento dei segnali; questi dispositivi, rivelatori o correlatori, devono essere studiati tenendo in debito conto le esigenze dei gruppi di elaborazione successiva, quali i gruppi di scansione e di interpolazione. L'impiego dei rivelatori o dei correlatori dipende dalle condizioni imposte dalle specifiche tecniche che stabiliscono quale tipo di elaborazione deve essere fatta per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo.

Ricordiamo che il trattamento dei segnali effettuato con i metodi di correlazione è preferibile in pratica a quello ottenuto con i rivelatori, anche se implica ingombri e costi sensibilmente più elevati (vedi paragrafo 7.4.3). Per ridurre notevolmente gli ingombri e i costi dei sistemi a fasci, quando il numero delle stecche idrofoniche della base è nettamente inferiore al nu-

mero dei fasci che si devono realizzare, si può adottare un metodo di composizione del fascio diverso da quello indicato nel paragrafo 4.5. Questo nuovo metodo prevede che ciascuna stecca della base sia collegata ad una catena di ritardo a prese multiple (vedi paragrafo 4.3) e che ogni fascio venga formato sommando opportunamente le tensioni delle stecche prelevate dalle prese delle catene. Il metodo è concettualmente identico a quello descritto nel paragrafo sopra citato, infatti, per ogni direzione in cui è orientato il fascio, vengono sommate le tensioni delle stecche con i ritardi opportuni, affinché si verifichino le necessarie condizioni di ampiezza e di polarità che danno luogo alla formazione della caratteristica di direttività.

Uno studio particolare deve essere condotto per adattare il gruppo interpolatore alla velocità di scansione dei fasci preformati che è subordinata al tipo di presentazione video adottata; un adattamento mal fatto provoca sensibili errori nella determinazione della direzione del bersaglio.

La precisione del sistema a fasci preformati, come quella del compensatore, non si può imporre in fase di progetto quando, come in questo caso, le dimensioni delle basi idrofoniche sono determinate dalla struttura del battello. Per ottenere precisioni prestabilite sarebbe necessario seguire, nel progetto del sonar, la linea a) indicata nel primo paragrafo del presente capitolo: per questa ragione le specifiche tecniche devono imporre dei limiti di precisione che tengano conto della situazione che impone di adattare il sonar al sommergibile.

### **12.9) Sistemi di comando e controllo del sonar.**

Il progetto del sonar investe anche lo studio dei gruppi di comando e controllo di tutte le funzioni che esso esplica.

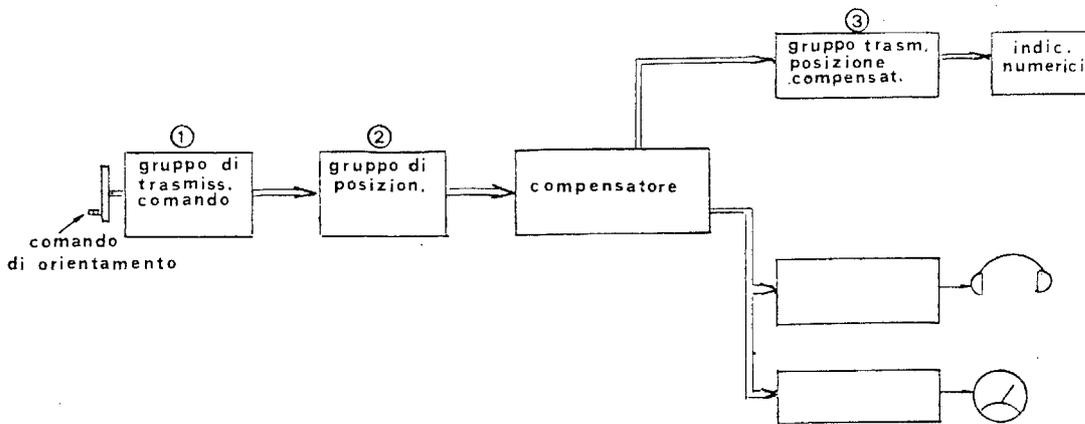
I sistemi di comando devono essere indirizzati alla conduzione del sonar da parte dell'operatore, quelli di controllo devono essere indirizzati ai circuiti che funzionano automaticamente.

