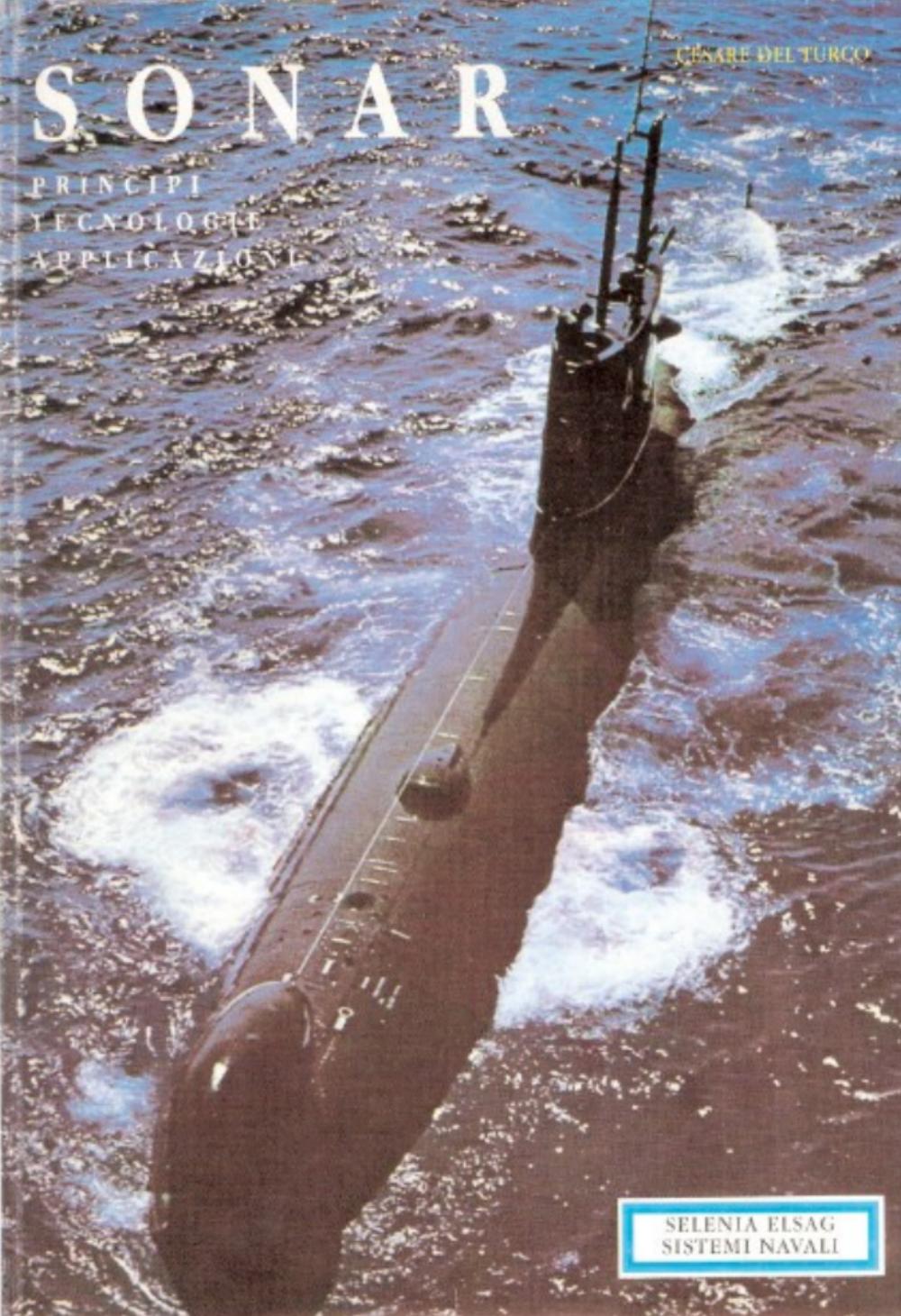


CESARE DEL TURCO

SONAR

PRINCIPI
TECNOLOGIE
APPLICAZIONI



SELENIA ELSAG
SISTEMI NAVALI

INDICE

CAPITOLO 1 – Sul sonar in generale	13
1.1 Descrizione dell'insieme	13
1.2 Bersagli del sonar	15
1.3 Importanza della localizzazione nella navigazione dei sommersibili	16
1.4 Visualizzazione dei bersagli	18
1.5. Distanza e precisione di localizzazione di un bersaglio attivo	19
1.6 Distanza e precisione di localizzazione di un bersaglio passivo	20
1.7 Costituzione dell'apparecchiatura sonar	21
1.7.1 Componenti del sonar per la localizzazione dei bersagli attivi	21
1.7.1.1 La base idrofonica	21
1.7.1.2 Il cofano-amplificatori	23
1.7.1.3 Il cofano elaborazione e il cofano presentazione	24
1.7.2 Componente del sonar per la localizzazione dei bersagli passivi	26
1.7.2.1 Il cofano-trasmettitore	26
1.7.2.2 Gli emettitori elettroacustici	27
1.7.2.3 Il sistema per la ricezione degli echi	27
1.8 Complementi del sonar	27
1.8.1 Le basi idrofoniche trainate	27
1.8.2 Il sonar come mezzo di comunicazione	29
1.8.3 Il sonar come mezzo di intercettazione	30
1.8.4 La componente per la misura della distanza	30
1.9 Piccoli sistemi sonar	32
1.9.1 La sonoboa	32
1.9.2 Il siluro con il sonar	34
CAPITOLO 2 – Sensori ed emettitori acustici	36
2.1 Note sullo sviluppo tecnologico	36
2.2 Gli idrofoni piezoelettrici ceramici	38
2.3 Emettitori elettroacustici	40
2.4 Le caratteristiche di direttività degli idrofoni	42
2.5 Dipendenza delle caratteristiche degli idrofoni dalla frequenza	45
2.6 La stazione lacuale per il collaudo degli idrofoni	48
CAPITOLO 3 – Caratteristiche delle basi idrofoniche	52
3.1 Osservazioni sulle tensioni idrofoniche	52
3.2 Direttività verticale di una base ricevente	54
3.3 Le stecche idrofoniche	55

3.4 Direttività verticale di una base di emettitori	59
3.5 Stecche di emettitori	60
3.6 Geometrie delle basi riceventi	62
3.7 La direttività orizzontale delle basi riceventi	65
3.8. Orientamento delle caratteristiche di direttività	66
3.9. Geometrie e direttività delle basi di emettitori	70
3.10 L'influenza dei lobi secondari	72
3.11 La misura della direzione con i fasci orientati	76
3.12 Risoluzione angolare	79
CAPITOLO 4 – Principi, sistemi e metodologie per la localizzazione subacquea passiva	83
4.1 La misura della direzione come ritardo temporale	83
4.2 I metodi per la misura del tempo di ritardo delle tensioni idrofoniche	87
4.3 Sistemi per ritardare le tensioni idrofoniche	90
4.4 Sistemi per l'orientamento di un fascio direttivo	94
4.4.1 Generalità	94
4.4.2 Comportamento acustico della base circolare	95
4.4.3 Il sistema a compensatore per l'orientamento del fascio	96
4.4.4 Il metodo della differenza per l'orientamento del compensatore	99
4.5 Sistemi a fasci preformati	101
4.6 Misura della quota del bersaglio mediante il rilievo dell'angolo di sito	110
4.7 Misura della distanza dei bersagli attivi	113
4.8 Configurazione della componente passiva del sonar	117
CAPITOLO 5 – Principi, sistemi e metodologie per la localizzazione subacquea attiva	124
5.1 L'eco del bersaglio	124
5.2 La misura della direzione con il metodo dell'eco	124
5.3 Principi di misura della distanza dei bersagli passivi	127
5.4 Fasci preformati nel sonar attivo (misura della direzione e della distanza)	129
5.5 Ascolto dell'eco del bersaglio	132
5.6 Misura della velocità relativa bersaglio-sommergibile	134
5.7 Modi di trasmissione degli impulsi acustici	136
5.8 Configurazione della componente attiva del sonar	139
CAPITOLO 6 – Localizzazione dei bersagli con l'intercettatore	142
6.1 Prestazioni dell'intercettatore	142
6.2 Configurazione della componente intercettatore	142

CAPITOLO 7 – Riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo	145
7.1 Sui metodi di riconoscimento dei segnali	145
7.2 Ascolto diretto dei rumori irradiati dai bersagli	146
7.3 Sistemi di rivelazione e filtraggio	148
7.4 Sistemi di correlazione	154
7.4.1 Principi basilari	154
7.4.2 Confronto tra i metodi di rivelazione e correlazione	155
7.4.3 Il correlatore analogico	157
7.4.4 Il correlatore digitale	161
7.4.5 L'anticorrelatore	164
7.4.6 Osservazioni sull'impiego dei metodi di correlazione	166
7.4.7 Il differenziale di riconoscimento	168
CAPITOLO 8 – Il disturbo	170
8.1 Origini e caratteristiche dei disturbi dell'ambiente subacqueo	170
8.1.1 La natura dei disturbi	170
8.1.2 Il disturbo termico	170
8.1.3 Il disturbo dovuto alle onde	171
8.1.4 Il disturbo causato da organismi marini	174
8.1.5 Il disturbo del traffico marittimo e delle attività industriali	178
8.2 Caratteristiche dei disturbi generati dal battello	178
8.2.1 I disturbi provocati dalle macchine	178
8.2.2 I disturbi elettrici	179
8.2.3 I disturbi di natura elettronica	179
8.2.4 I disturbi generati dal movimento del battello	181
8.3 Osservazioni sul rapporto tra il segnale e il disturbo	182
8.4 Come si presenta il disturbo all'operatore del sonar	183
CAPITOLO 9 – I segnali ricevuti dal sonar	184
9.1 Il segnale idrofonico	184
9.1.1 Le sorgenti del segnale	184
9.1.2 Caratteristiche di radiazione del bersaglio	184
9.1.3 I livelli dei segnali idrofonici	185
9.2 Il segnale eco	188
9.2.1. Caratteristiche dell'eco	188
9.2.2 Livelli del segnale d'eco	191
CAPITOLO 10 – Propagazione del suono in mare	194
10.1 Le forme normali di propagazione	194
10.2 Le cause dell'attenuazione per propagazione	194
10.3 Propagazione anomala del suono	200

10.4 Le traiettorie dei raggi sonori	202
10.5 Esempi caratteristici della propagazione anomala	206
10.6 La propagazione per riflessione sul fondo	215
10.7 Sui modi di propagazione in generale	217
10.8 Gli effetti collaterali della propagazione anomala	219
10.9 Le previsioni delle portate operative	220
CAPITOLO 11 - La riverberazione	221
11.1 Origini del fenomeno	221
11.2 Inconvenienti provocati dalla riverberazione	222
11.3 Il livello della riverberazione	223
11.4 Metodi per minimizzare l'effetto della riverberazione	224
CAPITOLO 12 - Cenni sul progetto del sonar	228
12.1 Criteri generali	228
12.2 La definizione delle basi idrofoniche	228
12.3 Valutazione delle massime distanze di scoperta con la componente passiva	230
12.4 Valutazione delle massime distanze di scoperta con la componente attiva	231
12.5 Il diagramma dei livelli	231
12.6 Dimensionamento degli amplificatori	232
12.7 Indicazioni per lo sviluppo dei sistemi a compensatore	233
12.8 Note sui sistemi a fasci preformati	234
12.9 Sistemi di comando e controllo del sonar	236
12.10 La scelta del tipo di presentazione video	238
12.11 L'alimentatore delle componenti passive del sonar	242
12.12 Osservazioni sul progetto della componente attiva	243
12.13 Dispositivi per la verifica funzionale del sonar	244
12.14 Affidabilità del sonar	245
12.15 Scelte delle tecnologie costruttive	247
APPENDICE - Note bibliografiche	248



Capitolo 1

Sul sonar in generale

1.1) Descrizione dell'insieme.

Il SONAR * è una macchina elettronica collegata ad uno o più sistemi di sensori acustico - subacquei. Esso consente la localizzazione e l'identificazione di una o più unità navali (bersagli), siano esse di superficie o subacquee; il suo funzionamento si basa sulla propagazione delle onde acustiche in mare. L'apparato può essere installato indifferentemente sulle navi o sui sommergibili, la sua struttura tipica è mostrata in Fig. 1.1.

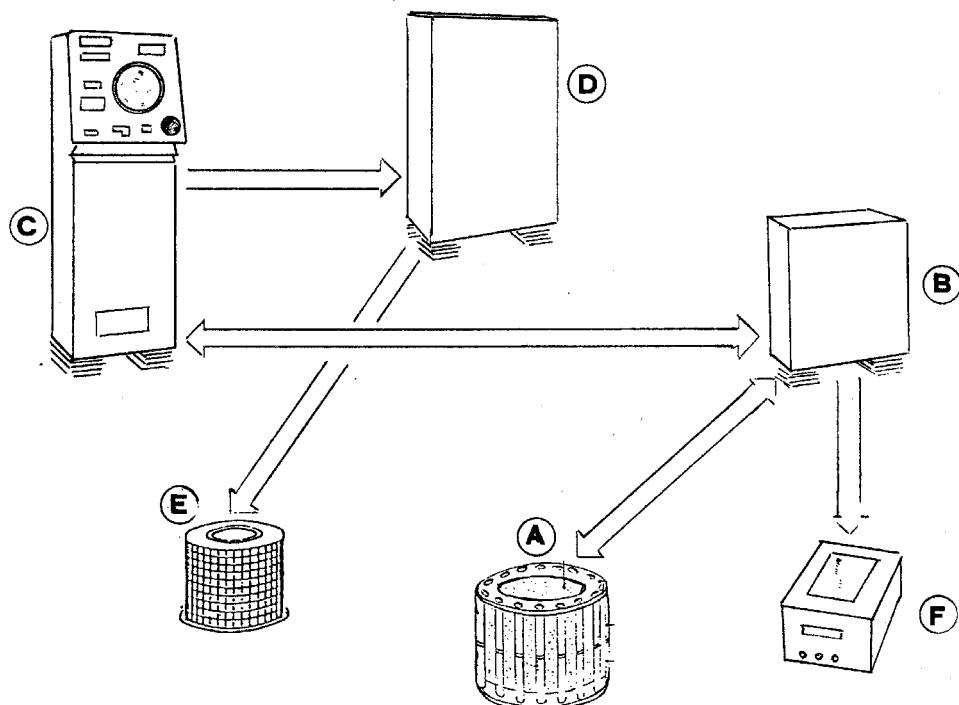


fig. 1.1 Struttura tipica di un sonar.

Essa comprende: un sistema di sensori elettroacustici riceventi A), un cofano di amplificazione ed elaborazione B), un complesso di presentazione e controllo C), un cofano trasmettitore D), un sistema di emettitori elettroacustici E) e un dispositivo di registrazione F). Questo insieme è diviso

*La dizione SONAR deriva dall'acronimo anglosassone SOund NAVigation and Ranging, che tradotto significa: navigazione e localizzazione con il suono.

in due parti funzionali: la componente passiva e la componente attiva; con la prima si localizzano i bersagli che emettono rumore, con la seconda si localizzano i bersagli con il metodo dell'eco.

Il sistema di sensori riceventi, detto base idrofonica è collocato all'esterno del battello in modo da restare completamente sommerso.

I rumori, irradiati dalle unità in navigazione, si propagano in mare e le onde acustiche colpiscono i sensori della base idrofonica. Essi, eccitati meccanicamente dalle onde acustiche, generano delle deboli tensioni elettriche che sono proporzionali all'eccitazione meccanica ricevuta.