Le parti dipendenti dai comandi dell'operatore riguardano l'orientamento dei sistemi a compensatore, la collimazione dei bersagli individuati con i fasci preformati, la collimazione dei bersagli scoperti con la componente attiva e tutte le altre predisposizioni necessarie alla condotta del sonar.

I circuiti dipendenti dal funzionamento automatico sono quelli relativi ai gruppi di scansione dei fasci preformati, al governo della componente attiva e alla gestione delle presentazioni sugli schermi video.

Lo studio dei gruppi di comando e controllo è molto complesso: lo si affronta con la stesura di un "diagramma a blocchi", in cui ciascun blocco rappresenta una funzione che deve essere svolta, o automaticamente, o tramite l'azione dell'operatore. Il diagramma viene successivamente trasformato in diagrammi parziali con un più elevato grado di definizione per consentire un esame più approfondito degli elementi che devono condurre al progetto del blocco.

Un esempio di una delle innumerevoli sezioni di un diagramma a blocchi è riportato in Fig. 12.3, esso è relativo ad una parte dei comandi del sistema a compensatore.



**fig. 12.3** Blocco per l'orientamento del compensatore.

Nella figura si osserva che ogni rettangolo (blocco funzionale) è rappresentativo di una particolare funzione necessaria al compensatore. Esaminiamone alcuni: 1) il blocco rappresenta il gruppo di trasmissione del comando con il quale l'operatore orienta il compensatore; una definizione più dettagliata del blocco, con un diagramma parziale, mostrerebbe che esso è costituito da una parte meccanica che viene ruotata dall'operatore e da una parte elettromeccanica che trasferisce, per via elettrica, il comando di orientamento.

Aumentando il livello del dettaglio, con un nuovo diagramma parziale, si giungerebbe ad inquadrare le parti meccaniche ed elettriche che devono essere progettate per realizzare il gruppo di comando; 2) il blocco rappresenta il gruppo elettromeccanico per il trascinamento del disco rotante del compensatore, un maggior dettaglio mostrerebbe il motore di trascinamento.

mento, l'amplificatore per il suo comando, gli organi che ricevono i dati per l'orientamento dal blocco 1 e la scatola di ingranaggi per il trasferimento del movimento al disco; 3) il blocco rappresenta gli organi elettrici ed elettronici per la trasmissione della posizione angolare di orientamento assunta dal compensatore, al gruppo degli indicatori numerici. Anche in questo caso un maggior dettaglio porterebbe ad individuare i particolari circuitali che devono essere progettati per il dimensionamento di tutto il blocco.

In modo simile devono essere impostati i diagrammi dei controlli automatici necessari per il funzionamento dei fasci preformati e della componente attiva, nonché i diagrammi che comprendono tutte le funzioni automatiche che interessano i sistemi di presentazione su schermi video e i comandi per il loro controllo da parte dell'operatore.

Come abbiamo visto, il metodo dei diagrammi a blocchi consente il progetto della rete di comando e controllo partendo da una struttura d'insieme che sintetizza la filosofia di tutto il complesso per arrivare allo studio delle funzioni elementari che lo costituiscono.

### **12.10) La scelta del tipo di presentazione video.**

Il progetto del sonar richiede la scelta del tipo di presentazione video in accordo con le indicazioni contenute nelle specifiche tecniche e in base alle necessità funzionali.

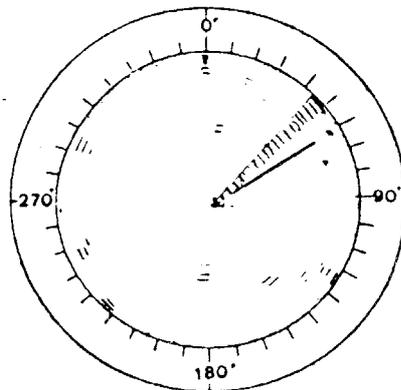
Se il sonar è costituito da diverse componenti di localizzazione è necessario l'impiego di più di uno schermo video per la rappresentazione dei tracciati che indicano la posizione dei bersagli individuati da ciascuna di esse. In tal caso si possono far comparire sullo stesso schermo, in zone separate, due o più funzioni relative a componenti diverse; cercando di distribuire le presentazioni con un certo criterio di affinità funzionale.

Le presentazioni relative alla ricerca passiva di due o più sistemi a fasci preformati possono essere sistemate su di un unico schermo. In questo modo la visione simultanea dei tracciati, da parte dell'operatore, favorisce un controllo più immediato della situazione presente nello scenario subacqueo:

Nell'integrazione delle presentazioni su di uno stesso schermo non deve essere trascurata la giusta distribuzione dei tracciati sulla sua superficie per non limitare la precisione di collimazione degli indici luminosi sulle tracce dei bersagli. In una presentazione di dimensioni troppo piccole, infatti, quando l'operatore biseca con l'indice le tracce per determinare la di-

reazione o la distanza dei bersagli, può commettere sensibili errori di posizionamento dell'indice che si ripercuotono sulla precisione della misura. Il tipo di presentazione video può essere scelto, in base alle necessità, tra i seguenti: a) presentazione polare, b) presentazione circolare, c) presentazione rettangolare.

La presentazione polare, già illustrata in precedenza, è riportata in fig. 12.4 per consentire un rapido confronto con gli altri tipi di seguito illustrati.



**fig. 12.4** Sistema di presentazione video in polare - Bersaglio attivo fermo.

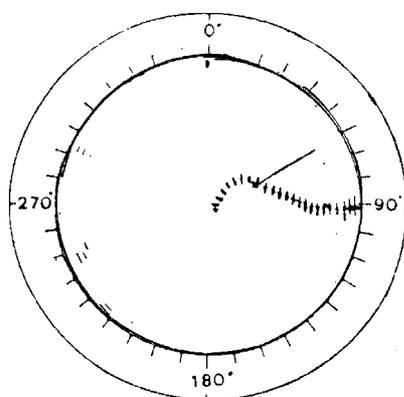
Nella figura è indicato, ad esempio, un bersaglio attivo individuato nella direzione  $42^\circ$ . Questo tipo di presentazione si adatta molto bene, tanto alla componente passiva, quanto a quella attiva.

In particolare per quest'ultima esso fornisce un tracciato molto perspicuo dato che assume l'aspetto di una carta topografica (vedi figura 1.4).

I bersagli compaiono in essa come tracce luminose, la cui intensità è dipendente dall'ampiezza del segnale ricevuto e può essere regolata dall'operatore per sfruttare meglio la differenza tra le tracce dovute al segnale e quelle provocate dal disturbo.

Dato che nella presentazione connessa alla componente passiva la traccia del bersaglio è un insieme di archetti luminosi che si allargano dal centro verso la periferia dello schermo, se necessario, si può sfruttare questa caratteristica per mostrare la storia delle evoluzioni angolari del bersaglio. Ciò è possibile assegnando ad ogni archetto la posizione angolare del bersaglio, rilevata dal sistema a fasci preformati in tempi successivi sensibilmente distanziati tra loro. In questo modo la presentazione di un bersaglio che in

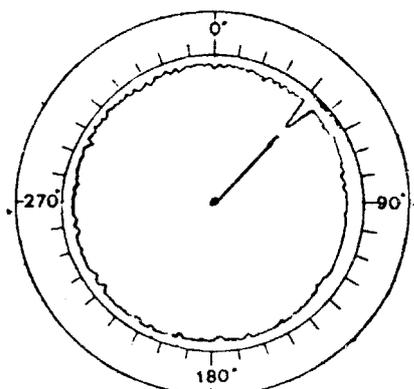
un certo tempo si è spostato, ad esempio, da  $42^\circ$  a  $90^\circ$ , compare sullo schermo come indicato in Fig. 12.5.



**fig. 12.5** Sistema di presentazione video in polare - Bersaglio attivo in movimento.

Il disegno mostra verso la periferia dello schermo la direzione del bersaglio all'istante di osservazione, verso il centro invece la direzione che esso aveva  $T$  secondi prima. La figura evidenzia inoltre l'evoluzione angolare che il bersaglio ha compiuto nel tempo  $T$  (la parte curva del tracciato). A mano a mano che il tempo passa scompaiono dallo schermo le tracce centrali più "vecchie" e compaiono le nuove tracce alla periferia.