Il cofano di amplificazione ed elaborazione riceve dagli elementi della base idrofonica le deboli tensioni elettriche prodotte, genericamente dette segnali idrofonici, e ne amplifica il livello in modo da renderle idonee per la successiva fase di trattamento.

I segnali idrofonici amplificati sono applicati al gruppo di elaborazione, questo estrae tutte le informazioni contenute in essi per fornirle al sistema di presentazione.

Il complesso di presentazione e controllo consente all'operatore del sonar di eseguire le azioni di localizzazione e di classificazione dei bersagli. Egli può vedere, su di uno schermo simile a quello televisivo, la rappresentazione topografica dello scenario subacqueo, nella quale si evidenziano, con strisce o archi luminosi, le posizioni dei bersagli. Agendo sugli appositi comandi l'operatore può collimare una marca luminosa sulle tracce dei bersagli ottenendo, su appositi indicatori numerici, i dati che consentono la localizzazione.

Il cofano trasmettitore è impiegato per la generazione dell'energia necessaria per la localizzazione dei bersagli che, non emettendo rumore, devono essere scoperti con il metodo dell'eco. Il trasmettitore produce impulsi di energia elettrica che vengono applicati al sistema di emettitori elettroacustici.

Il sistema di emettitori è collocato all'esterno del battello in modo da restare completamente sommerso. Gli impulsi di energia elettrica applicati agli emettitori acustici provocano la vibrazione di questi e la conseguente eccitazione delle particelle d'acqua circostanti. Si ha in questo modo la produzione di onde acustiche che si propagano in mare fino a colpire il bersaglio, questo riflette parte dell'energia acustica che lo ha colpito verso l'origine, dove viene captata e convertita in segnali elettrici dalla base ricevente.

Il dispositivo di registrazione consente il tracciamento continuo, su appo-

sito nastro di carta, delle evoluzioni di un bersaglio, scelto dall'operatore tra quelli localizzati dal sonar.

Il sonar ora brevemente descritto rappresenta una configurazione delle più semplici tra quelle oggi impiegate; tuttavia i sonar più sofisticati sono costituiti con strutture simili a quella descritta, perchè il loro funzionamento segue gli stessi principi fisici a cui si ispirano tutti i sistemi di localizzazione subacquea.

1.2) Bersagli del sonar.

I bersagli possono essere indifferentemente: navi, sommergibili, siluri in corsa, sopraelevazioni del fondo marino, isole, coste e si possono dividere in due classi:

classe dei bersagli passivi, quelli che per loro natura o per intendimento dell'uomo non irradiano rumori in mare;

classe dei bersagli attivi, quelli che irradiano rumore in mare.

Nella prima classe si possono collocare: navi alla fonda, sommergibili naviganti in assetto particolarmente silenzioso, isole e coste.

Nella seconda classe si possono collocare: navi in movimento, navi ferme con macchinari in moto, sommergibili in normale navigazione, siluri ecc. Il sonar localizza e identifica i bersagli in due modi differenti in dipendenza dell'appartenenza di questi ad una classe o all'altra; per la localizzazione e la identificazione dei bersagli passivi esso utilizza energia acustica propria, in modo da provocare una riflessione parziale di questa da parte del bersaglio, che così viene rivelato (metodo dell'eco). In questo tipo di impiego il sonar utilizza la sua "componente attiva". Per la localizzazione e l'identificazione dei bersagli attivi esso utilizza il rumore irradiato naturalmente da questi, nel far ciò adopera la sua "componente passiva".

Il sonar non può operare contemporaneamente con la componente attiva e con quella passiva, ma con opportuni accorgimenti può realizzare una quasi contemporaneità dei due modi operativi.

Il sonar installato su di una nave è prevalentemente orientato al funzionamento attivo, poichè i rumori provocati dalle macchine non consentono che esso possa captare agevolmente il rumore irradiato naturalmente dai bersagli.

Il sonar installato su di un sommergibile è prevalentemente orientato al funzionamento passivo per due ragioni fondamentali: la prima è dovuta al fatto che il sommergibile, se impiegasse il funzionamento attivo, emettendo energia acustica in mare, sarebbe facilmente individuabile, mentre il

suo scopo precipuo è quello di passare inosservato; la seconda è dovuta al fatto che il sommergibile può silenziare il suo assetto e quindi porsi in condizioni ottimali per captare il rumore irradiato naturalmente dai bersagli. Il sommergibile impiega la componente attiva del sonar soltanto in casi eccezionali: durante la navigazione, in tempo di pace, se non è comandato ad effettuare opera di sorveglianza dello spazio subacqueo e durante le fasi critiche di attacco al bersaglio nemico, quando ormai è indispensabile correre il rischio.

Nelle pagine seguenti verrà posta l'attenzione esclusivamente alle problematiche relative ai sonar installati a bordo di sommergibili ed ai piccoli sonar, perché questi argomenti offrono un'ampia visione sui sistemi di localizzazione passiva.

1.3) Importanza della localizzazione nella navigazione dei sommergibili.

La localizzazione subacquea dei bersagli ha un ruolo fondamentale nella navigazione in immersione di un sommergibile, sia che la navigazione avvenga per scopi di spostamento, sia che avvenga per scopi di sorveglianza o attacco.

La posizione dell'unità nello spazio subacqueo può presentarsi nei più svariati aspetti, nella Fig. 1.2/a è indicata un'ipotetica situazione in cui il sommergibile indicato con la lettera a) è il protagonista, mentre gli altri elementi indicati con le lettere b), c), d), sono i bersagli.

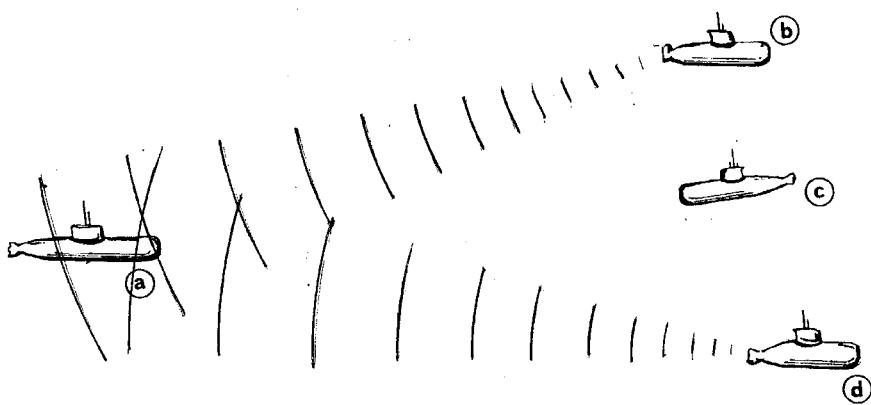


fig. 1.2/a Bersagli attivi

I bersagli b) e d) sono considerati attivi e il rumore da loro emesso è indicato sotto forma di archi di cerchio che si allontanano da essi verso il sommersibile, il bersaglio c) è passivo e non irradia rumore.

Se il sommersibile a), per non farsi scoprire, impiega nella ricerca la sola componente passiva del sonar, localizza soltanto i bersagli b) e d) e non rileva la presenza di c).

La situazione ora esaminata può essere modificata per necessità operative qualora il sommersibile debba localizzare tutti i possibili bersagli presenti nella zona, siano questi attivi o passivi. In questo caso il sommersibile a) impiega nella ricerca la componente attiva del sonar anche se ciò denuncia la sua presenza.

Nella Fig. 1.2/b è illustrata la nuova situazione, gli impulsi di energia acustica emessi dal sommersibile per produrre gli echi sono indicati sotto forma di ampi archi di cerchio che si allontanano da esso, gli echi di ritorno sono indicati sotto forma di piccoli archi di cerchio che si staccano dai bersagli.



fig. 1.2/b Bersagli passivi

In figura non sono tracciati gli archi che mostrano i rumori irradiati naturalmente da b) e d) dato che in questo modo operativo non sono utilizzati dal sonar.

In entrambe le situazioni esaminate il sommersibile a) rileva con notevole precisione la posizione dei bersagli scoperti, localizzandoli angolarmente, sia nel piano orizzontale, sia in quello verticale.

È facile intuire che l'importanza di questi rilievi è fondamentale per il som-

mergibile, in quanto rappresentano l'unico mezzo con il quale esso può spostarsi agevolmente nello spazio subacqueo, senza correre il rischio di urtare altri corpi immersi sia immobili che in navigazione, inoltre la localizzazione rende possibile al sommersibile l'emersione senza il pericolo di trovarsi sulla traiettoria o, quanto peggio, sulla chiglia di una nave.

Dal punto di vista tattico la localizzazione sonar costituisce un supporto importantissimo, tanto nelle operazioni di controllo dei mari nazionali, quanto nelle operazioni di difesa-offesa.

Il sonar associa la funzione di localizzazione con la funzione di identificazione dei bersagli. L'identificazione consente di stabilire, come vedremo in seguito, le caratteristiche più salienti dei bersagli, quali ad esempio la lunghezza, la velocità, il tipo di propulsione ed altri elementi che permettono di conoscere la classe della nave o del sommersibile oggetto della localizzazione.

1.4) Visualizzazione dei bersagli.

Dopo aver esaminato le caratteristiche dei bersagli vediamo come questi sono visualizzati all'operatore sul cofano di presentazione e controllo. A tal fine consideriamo il teatro di operazioni disegnato in Fig. 1.3, il sommersibile protagonista si trova in immersione in una zona di mare, tra coste ed isole, nella quale sono presenti due navi in movimento.

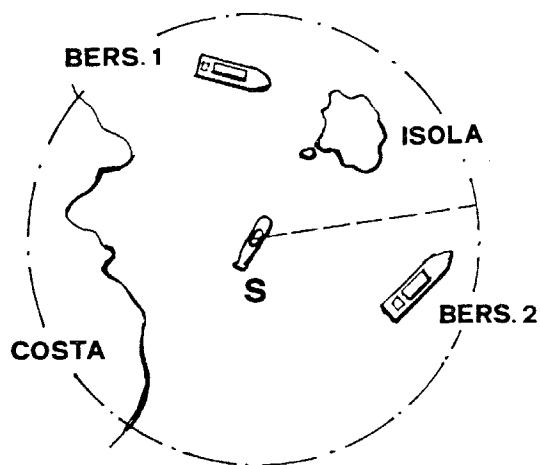


fig. 1.3 Teatro operativo

Dato che tutti i rilievi angolari del sonar sono effettuati facendo riferimento al sommersibile, esso diventa il centro della geometria della zona. Infatti, se tracciamo un cerchio facendo centro su S, tutto ciò che in esso è compreso sarà visualizzato sullo schermo circolare di presentazione con riferimento al punto centrale di questo, che rappresenta il sommersibile.

Nello schermo del sonar compaiono tracce diverse in dipendenza del suo modo operativo. Se si lavora in attivo gli echi di tutti i bersagli compaiono sullo schermo sotto forma di piccoli segmenti luminosi che delineano la topografia della zona circostante il battello, che compare come un punto luminoso al centro. Un raggio luminoso è fatto ruotare dall'operatore per collimare i bersagli.

Questo tipo di presentazione, con riferimento alla situazione di Fig. 1.3 è mostrato in Fig. 1.4.

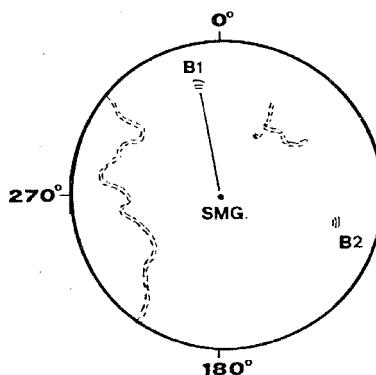


fig. 1.4 Presentazione bersagli passivi

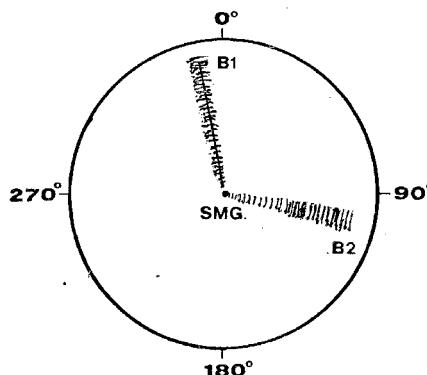


fig. 1.5 Presentazione bersagli attivi

Se il sonar lavora in passivo, i rumori irradiati dai bersagli compaiono sullo schermo sotto forma di tracce radiali che indicano la direzione di provenienza del suono rispetto al battello, che compare come un punto luminoso al centro. Anche in questo caso è presente l'indice luminoso per collimare i bersagli. Questo tipo di presentazione, con riferimento alla situazione di Fig. 1.3, è mostrato in Fig. 1.5.

1.5) Distanza e precisione di localizzazione di un bersaglio attivo.

In condizioni favorevoli, e vedremo più avanti quali sono, la capacità di "scoperta" di un sonar in funzionamento passivo si può stimare tra i quaranta e gli ottanta chilometri. Abbiamo parlato di "scoperta" e non di localizzazione del bersaglio perchè a grandi distanze è difficile una misura accurata della posizione angolare del bersaglio nel piano orizzontale, non parliamo poi dell'impossibilità di misurare la posizione angolare nel piano verticale.

Facciamo un semplice esempio con riferimento alla Fig. 1.6, in essa, che rappresenta una sezione orizzontale dello spazio subacqueo, è indicato il

sommegibile a) durante la fase di scoperta del bersaglio attivo b).

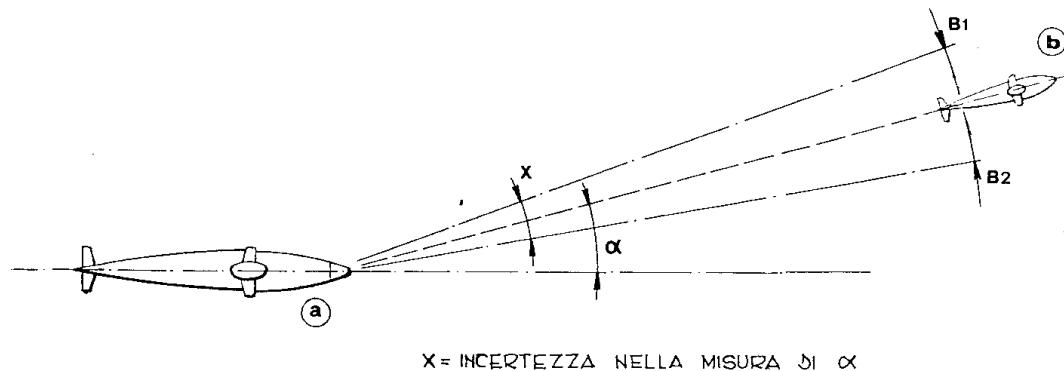


fig. 1.6 Precisione angolare di localizzazione

Supponiamo che la distanza tra a) e b) sia di 40 km e che l'incertezza nella misura dell'angolo α sia di 1.5° : in tali condizioni l'ampiezza dell'arco B1 – B2, in ogni parte del quale può essere indifferentemente posizionato il bersaglio, dal calcolo risulta essere dell'ordine di 1 km; in questa situazione l'impiego del sonar può sembrare inutile, ma non è così. Se si considera che la velocità di spostamento di un bersaglio può essere mediamente di 40 km/h e che se questo muove verso il sommersibile devono trascorrere almeno 30 minuti prima che la distanza si riduca dai 40 km iniziali a 20 km, si intuisce che in questo sensibile intervallo di tempo la situazione si evolve. Infatti, a mano a mano che il bersaglio si avvicina, l'arco B1 – B2 diventa sempre più piccolo, sia perché la distanza decresce, sia perché si riduce l'incertezza nella misura di α ed il sonar stabilisce con molta precisione la posizione del bersaglio. Si può dire, in questo caso, che il tempo fa il gioco del sonar.