La presentazione circolare, indicata nella Fig. 12.6 con un ipotetico bersaglio attivo a  $42^\circ$ , si adatta soltanto alle componenti passive del sonar.



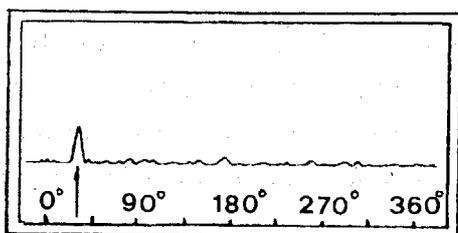
**fig. 12.6** Presentazione video tipo circolare.

I bersagli compaiono sotto forma di campane luminose rovesciate con il culmine rivolto verso il centro dello schermo. Con questo tipo di presentazione si può avere un'idea del livello del segnale ricevuto perchè l'ampiezza delle campane è dipendente da esso.

La determinazione della direzione del bersaglio si effettua collimando il culmine della campana con un indice luminoso.

Questa presentazione si presta molto bene ad essere abbinata, sullo stesso schermo, con un'altra simile.

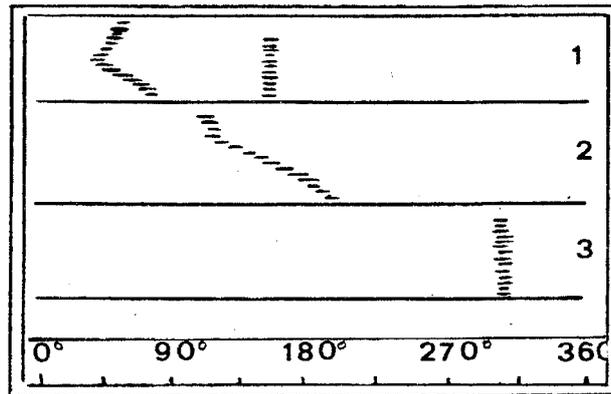
La presentazione rettangolare, indicata nella Fig. 12.7 con un ipotetico bersaglio a  $42^\circ$ , si adatta indifferentemente tanto alle componenti passive quanto a quelle attive.



**fig. 12.7** Presentazione video tipo rettangolare.

Nel caso di presentazione di tracciati per componenti passive l'asse orizzontale rappresenta le direzioni dell'orizzonte da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  e l'asse verticale l'ampiezza del segnale, se questo compare come una campana, o la storia delle evoluzioni del bersaglio, se esso compare come una catasta di trattini luminosi (vedi figura 12.8). Nel caso di tracciati per componenti attive l'asse orizzontale rappresenta le direzioni dell'orizzonte da  $0^\circ$  a  $360^\circ$  e l'asse verticale la distanza del bersaglio.

Questo tipo di presentazione, nel caso di accoppiamento con componenti passive, è adatto ad essere utilizzato per riportare sullo stesso schermo diverse presentazioni relative ad altrettanti sistemi di fasci preformati. Una illustrazione di tale possibilità è mostrata in Fig. 12.8, dove sono integrati tre tracciati, asserviti a sistemi di fasci preformati, collegati a basi di ascolto diverse, che adottano il metodo del tracciamento della storia delle evoluzioni angolari del bersaglio.



**fig. 12.8** *Presentazione video rettangolare con la storia delle evoluzioni dei bersagli.*

Nella zona 1 si individuano due bersagli: quello a sinistra ha effettuato evoluzioni angolari, quello a destra segue una traiettoria rettilinea. Nella zona 2 si vede un solo bersaglio che ha effettuato evoluzioni angolari. Nella zona 3 si vede un solo bersaglio che segue una traiettoria rettilinea.

### **12.11) L'alimentatore delle componenti passive del sonar.**

Numerosi gruppi elettronici facenti parte delle componenti passive del sonar richiedono, per il loro funzionamento, diverse tensioni di alimentazione. Esse devono essere fornite dall'alimentatore generale opportunamente dimensionato per le necessità del caso. L'alimentatore generale, normalmente, preleva tensione dalla rete ordinaria di bordo del sommergibile, la trasforma e la adatta alle esigenze dei circuiti del sonar. L'alimentatore deve essere dimensionato con cura per evitare dannose sopraelevazioni di temperatura, durante il funzionamento, che ne possono ridurre la vita; esso deve inoltre essere dotato di appositi circuiti di protezione per evitare che accidentali eccessi di carico, provocati da anomali funzionamenti dei gruppi utilizzatori, ne provochino l'avaria.