La scoperta di bersagli molto lontani, anche con sensibili incertezze nella loro localizzazione, rappresenta pertanto un elemento di primaria importanza per la sicurezza e l'operatività del battello.

1.6) Distanza e precisione di localizzazione di un bersaglio passivo.

Le portate di scoperta di un sonar in funzionamento attivo sono subordinate alla quantità di energia acustica che il sonar emette per ottenere l'eco del bersaglio. Oltre certi limiti, aumentare l'energia emessa implica l'utilizzo di apparecchiature e di emettitori acustici le cui dimensioni non si adattano a tutti i sommersibili.

Questo fatto rende molto variabile la massima portata di scoperta che, in

condizioni favorevoli, è sensibilmente inferiore a quella ottenuta con la componente passiva.

La precisione di scoperta di un sonar in funzionamento attivo, nell'ambito delle distanze di normale operazione, è paragonabile a quella che si può ottenere in passivo.

Naturalmente la prudenza consiglia, per quanto possibile, di non emettere energia acustica con il sonar, ma di cercare di intercettare l'energia acustica emessa dal bersaglio per i suoi fini di localizzazione; in questo modo le distanze di scoperta del bersaglio, diventato da passivo attivo, aumentano notevolmente.

1.7) Costituzione dell'apparecchiatura sonar.

Nei paragrafi seguenti descriveremo le parti che compongono un sonar simile a quello illustrato in Fig. 1.1. La funzione che ciascuna parte è chiamata a svolgere può essere realizzata con strutture diverse in dipendenza dalle caratteristiche richieste, perciò tali strutture rappresenteranno ipotetiche soluzioni tra le tante possibili.

1.7.1) Componente del sonar per la localizzazione dei bersagli attivi.

1.7.1.1.) La base idrofonica.

La base idrofonica è un sistema di sensori elettro-acustici, detti idrofoni che hanno il compito di captare i rumori irradiati dai bersagli e di trasformarli in tensioni elettriche. Essa è formata da sensori indipendenti l'uno dall'altro, che possono essere montati, ad esempio, secondo una geometria cilindrica così come mostrato in Fig. 1.7.

Ciascuna coppia di idrofoni, in figura 1.7, è disegnata come una barra a sezione circolare disposta verticalmente, essi sono collegati ad un cavo che trasporta le deboli tensioni elettriche provocate dalle onde acustiche.

In questa ipotetica struttura la base riceve, in egual misura, le onde acustiche provenienti da tutto l'arco dell'orizzonte e ciascuna coppia di idrofoni è adibita a riceverle da un settore ben determinato.

La parte centrale della base, sulla superficie della quale sono schierati gli idrofoni, è costruita con materiale che assorbe le onde acustiche in modo che quelle che colpiscono un idrofono non si propaghino all'altro, diametralmente opposto, che è preposto a ricevere il suono da un diverso settore.

Le onde acustiche che colpiscono gli idrofoni hanno intensità variabili in funzione di molti fattori, tra questi: le dimensioni e la velocità del bersaglio.

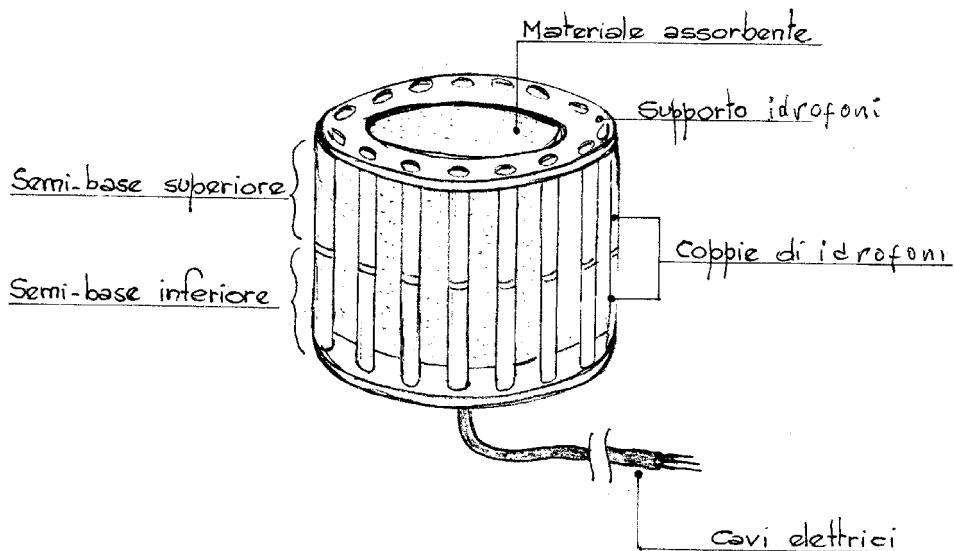


fig. 1.7 Base idrofonica ricevente

glio che le ha generate, la frequenza delle onde emesse, la distanza della sorgente e il modo di propagazione del suono nel mare. Si possono comunque quantizzare, indicativamente, i livelli minimi e massimi delle pressioni che colpiscono la base idrofonica.

I livelli minimi di pressione sono dell'ordine di 1/10 di microbar.

Per avere un'idea comparativa di questa grandezza con una simile, relativa ad un caso comune, basta pensare che la voce umana, in una conversazione normale, genera delle pressioni acustiche medie di circa 100 microbar.

Le tensioni elettriche, che si generano ai capi degli idrofoni sottoposti alle minime pressioni indicate, sono dell'ordine di qualche milionesimo di volt.

Nel caso di bersagli molto vicini i livelli di pressione che colpiscono gli idrofoni sono naturalmente molto più elevati, dai 10 ai 100 microbar, le tensioni corrispondenti intorno ad alcuni millesimi di volt.

Le tensioni generate dagli idrofoni sono applicate con cavi schermati al cofano degli amplificatori in modo da essere il più protette possibile dai disturbi presenti nel battello,

La base presa a modello, avendo idrofoni su tutta la circonferenza, consente la misura della direzione di provenienza del rumore irradiato dai bersagli su tutto il piano orizzontale (vedi Fig. 1.8/a).

La base che ha coppie di idrofoni indipendenti, montati sullo stesso asse, forma due semibasi circolari montate l'una sull'altra, la semibase inferiore e la semibase superiore (fig. 1.7); questo artificio, in via di principio, consente la misura della direzione di provenienza del rumore del bersaglio anche sul piano verticale (vedi Fig. 1.8/b).

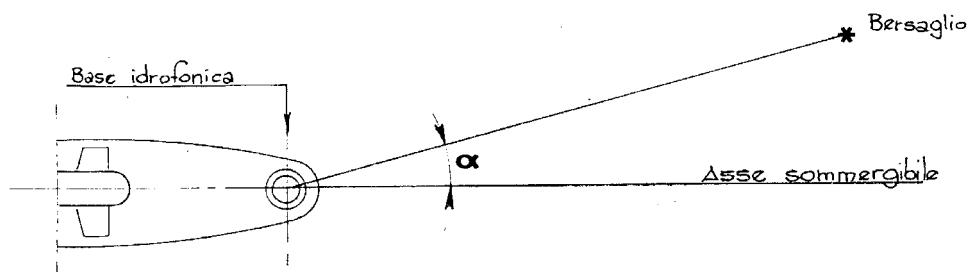


fig. 1.8/a Rilevamento sul piano orizzontale

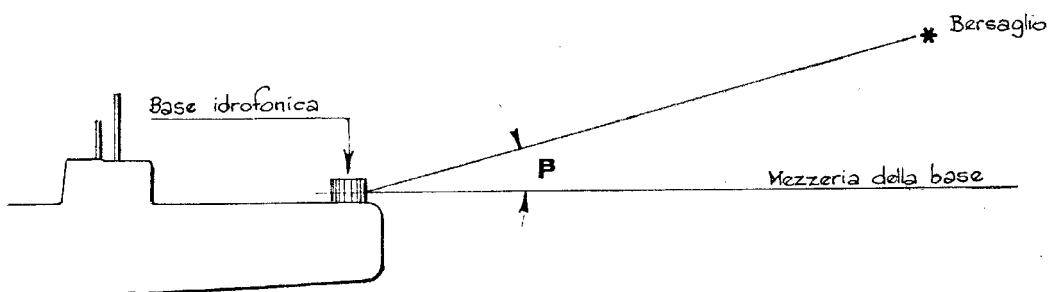


fig. 1.8/b Rilevamento sul piano verticale

1.7.1.2) Il cofano-amplificatori

Il cofano contiene tante schede elettroniche quanti sono gli idrofoni della base.

Ciascuna scheda riceve la tensione generata dal corrispondente idrofono ed opera su di essa tre trasformazioni successive, così come indicato schematicamente in Fig. 1.9.

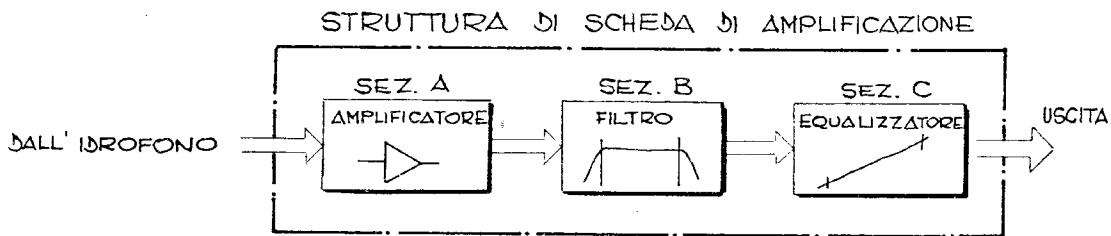


fig. 1.9 Ricevitore Sonar - scheda di amplificazione

Nella sezione A) la tensione dell'idrofono viene amplificata nell'ordine di diecimila volte per ottenere un livello accettabile ai fini della elaborazione seguente. Dato che i livelli delle tensioni idrofoniche sono molto piccoli, il rumore di fondo dell'amplificatore deve essere contenuto il più possibile per non inquinare. Questo fatto ha un'importanza fondamentale perché la localizzazione dei bersagli dipende dalla predominanza dei segnali sul disturbo.

Nella sezione B) le tensioni idrofoniche amplificate subiscono una modifica (filtraggio) del loro contenuto armonico, allo scopo di eliminare quella parte dello spettro delle frequenze che, in base alle caratteristiche di progetto del sonar, non è ritenuta utile ai fini della localizzazione.

Nella sezione C) le tensioni filtrate subiscono un'ulteriore alterazione dello spettro, le frequenze basse vengono attenuate rispetto a quelle più alte allo scopo di ridurre l'effetto dei disturbi presenti in mare che sono più intensi alle basse frequenze.

Questa alterazione dello spettro è detta "equalizzazione del disturbo".

Le tensioni in uscita dalle schede di amplificazione, che sono applicate al gruppo di elaborazione, saranno d'ora in poi chiamate "segnali".

1.7.1.3.) Il gruppo elaborazione e il cofano presentazione.

Il primo contiene le diverse unità di elaborazione necessarie al funzionamento del sonar, il secondo supporta gli organi di presentazione dei dati per l'interfaccia del sonar con l'operatore.

Il gruppo di elaborazione e l'unità di presentazione sono mostrati in Fig. 1.10.

Il gruppo di elaborazione riceve i segnali idrofonici provenienti dalle schede di amplificazione e da questi estrae le informazioni più significa-

- tive per la localizzazione e l'identificazione dei bersagli, in particolare:
- A) Direzione di ogni bersaglio presente nell'arco dell'orizzonte (misura a media precisione).
 - B) Direzione di un bersaglio scelto tra quelli presenti nell'arco dell'orizzonte (misura ad elevata precisione).
 - C) Quota di un bersaglio scelto tra quelli presenti nell'arco dell'orizzonte.
 - D) Timbro del rumore emesso da un bersaglio scelto come nei precedenti punti.
 - E) Distanza e velocità relativa di un bersaglio scelto come nei precedenti punti (informazione fornita dalla sola componente attiva del sonar).
- Le informazioni A) sono ricavate automaticamente dal sistema di ricerca dei bersagli nel piano orizzontale, blocco 1, e da qui sono inviate allo schermo video per la rappresentazione topografica dello scenario subacqueo.

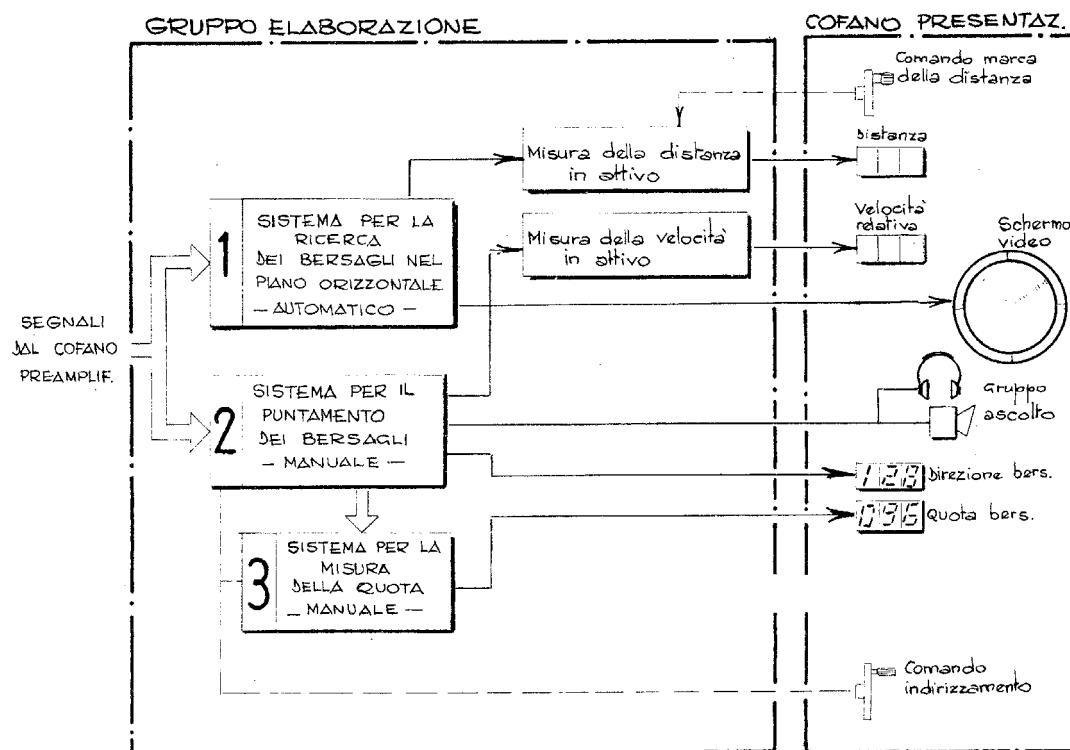


fig. 1.10 Ricevitore sonar - elaborazione e presentazione

Le informazioni B/C sono ricavate dai blocchi 2 e 3 mediante comando

dell'operatore che li indirizza sul bersaglio scelto, l'uscita dei blocchi è visualizzata su due indicatori numerici, posti sul cofano presentazione, nei quali si legge il valore preciso della direzione e la quota del bersaglio. Le informazioni D) sono ricavate sempre dal blocco 2 che viene indirizzato dall'operatore; una seconda uscita del blocco, collegata ad un altoparlante e ad una cuffia, consente all'operatore l'ascolto del rumore irradiato dal bersaglio.

Le informazioni E) si ottengono soltanto quando il sonar emette gli impulsi acustici (funzionamento attivo). La distanza viene ricavata dal blocco 1 facendo coincidere, manualmente, una marca luminosa sull'eco del bersaglio presentata sullo schermo video. A coincidenza effettuata l'operatore ha disponibile sull'apposito indicatore numerico il valore della distanza. La velocità relativa viene calcolata automaticamente ed è visualizzata su di un secondo indicatore numerico.

1.7.2) Componente del sonar per la localizzazione dei bersagli passivi.

1.7.2.1) Il cofano-trasmettitore.

Questa parte del sonar è utilizzata soltanto nella fase di funzionamento attivo; con essa si generano gli impulsi elettrici mediante i quali si eccita il sistema degli emettitori elettroacustici per l'invio dell'energia acustica in mare.

La struttura del trasmettitore è rappresentata in Fig. 1.11, in essa sono indicati i tre componenti principali:

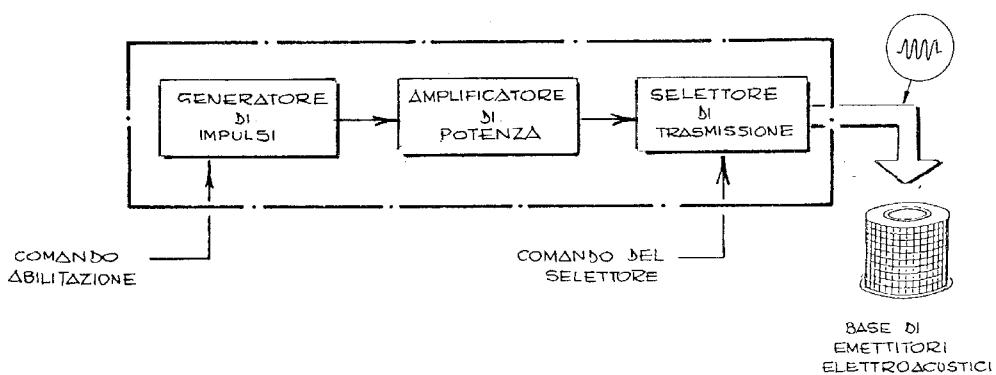


fig. 1.11 Trasmettitore sonar

Generatore di impulsi – Amplificatore di potenza – Selettore di trasmissione.

Il generatore riceve dal cofano presentazione l'abilitazione ad emettere gli impulsi e li trasferisce all'amplificatore di potenza. Gli impulsi emessi hanno durata, frequenza e ritmo di ripetizione, che sono stabiliti dalle caratteristiche operative del sonar.

L'amplificatore di potenza, ricevuti gli impulsi dal generatore, li fornisce al livello di tensione necessario per ottenere la voluta eccitazione degli emettitori elettroacustici.

L'entità della potenza elettrica fornita dipende dalle caratteristiche operative.

Il selettore di trasmissione riceve dall'operatore il comando per la scelta del modo di emissione, che può avvenire in tutto l'orizzonte subacqueo o su di un qualsiasi settore di questo.

1.7.2.2.) Gli emettitori elettroacustici.

Il sistema degli emettitori è formato da un supporto cilindrico sul quale sono inseriti, come in un mosaico, gli elementi vibranti (vedi Fig. 1.11). La base irradia gli impulsi acustici su tutto l'arco dell'orizzonte quando, su comando del selettore di trasmissione, gli elementi vibranti sono eccitati tutti contemporaneamente; irradia impulsi su di un settore stabilito quando il selettore comanda l'eccitazione dei soli elementi che interessano quel settore.

In questo modo è possibile dirigere l'emissione solamente in una direzione preferita concentrando in essa tutta l'energia disponibile: si aumenta così la distanza di localizzazione attiva e si riduce la probabilità che il sommersibile venga scoperto.

1.7.2.3.) Il sistema per la ricezione dell'eco.

Il sistema delegato alla ricezione degli echi dei bersagli è formato dalla stessa base idrofonica di fig. 1.7 con tutti i circuiti utilizzati per la ricezione dei segnali generati dai bersagli attivi già descritti nel paragrafo 1.7.1.3.

1.8) Complementi del sonar.

1.8.1) Basi idrofoniche trainate.

Nella fase di scoperta dei bersagli il sonar è ostacolato dai disturbi che

sono presenti in mare e da quelli prodotti dal battello su cui è installato. Naturalmente il settore più rumoroso del sommergibile è la parte di poppa, dove alloggiano le eliche; è per questa ragione infatti che le basi idrofoniche vengono montate sulla parte estrema di prua che è meno influenzata dalla turbolenza della propulsione. Resta comunque il fatto che i bersagli che si trovano nelle direzioni verso poppa sono scoperti con maggiore difficoltà a causa del disturbo che abbiamo menzionato.

I sommergibili nucleari, in particolare, disponendo di elevate potenze di propulsione e di turbine a vapore, provocano forti disturbi nelle zone poppiere sì da impedire la scoperta in tali settori. Per ovviare a questo grave inconveniente è stato adottato un sistema particolare di base idrofonica, che in ausilio a quella sul battello, viene trainata da questo a centinaia di metri di distanza in modo da consentire la captazione dei rumori irradiati dai bersagli anche nel settore di poppa.

Le basi trainate hanno forma rettilinea e sono collegate al sommergibile con cavi speciali, così come mostrato in Fig. 1.12.

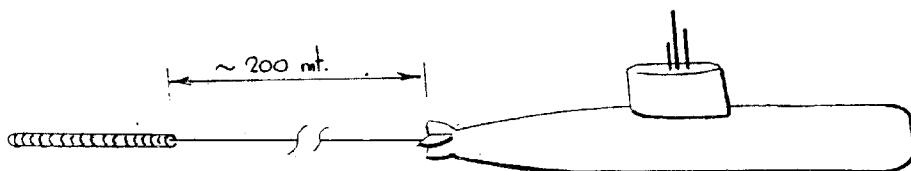


fig. 1.12 Sonar con base trainata

I segnali idrofonici della base, tanti quanti sono gli elementi che la costituiscono, raggiungono il sonar mediante un cavo elettrico a molti poli che è fissato alla fune del traino.

L'impiego di basi trainate di grandi dimensioni è reso possibile dalle avanzate tecnologie dei sonar che prevedono l'uso di potenti calcolatori per l'elaborazione dei segnali che provengono contemporaneamente dalle centinaia di sensori della base.

Molti fattori negativi dipendono dal traino e si ripercuotono sulla precisione di localizzazione, tra questi, ad esempio, l'assetto, non facilmente

prevedibile, e le oscillazioni dovute al moto ondoso: tutto ciò rende incerta la geometria della base.

Al di là di tutti i problemi resta la elevata capacità di questi sistemi ad effettuare la scoperta sonar a distanze non raggiungibili con le basi installate normalmente sul battello.

1.8.2) Il sonar come mezzo di comunicazione.

Nell'ambito dei sistemi di comunicazione di un sommergibile si inserisce a buon diritto la funzione del telefono subacqueo che può essere implementata nel sonar.

Il telefono subacqueo rappresenta un mezzo molto utile per le comunicazioni bidirezionali tra mezzi navali. Esso si avvale della componente attiva del sonar per l'invio di messaggi e della componente passiva per la loro ricezione.

L'implementazione del telefono nel sonar è resa possibile grazie all'utilizzo del cofanetto di comunicazione e ascolto mostrato in Fig. 1.13. nella figura sono tracciate le frecce che indicano i percorsi dei segnali tra cofanetto e sonar.

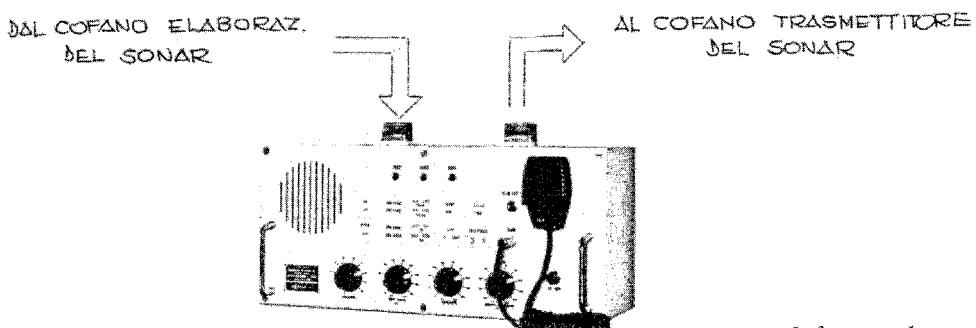


fig. 1.13 Telefono subacqueo

L'operatore che desidera comunicare con un corrispondente, dopo aver acceso il cofanetto del telefono, effettua una chiamata dal microfono, contemporaneamente i circuiti di modulazione comandano il cofano trasmettitore che eccita la base degli emettitori. L'energia acustica emessa si propaga in mare e viene captata dal sonar del corrispondente che, essendo in ascolto (l'operatore lo è sempre durante la navigazione), risponde alla chiamata con un telefono analogo.

Le onde acustiche del sonar corrispondente colpiscono la base idrofonica, i segnali da essa generati attraverso il cofano amplificatori e il cofano elaborazione raggiungono i circuiti di demodulazione del telefono che li tra-

sferisce, amplificati, alla cuffia per l'ascolto.

Quando un sonar riceve una chiamata telefonica, sullo schermo video del cofano di presentazione compare una traccia luminosa che indica all'operatore la direzione del battello che l'ha inviata. La chiamata però non viene captata soltanto dal battello al quale è destinata, ma da tutti i sonar in ascolto nella zona. Questo fatto limita notevolmente l'impiego del telefono se il sommergibile non vuole essere individuato. Per diminuire tale probabilità l'operatore può comandare l'emissione settoriale delle onde acustiche nel modo già visto nel capitolo 1.7.2.2.).

La forma di comunicazione vocale non è l'unica che si realizza con il sonar, sono molto frequenti le comunicazioni telegrafiche, ottenute emettendo e ricevendo impulsi secondo il codice Morse, oppure quelle cifrate, che avvengono con l'emissione di sequenze frequenziali secondo codici stabiliti o collegamenti a mezzo macchine telex. Questi diversi mezzi di comunicazione sono realizzabili attraverso gli stessi circuiti che compongono il cofanetto del telefono subacqueo.

1.8.3) Il sonar come mezzo di intercettazione.

Le capacità operative del sonar si estendono notevolmente affiancando alle componenti passiva e attiva la componente di intercettazione.

Questa componente funziona impiegando alcuni sistemi del sonar facenti parte delle altre due componenti.

Essa è utile per la localizzazione di mezzi navali nemici che emettono impulsi acustici a scopo di scoperta o attacco.

La descrizione del sonar come intercettatore richiede la conoscenza di concetti che sono sviluppati nei capitoli successivi e pertanto questa nota vale come anticipazione su quanto sarà descritto in seguito ed in particolare nel capitolo 6.

1.8.4) La componente per la misura passiva della distanza.

Nelle operazioni di sorveglianza o attacco è necessario che il sommergibile misuri, con il sonar, oltre che la direzione, anche la distanza del bersaglio.

Per far ciò esso può impiegare diversi metodi in base alla situazione contingente: se il bersaglio è passivo la distanza è misurabile soltanto impiegando la componente attiva, anche se questa azione denuncia la presenza del sommergibile.

Se il bersaglio emette rumore, invece, la misura può essere fatta con altri sistemi che non espongono il battello al rischio di essere scoperto dal nemico. Uno di questi, molto semplice, è applicabile soltanto in particolari condizioni di propagazione delle onde acustiche; esso consente la misura della distanza mediante opportuni rilievi angolari da eseguire con la normale componente passiva del sonar. Di queste tecniche parleremo nel capitolo dedicato alla propagazione del suono in mare.

Il sistema primario, che assicura un impiego più generalizzato, è formato da una speciale componente del sonar, che viene integrata con le altre componenti del complesso di localizzazione. Questa componente è chiamata "misuratore passivo della distanza"

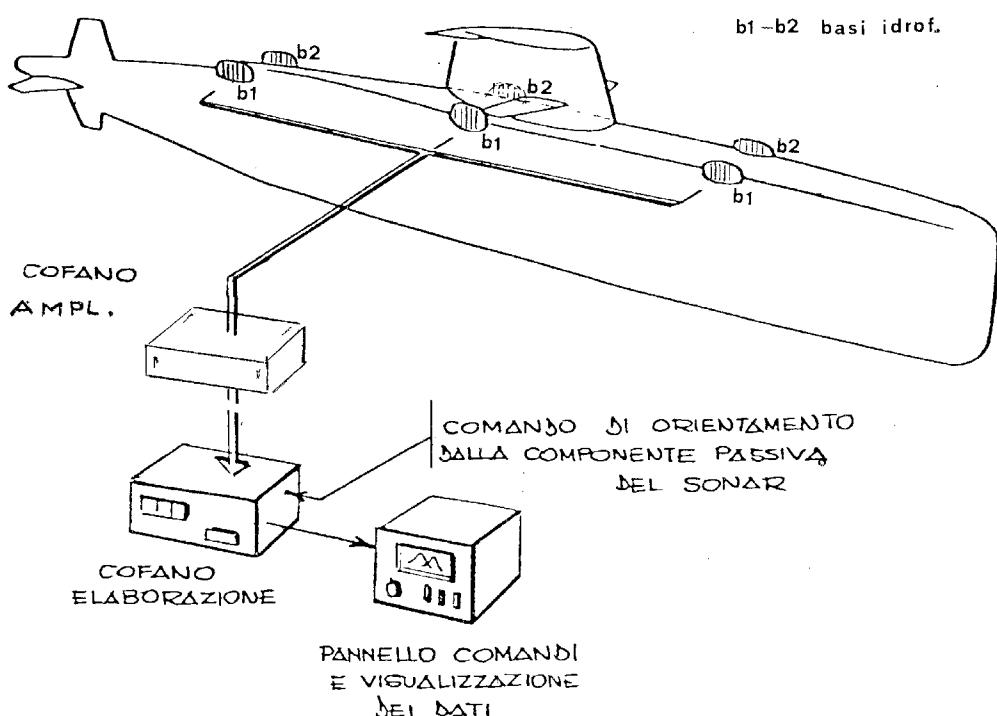


fig. 1.14 Misuratore passivo della distanza dei bersagli

Per il funzionamento del misuratore della distanza sono necessarie due basi idrofoniche ausiliarie, che vengono collocate sui fianchi del sommersibile. La composizione della componente è mostrata in Fig. 1.14; in essa si osservano: le due basi idrofoniche, ciascuna formata da tre gruppi di stecche idrofoniche che vengono disposti a notevole distanza l'uno dall'altro sui fianchi del battello; i cofani degli amplificatori, per il primo trattamento delle tensioni idrofoniche, il cofano di elaborazione, dove ven-

sono sviluppati gli algoritmi di calcolo e il pannello di comando e visualizzazione dei dati, che viene integrato nel cofano di presentazione del sonar. I principi di funzionamento di questa importantissima componente saranno descritti in seguito, quando il lettore avrà appreso i fondamenti su cui si basano i sistemi di localizzazione subacquea più semplici.

1.9) Piccoli sistemi sonar.

1.9.1.) La sonoboa.

Un caratteristico tipo di sonar installato su boe galleggianti è stato realizzato per il funzionamento abbinato con apparati di radiocomunicazioni: la sonoboa. Essa è strutturata come indicato in Fig. 1.15.