La costruzione dell'alimentatore deve essere fatta secondo criteri di ridondanza, in modo che, se una parte di esso va in avaria, un'altra parte automaticamente, prenda immediatamente il posto della prima.

È opportuno a questo punto fare un'importante osservazione che interessa il progetto di tutto il sonar e che investe l'alimentatore generale. Nel

dimensionamento dei circuiti del sonar deve essere tenuto presente che esso può essere chiamato ad operare, in condizioni di emergenza, con le sole componenti passive, durante un black-out del battello causato da un'avaria sulla rete di distribuzione ordinaria della tensione di bordo. In questo caso il sonar è alimentato con la tensione della rete di emergenza e perciò il suo consumo di energia deve essere il più modesto possibile. Se il progettista del sonar dimensiona i circuiti delle componenti passive tenendo presente il problema a cui abbiamo accennato, l'alimentatore ad essi relativo assorbe poca potenza, ed in caso di emergenza il sonar può funzionare, garantendo la sicurezza del battello, anche per lunghi periodi di tempo senza gravare eccessivamente sulle riserve energetiche di bordo.

### **12.12) Osservazioni sul progetto della componente attiva.**

La componente attiva del sonar è progettata in base alle specifiche tecniche che stabiliscono la potenza, la durata e la frequenza dell'impulso di trasmissione.

Lo studio della componente è diviso in due parti: il sistema ricevente ed il trasmettitore con la base degli emettitori.

Il ricevitore, come abbiamo avuto modo di vedere nel paragrafo 5.2, è costituito essenzialmente da un sistema a fasci preformati adattato alla individuazione dei segnali dell'eco. Le problematiche di progetto di questi sistemi, che riguardano i ritardi da introdurre ed il minimo numero dei fasci, sono le stesse che abbiamo esaminato in precedenza a proposito della componente passiva.

I molteplici circuiti di elaborazione per l'ascolto, per la misura della distanza e della velocità relativa del bersaglio, devono essere dimensionati in base alla frequenza di emissione, al calcolo delle portate di scoperta e alla massima velocità relativa prevista. L'elaborazione dei segnali dell'eco deve essere fatta in bande di frequenza molto strette, centrate attorno alla frequenza di emissione; i filtri che stabiliscono la banda di lavoro devono precedere il sistema di fasci preformati in modo da liberare il segnale da gran parte del disturbo presente fuori della banda delle frequenze interessate.

Il trasmettitore viene dimensionato partendo dalla potenza richiesta e dalle caratteristiche elettriche della base degli emettitori.

Il gruppo funzionale del trasmettitore che richiede più attenzione nella fase di progetto è l'amplificatore di emissione.

Le elevate potenze elettriche richieste da questo organo, necessarie per ec-

citare adeguatamente la base degli emettitori, lo rendono facilmente soggetto ad avaria se non si prendono le dovute precauzioni con un'apposita rete di sicurezza. La rete deve stabilire, all'istante, quando le correnti elettriche circolanti nell'amplificatore tendono a superare i limiti di sicurezza ed in tal caso deve comandare un dispositivo che stacchi le tensioni di alimentazione in modo da assicurare l'integrità dei componenti che costituiscono l'amplificatore stesso.

Molta cura deve essere posta nel corretto accoppiamento tra l'amplificatore di potenza e la base degli emettitori per trasferire in acqua l'energia acustica prevista. Questa non deve comunque superare i limiti imposti dalle dimensioni della base se non si vuole che nelle superfici di contatto tra gli emettitori acustici e l'acqua si formi, per effetto della cavitazione, una zona gassosa che impedisce all'energia meccanica degli elementi vibranti di trasferirsi nell'acqua.

I restanti gruppi funzionali del trasmettitore (generatore di impulsi e sistema per l'emissione direttiva) vengono progettati in base alle richieste formulate nelle specifiche tecniche ed alle necessità imposte dalle caratteristiche dell'amplificatore di trasmissione.