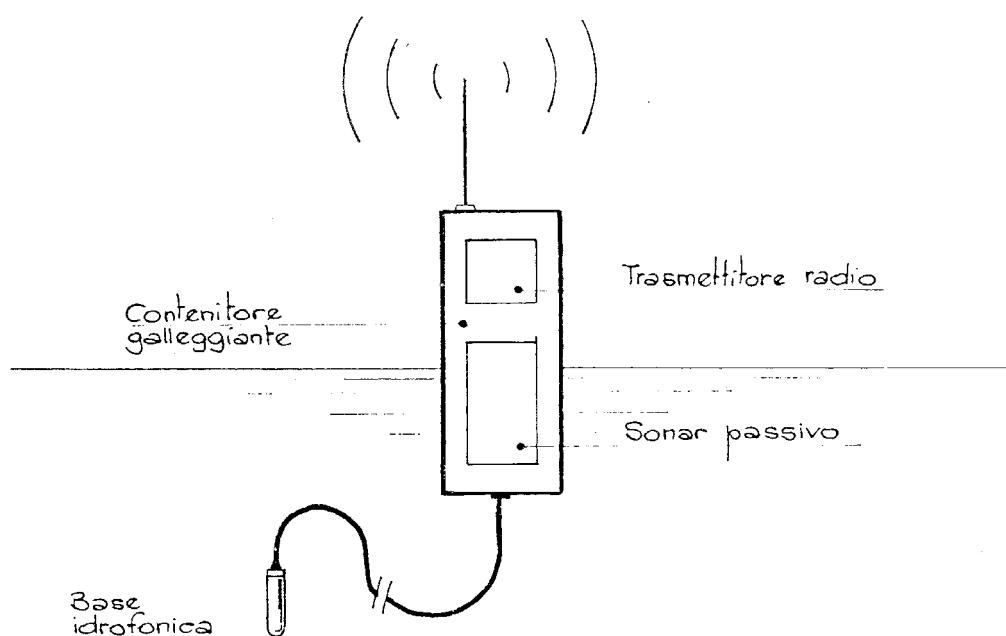


fig. 1.15 La sonoboa

Il corpo della boa ha funzione di galleggiante e di contenitore delle due sezioni abbinate: il sonar e il trasmettitore radio.

La base idrofonica, calata a notevole profondità, capta i rumori irradiati dai bersagli; le tensioni idrofoniche, mediante un apposito cavo di collegamento, raggiungono la sezione sonar che esplica soltanto la funzione di scoperta, limitandosi ad "ascoltare" il timbro dei bersagli. Questa informazione è inviata al trasmettitore che emette, tramite l'apposita antenna, un segnale radio modulato con il timbro del rumore del bersaglio.

La tecnica di impiego della sonoboa nella scoperta di bersagli subacquei è illustrata in Fig. 1.16.

Un aereo appositamente attrezzato porta la sonoboa sopra la zona di mare da sorvegliare. Prima del lancio la boa è chiusa e tanto l'antenna radio che la base idrofonica sono all'interno di essa. Dopo che l'aereo ha lanciato la boa in mare, l'antenna radio si eleva automaticamente e la base idrofonica cala in profondità.

In pochi istanti il sistema entra in funzione e dalla stazione radio-ricevente dell'aereo è possibile l'ascolto idrofonico trasmesso dalla boa.

Con l'impiego di una sola boa l'operatore sonar dell'aereo si limita ad ascoltare i rumori trasmessi che denunciano la presenza di eventuali bersagli. Se si utilizzano più boe contemporaneamente e si dispone sull'aereo di una speciale e molto complessa apparecchiatura di elaborazione dei segnali, si localizza il bersaglio come con un sonar tradizionale.

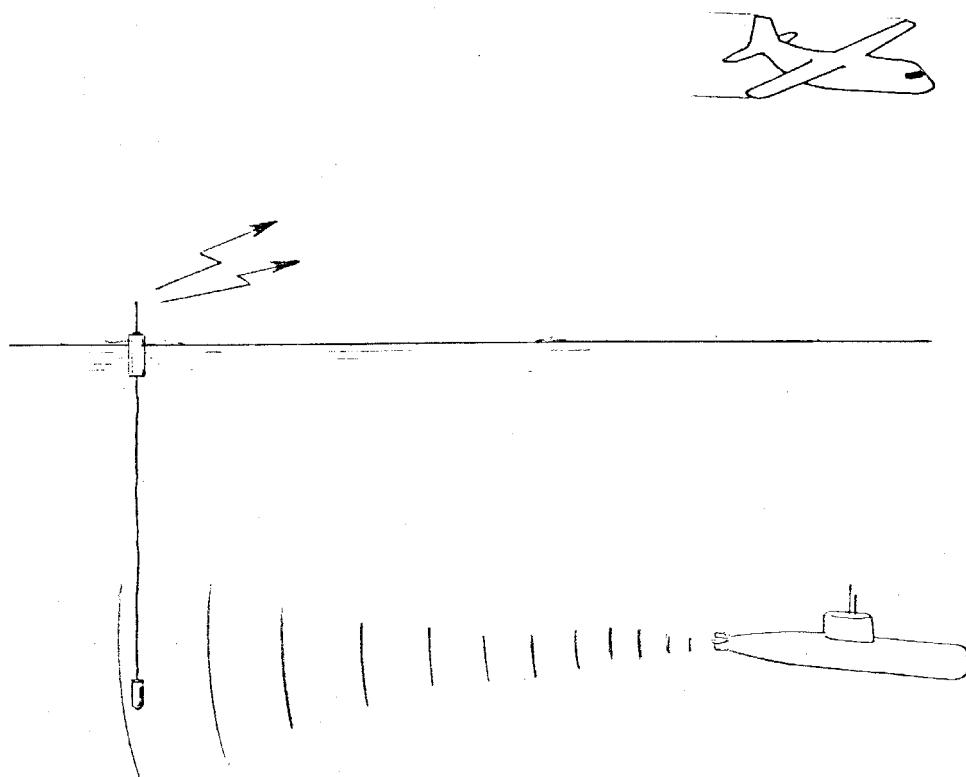


fig. 1.16 Impiego della sonoboa su bersaglio attivo

La sonoboa, con un artificio, può rilevare anche un bersaglio passivo se l'aereo, che fa ricerca del bersaglio, fa esplodere una carica esplosiva in

mare. In questo caso la situazione si presenta come in fig. 1.17.

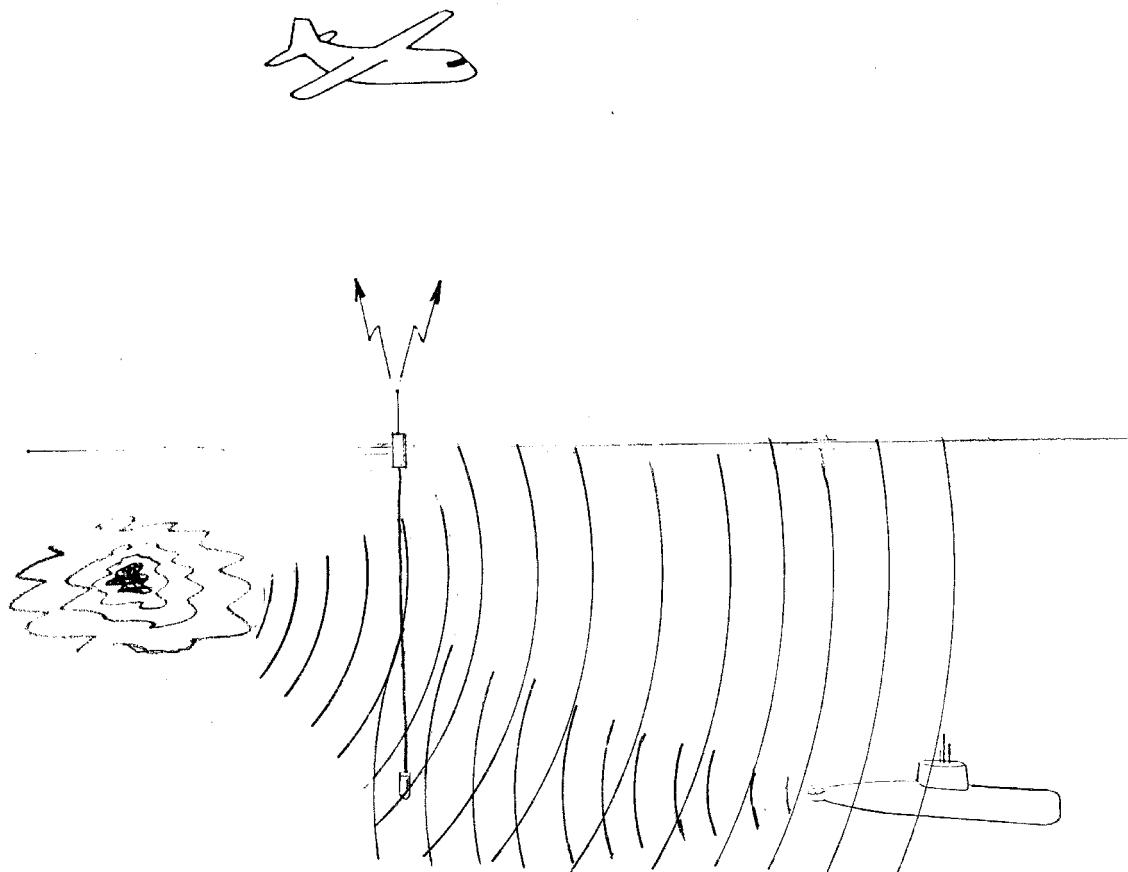


fig. 1.17 Impiego della sonoboa su bersaglio passivo

L'esplosione della carica produce onde acustiche che, propagandosi, raggiungono il bersaglio. L'eco riflessa da esso viene captata dalla base idrofonica della boa e il bersaglio passivo viene scoperto. Naturalmente la boa riceve anche l'onda diretta provocata dall'esplosione, ma l'operatore sull'aereo sa distinguere la differenza tra questa e l'eco.

1.9.2) Il siluro con il sonar.

Come è noto il lancio di un siluro, da parte di un sommersibile, implica la localizzazione del bersaglio a vista con il periscopio, ciò impone delle notevoli limitazioni sulla distanza massima d'impiego dell'arma.

I siluri con il sonar non richiedono il puntamento a vista del bersaglio, ma vengono indirizzati verso di esso mediante l'apparato di localizzazione del sommersibile. In questo tipo di lancio "al buio" il siluro riceve un indi-

rizzo approssimativo del bersaglio, (vedi esempio citato al paragrafo 1.5), dopo di che, quando è a distanza ottimale per l'impiego del proprio sonar, lo localizza con precisione, fino alla collisione.

Il sonar montato sui siluri ha una configurazione simile a quelli installati a bordo dei sommergibili, differisce per le dimensioni delle basi idrofoniche e per le modeste potenze acustiche emesse in funzionamento attivo. La struttura di un siluro con il sonar è riportata in Fig. 1.18.

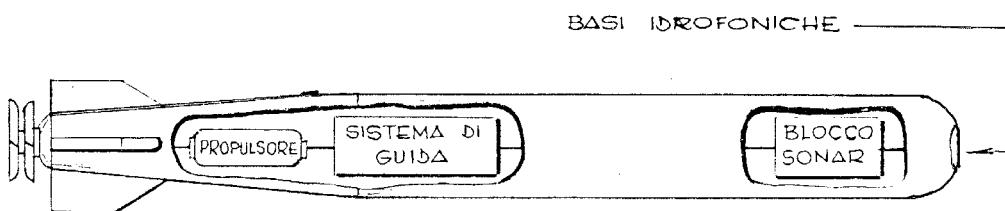


fig. 1.18 Il siluro guidato dal sonar

Nella parte anteriore del siluro sono sistemate la base idrofonica ricevente e quella emittente. Le due basi sono collegate al blocco sonar, all'interno del quale sono svolte tutte le funzioni, sia attive che passive, già descritte in precedenza. Inoltre esso compie parte di quel gruppo di funzioni, a carattere decisionale, che a bordo di un sommersibile sono affidate all'operatore.

Dal blocco sonar escono i segnali di comando che agiscono sul sistema di guida del siluro per indirizzarlo contro il bersaglio.

Il blocco sonar è programmato per funzionare in attivo o in passivo in base a particolari criteri operativi.

Questo tipo di siluro può essere lanciato anche da un aereo nella zona dove è stato localizzato un bersaglio, in questo caso il siluro non è indirizzato in precedenza e inizia in autoguida la ricerca di esso fino a quando non lo ha localizzato, a questo punto si dispone sulla rotta di collisione.

CAPITOLO 2

Sensori ed emettitori acustici

2.1) Note sullo sviluppo tecnologico.

Nei paragrafi precedenti abbiamo visto che gli idrofoni sono il polo fondamentale della struttura dei sistemi di localizzazione, infatti il primo “sonar” che fu costruito aveva come unico componente un idrofono rudimentale che consentiva l’ascolto diretto dei rumori subacquei così come mostrato in Fig. 2.1.

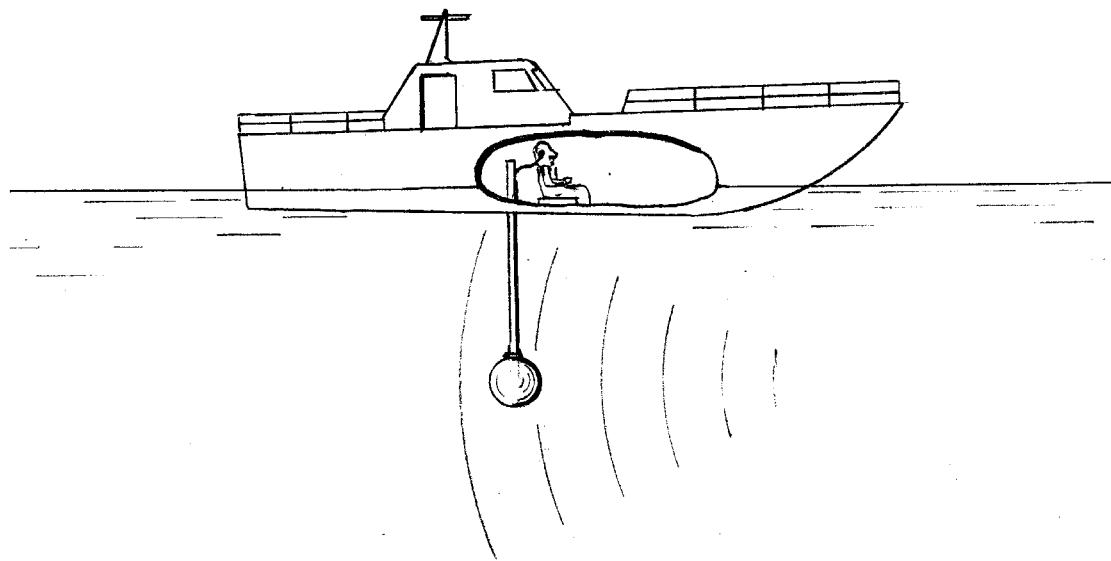


fig. 2.1 Primordi del sonar - scoperta diretta dei bersagli attivi

Tutto il sistema era formato da una sfera cava di gomma collegata ad un tubo di metallo che terminava con un leggero condotto di gomma da applicare all’orecchio dell’operatore.

La sfera di gomma veniva immersa in mare alla profondità di qualche metro, le onde sonore che ne colpivano la superficie provocavano delle vibrazioni che si tramettevano direttamente all’aria in essa contenuta e di qui, tramite il tubo metallico ed il condotto di gomma, venivano convogliate all’orecchio dell’ascoltatore.