### **12.13) Dispositivi per la verifica funzionale del sonar.**

Per garantire un funzionamento ottimale del sonar è necessario che esso sia dotato di numerosi dispositivi per la verifica continua e periodica degli elementi che contribuiscono alla costanza dei suoi parametri essenziali. Questi organi di controllo sono gestiti da un sistema computerizzato in grado di valutare i dati che emergono da essi, per adottare gli opportuni provvedimenti ed avvisare l'operatore sullo stato delle funzioni controllate e sui provvedimenti presi.

I controlli più comuni devono essere eseguiti, in continuità, su tutte le tensioni che alimentano i circuiti del sonar onde evitare che alterazioni di esse si ripercuotano negativamente su alcune prestazioni del complesso di localizzazione.

Se durante questo tipo di verifica emerge qualche anomalia, il sistema computerizzato dispone la sostituzione automatica dell'elemento in avaria grazie alla ridondanza prevista nell'alimentatore generale. Contemporaneamente, mediante scritte luminose, che compaiono sul cofano presentazione, viene informato l'operatore che una determinata avaria è in atto e deve essere riparata.

I controlli a carattere periodico devono essere attuati per la verifica delle

precisioni delle componenti del sonar.

Per il controllo automatico delle componenti passive sono previsti sistemi di simulazione statica in grado di generare, all'interno del sonar, delle tensioni particolari che, opportunamente applicate agli amplificatori, in alternativa ai segnali provenienti dalle basi idrofoniche, producono gli stessi effetti prodotti dai bersagli. Ciò significa che quando i simulatori sono inseriti dall'operatore, compaiono sugli schermi video le tracce di diversi bersagli "sintetici" posti su direzioni costanti e predeterminate, che possono essere collimate per verificare la precisione delle componenti passive.

I simulatori devono consentire, secondo lo stesso principio, anche il controllo della precisione dei sistemi a compensatore.

Se nella fase di controllo risulta qualche differenza rispetto ai valori di precisione aspettati, l'operatore, con l'aiuto del sistema computerizzato, può cercare di individuare le cause degli errori.

Nella serie dei dispositivi di controllo deve essere impiegato anche un sistema di simulazione dinamico che, similmente a quello statico, introduce delle tensioni che producono sugli schermi del sonar le tracce di alcuni bersagli che seguono diverse evoluzioni angolari. Questo dispositivo, che è molto complesso, è indispensabile per il controllo dei sistemi di inseguimento automatico dei bersagli.

Per il controllo della funzionalità della componente attiva del sonar è necessario impiegare un altro tipo di simulatore che, sempre secondo gli stessi principi, è in grado di far comparire sullo schermo video un'eco sintetica su direzione e distanza predeterminata. Su questa eco l'operatore controlla tanto la precisione di misura in direzione quanto quella in distanza ed inoltre verifica il buon funzionamento del sistema per la valutazione della velocità relativa.

#### **12.14) Affidabilità del sonar.**

Il sonar, date le sue peculiari caratteristiche, rappresenta uno dei cardini fondamentali per la sicurezza della navigazione del sommergibile.

Per questa ragione la sua affidabilità deve essere spinta al massimo livello possibile compatibilmente con lo stato dell'arte.

Questo obiettivo si raggiunge seguendo due diversi indirizzi egualmente importanti: il primo riguarda le azioni da intraprendere durante la fase di progetto, il secondo riguarda la realizzazione ed il collaudo dell'apparato.

---

Il progetto di tutte le parti elettriche ed elettroniche deve essere sviluppato

prevedendo l'impiego di componenti altamente qualificati per il funzionamento in condizioni ambientali difficili.

I circuiti elettronici devono essere dimensionati in modo da ridurre al massimo la dissipazione di calore che è fonte principale di molte avarie, inoltre è consigliabile, per una maggior durata dei componenti, che le tensioni di alimentazione degli stessi siano sensibilmente inferiori a quelle nominali prescritte dai costruttori. Per quanto è possibile, in relazione alle dimensioni dell'apparato, è opportuno che alcune funzioni tra le più importanti, dalle quali dipendono molte altre, siano ridondanti.

---

Il progetto delle basi idrofoniche e di quelle degli emettitori deve prevederne la realizzazione secondo norme severissime che garantiscano le normali prestazioni, per lunghissimi periodi di tempo, nel mezzo per cui sono destinate (il mare).

---

La costruzione del sonar richiede anzitutto un'accurata selezione dei componenti in base a rigide specifiche stabilite da apposite normative di controllo delle qualità; con questa procedura vengono scartati a priori quei componenti che si trovano ai limiti delle loro caratteristiche normali, viene quindi eseguito il loro accurato montaggio e successivo collaudo, esteso al massimo delle prestazioni ottenibili.

Le parti funzionali soggette a rialzi termici vengono sistemate nella struttura portante, in modo che esse non provochino il riscaldamento di altre parti a funzionamento freddo.

I circuiti soggetti a tensioni elevate, quali alimentatori, sistemi di presentazione video, trasmettitori, subiscono accurati controlli per verificarne la rispondenza ai requisiti di isolamento, durata e sicurezza.

Le stecche delle basi idrofoniche e quelle degli emettitori subiscono controlli che simulano le difficili condizioni ambientali a cui vengono sottoposti durante il funzionamento in mare.

Dopo l'esecuzione di tutti i controlli preliminari sui componenti che costituiscono l'apparato, questo subisce un collaudo di insieme che investe, oltre la sua funzionalità generale, anche l'affidabilità. Mediante sollecitazioni termiche, protratte nel tempo, si effettua un'operazione detta di "bruciatura", durante la quale emergono e vengono eliminate particolari avarie, dovute a quei componenti che, nonostante i severi controlli a cui sono stati sottoposti, si trovano al limite di affidabilità.

Se si considera che un sonar di medie prestazioni richiede, per la sua co-

struzione, circa trecentomila componenti tra elettrici, elettronici e meccanici, ci si rende conto quale impegno rappresenti per i progettisti ed i costruttori garantire le doti di affidabilità necessarie per assicurare al sommergibile la dovuta sicurezza di navigazione subacquea.

### **12.15) Scelte delle tecnologie costruttive.**

Come già accennato al paragrafo 4.3 l'elaborazione dei segnali ricevuti dal sonar può essere eseguita, oltre che con tecnologie analogiche anche con l'impiego di sistemi computerizzati che sono in grado di offrire notevoli facilitazioni operative di simulazione e di diagnostica.

Dal punto di vista della capacità di scoperta dei bersagli però, a parità di caratteristiche delle basi idrofoniche, un sistema sonar digitale sarà più efficiente di un sistema su base analogica soltanto se potrà offrire, rispetto a quest'ultimo, un migliore Differenziale di Riconoscimento.

## APPENDICE

### **Note bibliografiche**

Per il lettore che ha seguito questo lavoro e desidera approfondire gli argomenti trattati affrontando lo studio da un punto di vista tecnico-scientifico è necessaria la seguente precisazione: gli argomenti relativi alle parti che compongono il sonar, quali i sistemi elettronici per l'elaborazione dei segnali, i sistemi di presentazione, gli idrofoni, le basi idrofoniche, i dispositivi elettromeccanici per l'orientamento dei fasci direttivi e altri sistemi accessori, non sono oggetto di pubblicazioni tecniche indirizzate al pubblico, dato che generalmente sono compresi nell'area della riservatezza militare e industriale. Sono invece disponibili numerose pubblicazioni che trattano scientificamente i principi fondamentali su cui si basano i sistemi di localizzazione subacquea, tra questi citiamo:

#### - Acustica Subacquea -

G. Paziienza: Fondamenti della Localizzazione Sottomarina.  
(Studio Grafico Restani - La Spezia - 1970)

A. De Dominicis: Principi di Elettroacustica Subacquea.  
(Elettronica San Giorgio - Genova - 1990)

Vernon M. Albers: Underwater Sound-Benchmark Papers in Acoustics.  
(Dwden, Hutchison, Ross, Inc. - 1972)

R. J. Urick: Principles of Underwater Sound  
(Mc graw-Hill, Inc. - 1983)

Vernon M. Albers: Underwater Acoustic Handbook  
(The Pennsylvania State University - 1960)

J. W. Horton: Fundamentals of Sonar  
(United States Naval Institute - Annapolis - 1959)

P. Sabathé - L. Guieysse: Acoustique Sous-Marine  
(Dunod - Paris - 1964)