Questo era a quel tempo il sonar di "scoperta", quello di "localizzazione" invece utilizzava due idrofoni, analoghi a quello descritto, montati su di un supporto che veniva ruotato dall'operatore, vedi Fig. 2.2.

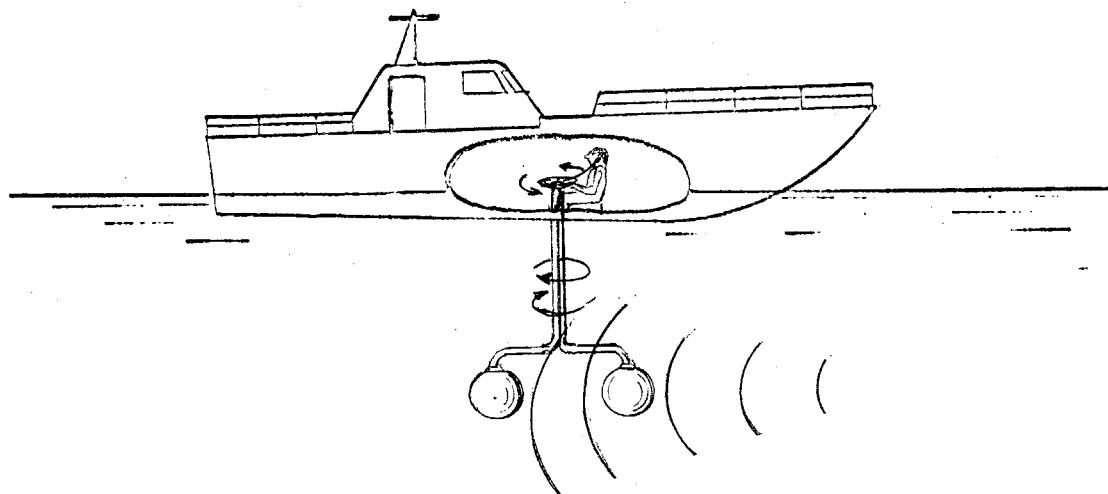


fig. 2.2 Primordi del sonar - Localizzazione dei bersagli attivi

L'ascolto avveniva in modo stereofonico, con un idrofono per ciascun orecchio, e si puntava il bersaglio ruotando manualmente il supporto, così come nell'ascoltare un rumore in aria ruotiamo il capo per individuarne la direzione di provenienza.

Questi sistemi che sembrerebbero collocabili nella preistoria della tecnica erano impiegati, all'inizio della seconda guerra mondiale, da piccole unità di superficie per la localizzazione dei sommersibili.

Lo sviluppo di nuove tecnologie si ebbe negli anni del conflitto; in tale periodo vennero realizzati, adattando all'ambiente subacqueo i microfoni del telefono Bell, i primi idrofoni capaci di trasformare le pressioni acustiche ricevute in corrispondenti tensioni elettriche.

Successivamente, attraverso molteplici esperienze, si è giunti alla realizzazione degli idrofoni moderni che sfruttano il fenomeno della piezoelettricità di particolari materiali ceramici.

La piezoelettricità è la proprietà di certi materiali di generare tensioni elettriche in seguito a sollecitazioni meccaniche e, viceversa, di generare vibrazioni meccaniche in seguito a sollecitazioni elettriche. Gli idrofoni costruiti su questo principio possono pertanto funzionare indifferentemente

mente, sia come captatori di onde acustiche, che come emettitori di energia in mare. Con idrofoni aventi strutture adatte all'emissione di molta energia acustica, si ricevono normalmente i rumori irradiati dai bersagli, ma non sempre con idrofoni progettati come ricevitori è possibile emettere molta energia.

Questo fatto impone, a volte, l'impiego di due basi distinte nel progetto di un sonar, la base idrofonica ricevente, con caratteristiche ottimali in un certo campo di frequenze e la base degli emettitori, dimensionata in base alla frequenza di lavoro e alla potenza acustica da trasferire in acqua.

Lo sviluppo degli idrofoni piezoelettrici si deve al progresso dell'elettronica che ha reso possibile la realizzazione di amplificatori molto sensibili, con bassi rumori di fondo, tali da consentire l'utilizzazione delle piccole tensioni elettriche generate dalle onde acustiche provenienti dai bersagli. Oggi, in tutte le applicazioni per i sonar, sono utilizzati gli idrofoni piezoelettrici con struttura ceramica. Essi hanno ottime caratteristiche di sensibilità acustica e di robustezza meccanica, inoltre sono costruibili nelle forme più svariate per adattarli meglio alle esigenze di progetto delle basi idrofoniche.

2.2) Gli idrofoni piezoelettrici ceramici.

Per illustrare la struttura di questi elementi consideriamo una delle forme più semplici, quale ad esempio l'idrofono a dischetto (vedi fig. 2.3).

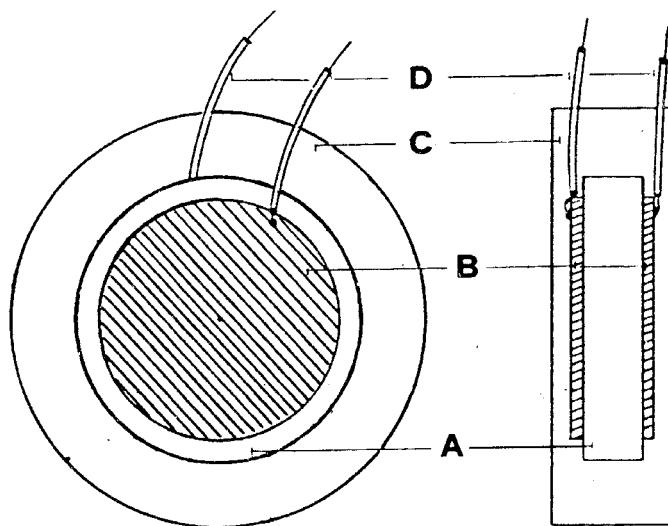


fig. 2.3 Idrofono a dischetto

Esso è formato da un piccolo disco di ceramica piezoelettrica, indicato in figura con la lettera A); le facce del disco sono parzialmente coperte con sottili strati di argento detti armature B); esse sono collegate separatamente a due sottili conduttori D) ai capi dei quali si preleva la tensione generata dall'effetto piezoelettrico.

Il dischetto è affogato in un corpo di plastica C) allo scopo di isolare elettricamente le due armature quando l'idrofono viene immerso nell'acqua; la plastica è di un tipo speciale che assicura, da un lato, un ottimo isolamento elettrico e, dall'altro, una buona conduzione delle onde acustiche che si devono propagare dall'acqua, tramite la plastica, al disco di ceramica. Quando l'idrofono è immerso, le onde acustiche, attraverso la plastica, fanno vibrare il dischetto di ceramica; la vibrazione provoca la formazione di cariche elettriche che vengono raccolte dalle due armature e inviate all'esterno dai conduttori, si ha così ai loro capi una debole tensione elettrica proporzionale al livello della pressione incidente e alla sensibilità dell'idrofono.

Questo tipo di idrofono riceve bene le onde acustiche dalle due facce, per direzioni provenienti dallo spazio intorno all'asse perpendicolare ad esse. Gli elementi sensibili di gran parte degli idrofoni impiegati nei sonar, hanno strutture elettriche simili a quella ora mostrata, differiscono invece per le forme geometriche e le parti meccaniche ad essi collegate per ottenere particolari caratteristiche acustiche.

Le forme geometriche più comuni degli idrofoni sono mostrate in Fig. 2.4. In essa vediamo il cilindro cavo, in cui le armature sono depositate l'una sulla superficie esterna del cilindro e l'altra sulla superficie interna. Questo idrofono, usato molto frequentemente nei sonar, è adatto a ricevere le onde acustiche su tutta la superficie esterna del cilindro, mentre è meno sensibile ad esse sull'asse longitudinale.

Il prisma retto, in cui le armature sono depositate su due superfici parallele, può ricevere le onde acustiche nelle direzioni intorno alla perpendicolare ad esse.

Gli idrofoni che sono stati mostrati vengono montati con coperture di plastica speciale che hanno le stesse funzioni descritte in precedenza; essi, generalmente, sono sistemati a gruppi per ottenere le desiderate caratteristiche di sensibilità e di "direttività".

La caratteristica di direttività di un sistema acustico indica come varia la sensibilità di ricezione o di emissione con il variare della direzione. Se la sensibilità è elevata in una direzione e diminuisce molto rapidamente con

il variare di essa si dice che il sistema ha una buona direttività, cioè presenta una direzione preferenziale.

Se un gruppo di idrofoni ha una direzione preferenziale d'ascolto, conformato alle necessità del sonar, il disturbo dell'ambiente subacqueo sarà captato soltanto in questa direzione e non in tutte le altre come avverrebbe se il sistema non avesse una buona "direttività": ciò migliora la ricezione del rumore irradiato dai bersagli che si trovano nel settore a cavallo della direzione preferenziale.

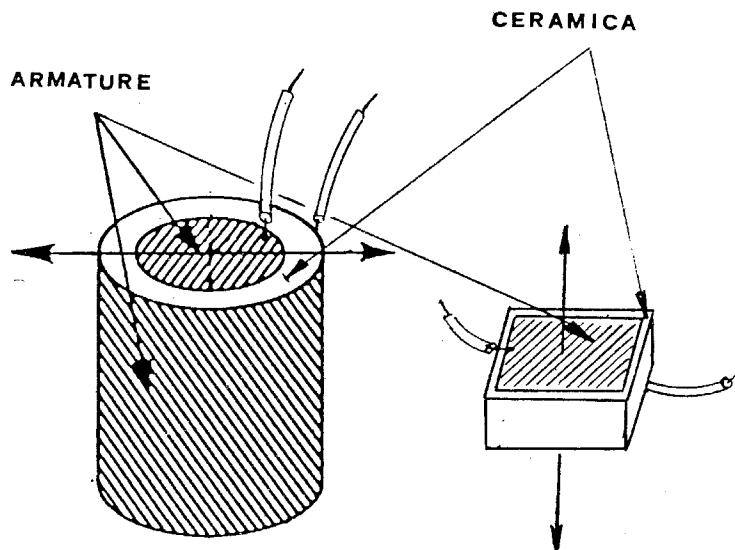


fig. 2.4 Elementi idrofonici

2.3) Emettitori elettroacustici.

Gli idrofoni descritti nel paragrafo precedente, data la reversibilità del fenomeno piezoelettrico, se opportunamente eccitati con tensioni elettriche oscillanti, entrano in vibrazione emettendo onde acustiche nell'acqua in cui sono immersi.

L'emissione dell'energia avviene, nel caso del cilindro cavo, quasi in tutto lo spazio circostante, a causa delle vibrazioni radiali di esso.

Questo tipo di funzionamento non si adatta alla realizzazione delle basi di emettitori elettroacustici dei sonar. Vediamone la ragione considerando ad esempio la base idrofonica ricevente di Fig. 1.7. Essa è formata con idrofoni del tipo a cilindro come quelli precedentemente descritti; supponiamo ora di impiegarla per emettere energia acustica verso una direzione stabilita (vedi paragrafo 1.7.2.2), eccitando gli idrofoni prospicienti ad essa con impulsi di tensione oscillante. Le onde acustiche emesse dagli idro-

oni verrebbero irradiate tanto all'esterno della base, come è desiderabile perchè si propaghino nella direzione voluta, quanto all'interno, disperdendosi con un notevole spreco di energia.

Per evitare tali perdite è necessario impiegare idrofoni in grado di emettere onde acustiche soltanto da un lato, per montarli poi sulla base in modo che l'emissione sia diretta all'esterno di essa.

Per costruire idrofoni di questo tipo è necessario adottare una particolare tecnica che ora indicheremo.

L'elemento base per la costruzione è sempre il cilindro cavo di ceramica piezoelettrica; esso però ha le armature che sono depositate sulle corone circolari che fanno da basi al cilindro, invece che sulle superfici esterna e interna di esso come nel caso in precedenza esaminato. La Fig. 2.5 mostra questa nuova struttura.

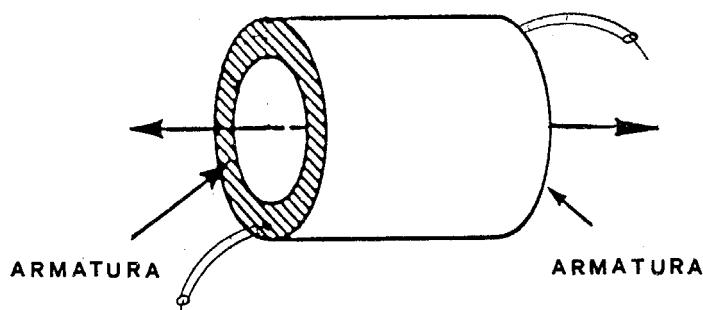


fig. 2.5 Elemento di idrofono cilindrico con armature sulle basi.

Con tale disposizione l'idrofono, eccitato elettricamente, entra in vibrazione secondo l'asse longitudinale del cilindro.

Se fissiamo rigidamente alle basi del cilindro due masse metalliche, una molto più pesante dell'altra, come mostrato in Fig. 2.6, la vibrazione del cilindro si trasferisce alla massa più leggera, mentre viene smorzata dalla massa più pesante che ha maggior inerzia.

L'idrofono così costituito emette energia acustica soltanto dal lato della massa più leggera; esso viene montato in un involucro stagno, per isolare le armature dal contatto con l'acqua; la massa che vibra costituisce la chiusura dell'involucro.

Le basi di emettitori dei sonar sono composte da centinaia di questi idrofoni montati in modo che le masse vibranti formino un mosaico su tutta la loro superficie laterale.

Una base con queste caratteristiche può funzionare anche come sistema di

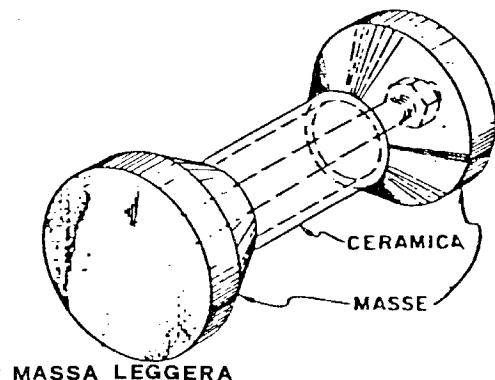


fig. 2.6 Idrofono con masse

ricezione, similmente alla base idrofonica di Fig. 1.7, ma essendo dimensionata per la frequenza di trasmissione stabilita dalle specifiche del sonar non è adatta a ricevere frequenze acustiche molto diverse da quella di progetto, pertanto, se il sonar deve ricevere i rumori irradiati dai bersagli in un ampio spettro di frequenze, si deve ricorrere all'impiego di due basi distinte.

2.4) Le caratteristiche di direttività degli idrofoni.

Nel paragrafo 2.2 abbiamo introdotto il concetto di "direttività", vediamo come esso si adatti a definire le caratteristiche degli idrofoni.

Si usa rappresentare le caratteristiche di direttività con diagrammi che sono molto perspicui all'osservatore; essi sono tracciati sul supporto grafico riportato in Fig. 2.7 (diagramma in coordinate polari).

Il supporto è formato da dieci cerchi concentrici equidistanti, secati da trentasei raggi, ciascuno disegnato ogni dieci gradi. Cerchiamo di chiarire come si utilizza il supporto per tracciare la caratteristica di direttività di un idrofono: se la sua capacità di ricevere il suono (sensibilità), ad esempio nel piano orizzontale, varia con la direzione di provenienza, basterà tracciare un punto per ogni raggio rappresentativo della direzione sul cerchio rappresentativo del livello della tensione generata in quella direzione; si raccorderanno poi i punti, vedi Fig. 2.8, in modo da ottenere un tracciato continuo. Il grafico ottenuto sarà la rappresentazione polare del comportamento della sensibilità dell'idrofono con il variare della direzione di provenienza del suono, cioè la caratteristica di direttività rilevata sul piano orizzontale. La parte del diagramma centrata sulla direzione di massima

sensibilità è chiamata lobo principale, le altre parti sono dette lobi secondari.

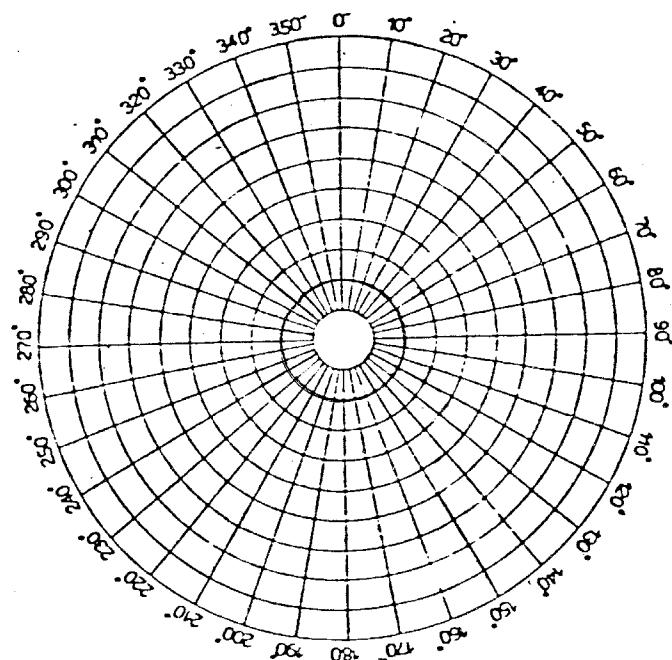


fig. 2.7 Tracciato di supporto per diagramma polare

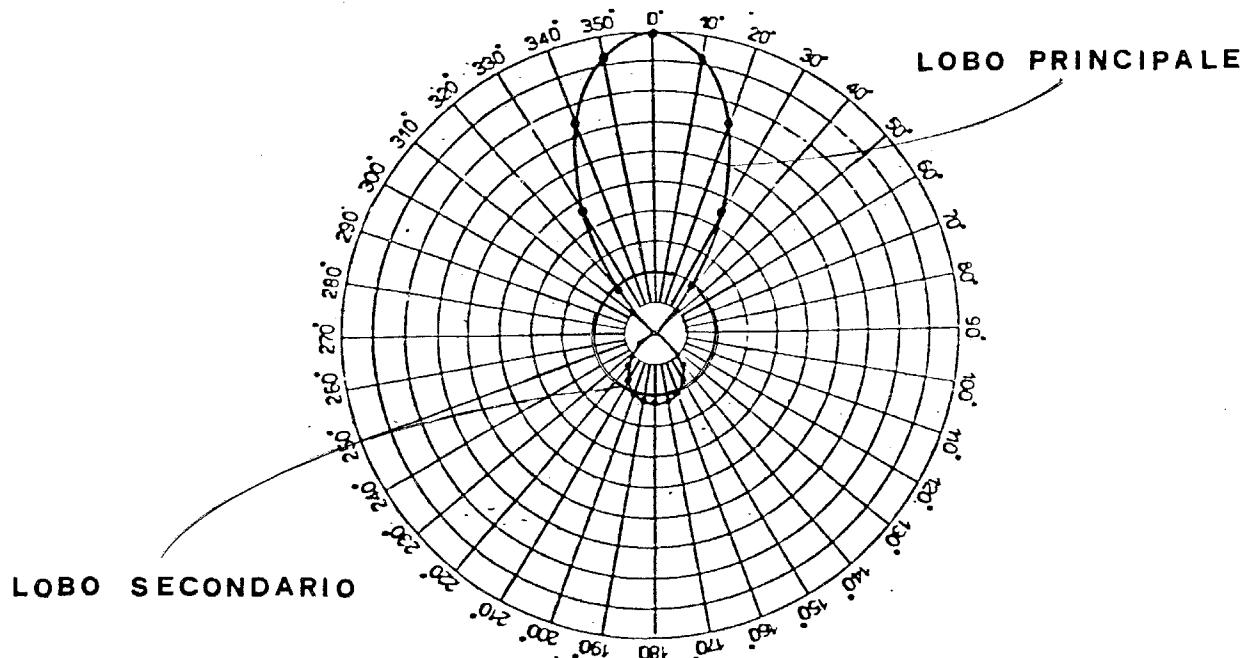


fig. 2.8. Caratteristica di direttività generica

Con una rapida occhiata ad un grafico di questo tipo si inquadra un fenomeno fondamentale nel funzionamento del sonar, che interessa, non soltanto gli idrofoni, ma anche, come vedremo, le basi di idrofoni e di emettitori.

Come esempio di ciò che è stato detto esaminiamo le caratteristiche di direttività dell'idrofono cilindrico cavo.

Nella Fig. 2.9/a è mostrata la caratteristica di direttività nel piano orizzontale: essa è rappresentata da un cerchio dato che l'idrofono riceve ugualmente il suono in tutte le direzioni del piano (vedi Fig. 2.9/b).

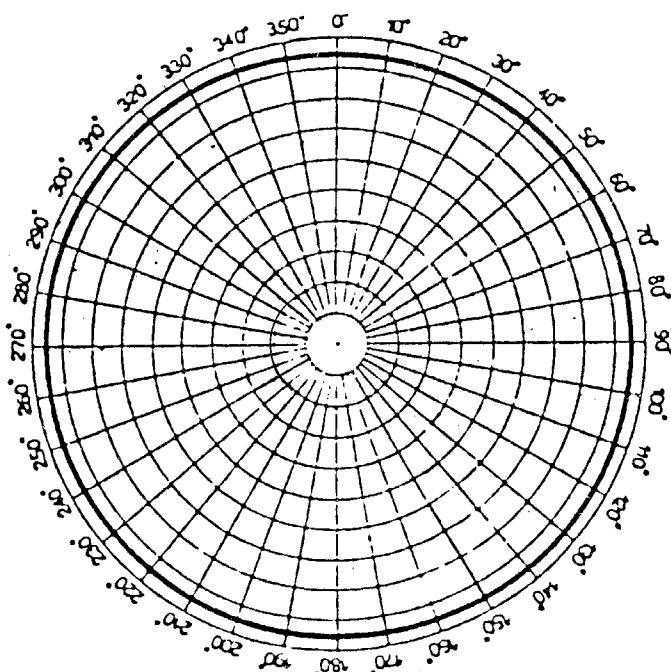


fig. 2.9/a Caratteristica di direttività orizzontale del cilindro cavo

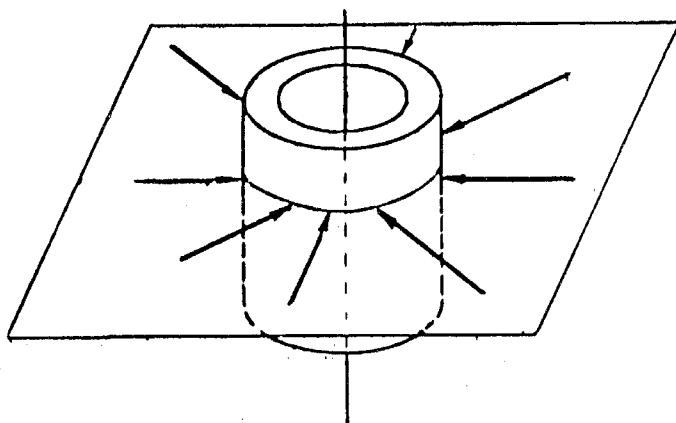


fig. 2.9./b Idrofono cilindrico cavo eccitato sulla superficie laterale

Nella Fig. 2.10/a ne è mostrata la caratteristica di direttività nel piano verticale; essa è rappresentata da una curva ad otto che indica le massime sensibilità nelle direzioni normali all'asse longitudinale e le minime nelle direzioni dell'asse, ciò è in linea con il comportamento dell'idrofono che capta poca energia acustica sull'asse longitudinale e massima energia sul corpo del cilindro (vedi Fig. 2.10/b).

È importante notare che la larghezza α dei lobi di direttività diventa tanto più piccola quanto più sono elevate le dimensioni longitudinali del cilindro.

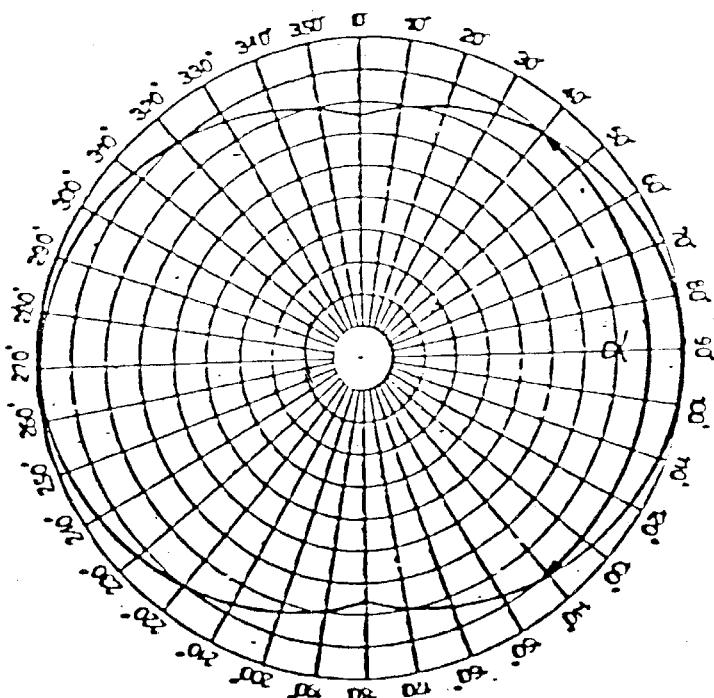


Fig. 2.10/a Caratteristica di direttività verticale del cilindro cavo

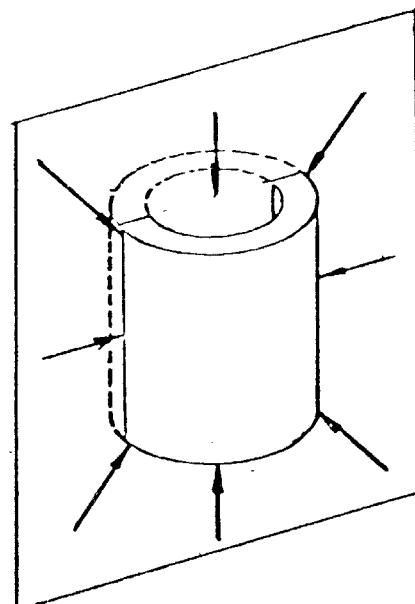


Fig. 2.10/b Idrofono cilindrico cavo eccitato secondo l'asse verticale

2.5) Dipendenza delle caratteristiche degli idrofoni dalla frequenza.

Le due caratteristiche degli idrofoni e degli emettitori acustici, sensibilità e direttività, sono influenzate dalla frequenza di lavoro.

La sensibilità in ricezione o quella in trasmissione variano al variare della

frequenza in dipendenza delle dimensioni e della struttura degli elementi. Gli idrofoni, che non hanno masse accessorie nella struttura, come il cilindro cavo ricevente, possono essere progettati per funzionare in un ampio campo di frequenze che va da poche decine a diverse migliaia di Hertz. Gli idrofoni aventi le masse accessorie, come il cilindro cavo emittente, possono essere progettati per funzionare in bande di frequenze relativamente strette.

I grafici che indicano come varia la sensibilità di un elemento, similmente alle curve che caratterizzano un amplificatore musicale ad alta fedeltà, sono chiamate curve di risposta; esse sono riportate in un sistema di assi cartesiani in cui sull'asse delle ascisse è rappresentata la frequenza e sull'asse delle ordinate la sensibilità che si associa a ciascun valore di frequenza.

In Fig. 2.11/a e 2.11/b sono tracciate le curve di risposta di due ipotetici idrofoni dei tipi ora menzionati.

SENSIBILITÀ

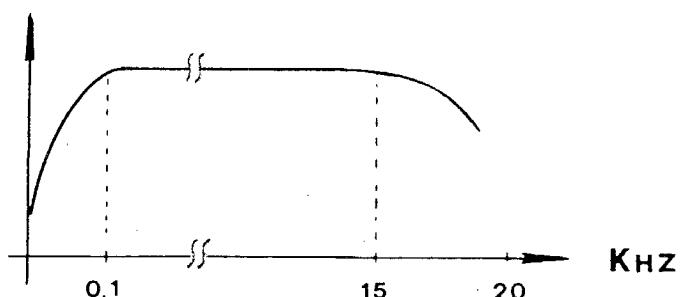


fig. 2.11/a
Curva di risposta
idrofono cilindrico

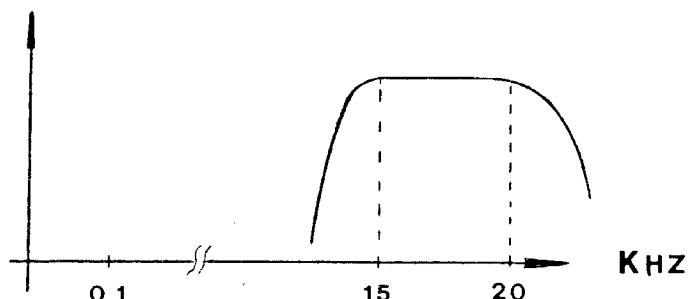


fig. 2.11/b
Curva di risposta
idrofono con masse

Dalle curve si osserva che questi idrofoni si possono impiegare nel tratto di sensibilità uniforme tra 100 e 15.000 Hertz nel caso di Fig. 2.11/a e nella banda di frequenze comprese da 15.000 a 20.000 Hertz nel caso di Fig. 2.11/b.

La scelta delle frequenze di lavoro e quindi del tipo di idrofoni è legata alle specifiche operative del sonar: se esso è progettato per la localizzazione di bersagli nel campo delle basse frequenze, la base idrofonica è formata da elementi che hanno una curva di risposta simile a quella di Fig. 2.11/a, se invece esso è progettato per la localizzazione di bersagli in un campo di frequenze ristretto, la base idrofonica è formata da elementi che hanno una curva di risposta simile a quella di Fig. 2.11/b.

Così come la sensibilità anche la caratteristica di direttività varia con il variare della frequenza di lavoro.

A parità di dimensioni la caratteristica di direttività diventa più stretta con l'aumentare della frequenza di lavoro; questo fenomeno è mostrato nelle Fig. 2.12/a e 2.12/b. In esse si nota che per la frequenza più alta Fig. 2.12/a il diagramma occupa un settore angolare più piccolo di quello occupato dal diagramma relativo alla frequenza bassa Fig. 2.12/b.

Dato che una buona direttività degli idrofoni è fattore positivo per il sonar, una volta fissate le frequenze di lavoro, per ragioni operative, per ottenere

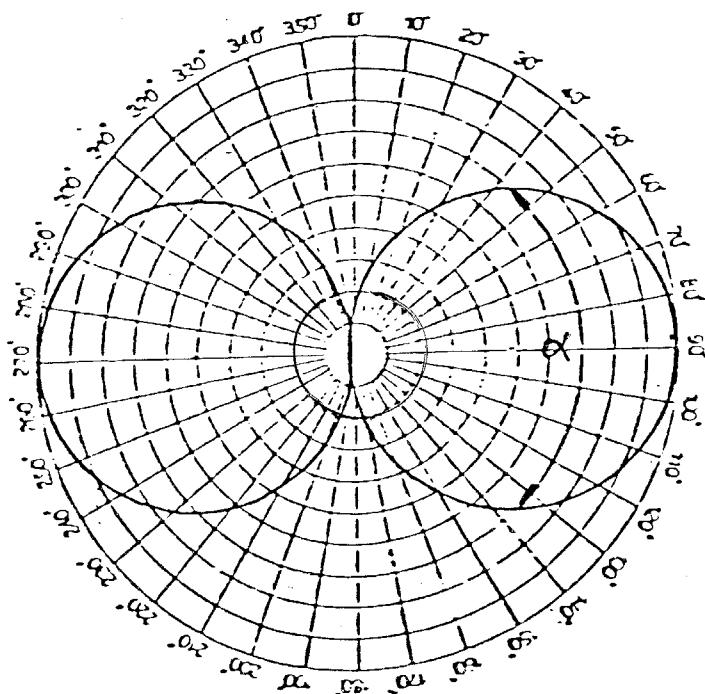


fig. 2.12/a Caratteristica di direttività media

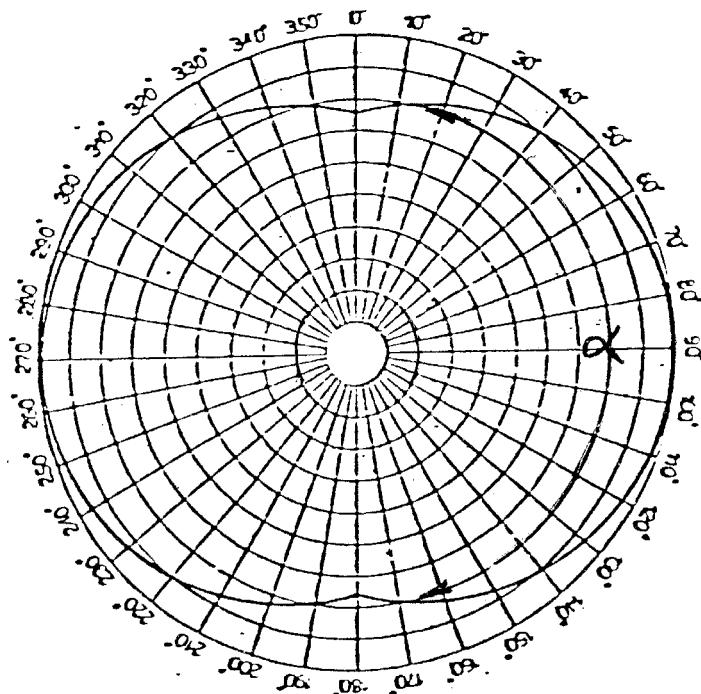


fig. 2.12/b Caratteristica di direttività larga

la direttività voluta non resta che aumentare le dimensioni degli elementi; essi però, per ragioni di carattere costruttivo, non possono avere dimensioni che superano certi limiti, perciò per ottenere il raggiungimento dell'obiettivo si raggruppano più elementi allineandoli in un unico supporto che è l'equivalente di un unico idrofono avente la lunghezza desiderata (vedi Fig. 2.13). Di ciò tratteremo diffusamente più avanti.

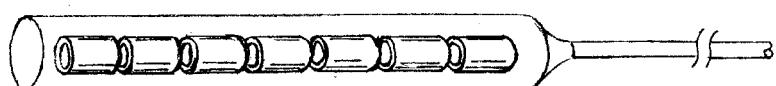


fig. 2.13 Idrofono composto da elementi cilindrici

2.6) La stazione lacuale per il collaudo degli idrofoni.

Gli idrofoni e gli emettitori acustici, una volta costruiti, necessitano di accurati collaudi nell'ambiente subacqueo nel quale sono destinati a funzio-

nare; per far ciò sono sorte le stazioni lacuali di misura. Con esse si sopprime alla necessità delle prove in mare che sono di difficile conduzione a causa del movimento ondoso e dei disturbi provocati dal traffico marittimo.

I piccoli laghi, se sufficientemente profondi, si prestano bene alla collocazione di stazioni galleggianti di misura: in essi il moto ondoso è praticamente inesistente ed il rumore ambiente è limitato a quello di natura biologica.

Le stazioni galleggianti sono attrezzate con strumenti elettronici in grado di misurare e registrare graficamente le piccole tensioni elettriche generate dagli idrofoni in prova, inoltre dispongono fuori bordo, dei supporti meccanici per immergere e posizionare tanto gli idrofoni da collaudare, quanto quelli che servono come campioni di misura.

Una possibile disposizione di tale attrezzatura è mostrata in Fig. 2.14, in essa si osserva:

- Un idrofono ricevente in fase di collaudo.
- Un emettitore di prova che genera onde acustiche per l'esecuzione delle misure.
- L'idrofono campione con il quale si controlla con precisione il livello della pressione incidente sull'idrofono in fase di collaudo.
- Un emettitore da collaudare, che, al momento opportuno, verrà calato in acqua al posto dell'emettitore b) e la cui pressione sarà controllata dall'idrofono campione.

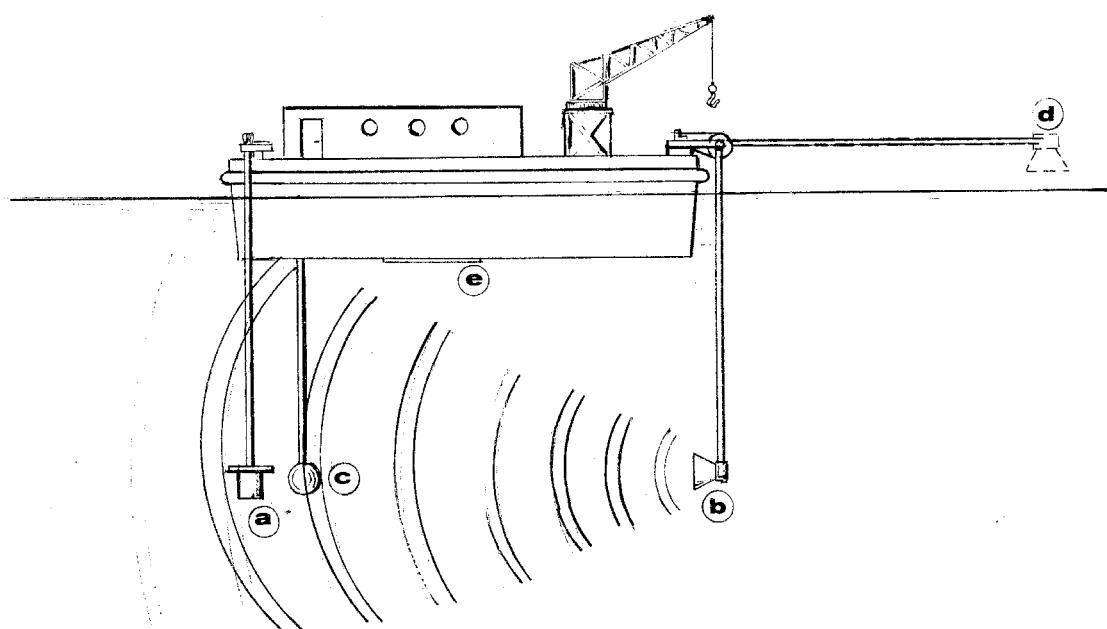


fig. 2.14 Stazione lacuale per misure acustiche

e) Pozzo per il collaudo delle basi idrofoniche.

Le tensioni elettriche generate dagli idrofoni in prova e dal campione sono applicate a speciali amplificatori che ne elevano l'ampiezza per consentire la misura e la successiva visualizzazione per il controllo accurato di tutte le caratteristiche degli elementi da collaudare.

Le procedure di misura degli idrofoni sono ostacolate dalle riflessioni che le onde acustiche emesse subiscono dalle sponde e dal fondo del lago, dalla superficie dell'acqua e dalla piattaforma galleggiante che alloggia la stazione. Questo fenomeno, che in mare aperto è meno sentito, dipende dalla relativa vicinanza degli idrofoni a tutto quello che li circonda.

Esso provoca il sovrapporsi delle onde acustiche dirette con quelle riflesse, sì da alterare i livelli di pressione ricevuta, che in tal modo non sono più rappresentativi delle caratteristiche degli idrofoni sotto controllo.

Per superare questa difficoltà le misure vengono condotte con una tecnica particolare: l'energia sonora, necessaria per il collaudo di un idrofono ricevente e per il collaudo di un emettitore, viene emessa ad impulsi molto corti, in modo che nel riceverli, si possa, visualizzandoli su di un oscilloscopio, stabilire qual è l'impulso proveniente per via diretta dall'emettitore e quali sono invece quelli dovuti all'eco dei dintorni. L'impulso diretto, vedi Fig. 2.15, è il primo a giungere all'idrofono ricevente e su di esso si eseguono le misure che interessano, gli impulsi successivi, che hanno livelli acustici alterati dalle riflessioni, non vengono considerati.

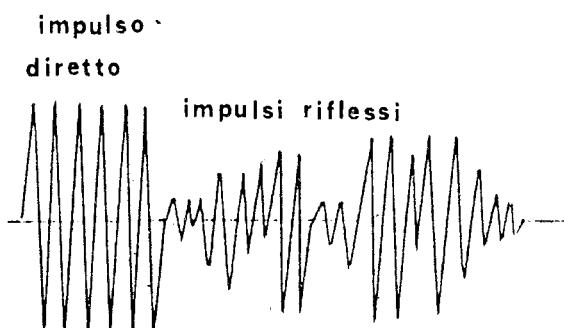


fig. 2.15 Impulso alterato da riflessioni

Nelle stazioni lacuali, seguendo sempre la tecnica delle misure con impulsi acustici, si collaudano anche le basi idrofoniche e le basi di emettitori prima della loro installazione a bordo dei sommergibili.

Questi collaudi sono molto laboriosi sia per le misure da eseguire che per i notevoli ingombri che devono essere spostati. Le stazioni dispongono di appositi pozzi (vedi Fig. 2.14) nella parte centrale della piattaforma galleggiante, nei quali vengono immerse, con adatti sostegni, le basi che devono essere provate.



CAPITOLO 3

Caratteristiche delle basi idrofoniche

3.1) Osservazioni sulle tensioni idrofoniche.

Prima di iniziare la descrizione delle caratteristiche delle basi idrofoniche è necessario conoscere le particolarità delle tensioni provocate dal rumore ricevuto.

Queste tensioni sono generate ai capi delle stecche dalle pressioni acustiche prodotte dai rumori irradiati dai bersagli o dai disturbi dell'ambiente subacqueo.

Esse non hanno andamento periodico come invece la nota pura di un diafason o la frequenza degli impulsi emessi dal sonar. Le tensioni idrofoniche sono variabili in "ampiezza" e "polarità" secondo andamenti casuali, che si manifestano nel tempo.

Se supponiamo di visualizzare sullo schermo di un oscilloscopio una di tali tensioni, in un piccolo intervallo di tempo, per confrontarne l'aspetto con una tensione prodotta da una stecca idrofonica che riceve una nota pura, otteniamo i due grafici di Fig. 3.1.

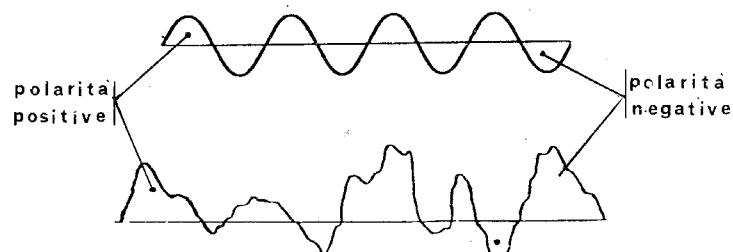


fig. 3.1 Tensione sinusoidale e tensione di rumore

La curva in alto rappresenta la tensione dovuta alla nota pura: essa ha un andamento periodico, con polarità e ampiezze regolarmente distribuite (proprie della sinusoide).

La curva in basso, relativa al rumore, mostra che l'ampiezza è variabile nel tempo disordinatamente e che la polarità (segno algebrico della tensione

in ogni istante) è distribuita a caso, tanto nel campo dei valori positivi, quanto in quello dei valori negativi.

Nel prosieguo delle descrizioni di questo lavoro sarà impiegato sovente il concetto di somma algebrica di tensioni di rumore, per mettere in risalto la diversità esistente tra la somma di quelle che hanno sempre ampiezza e polarità istantanee uguali, rispetto ad altre che non hanno tale particolarità. Questo tipo di operazione è facilmente spiegata dall'osservazione delle Fig. 3.2/a e 3.2/b.

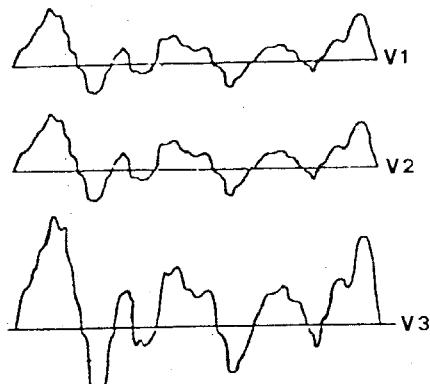


fig. 3.2/a Tensioni di rumore
Somma del 1° tipo

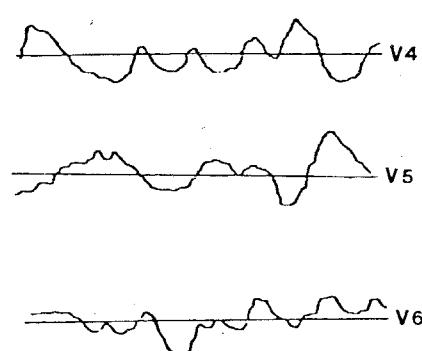


fig. 3.2/b Tensioni di rumore
Somma del 2° tipo

Nella Fig. 3.2/a è indicato il procedimento di somma tra due tensioni di rumore, V1 e V2, che hanno sempre, nello stesso istante, uguale ampiezza e polarità. La somma delle tensioni è rappresentata dalla tensione V3: essa è ottenuta addizionando algebricamente, punto per punto, i livelli di V1 e V2. Dato che questi sono uguali tra loro, la tensione V3 ha lo stesso andamento delle due e ampiezza doppia (somma del 1° tipo).

Nella Fig. 3.2/b è indicato invece il procedimento di somma tra due tensioni di rumore, V4 e V5, che non hanno sempre, nello stesso istante, ampiezza e polarità uguali, la tensione V6, somma delle due, ottenuta addizionando algebricamente, punto per punto, il livelli di V4 e V5, può raggiungere soltanto casualmente, in alcuni punti, il doppio dell'ampiezza di queste e perciò, mediamente, ha un livello inferiore a V3 (somma del 2° tipo). La differenza dei livelli tra la somma del 1° tipo e quella del 2° tipo aumenta con il numero delle tensioni che contribuiscono ad essi: ciò consente una più facile distinzione tra somme di tensioni che hanno sempre, nello stesso istante, uguale ampiezza e polarità e somme tra tensioni che hanno diversa ampiezza e polarità istantanea.

3.2) Direttività verticale di una base ricevente.

La base idrofonica in un sonar rappresenta, come è stato già accennato nel paragrafo 1.7.1.1), il mezzo con il quale si captano le onde acustiche dei bersagli allo scopo di determinarne la posizione nello spazio subacqueo. Compito preminente della base è il ricevere la maggior quantità possibile di energia sonora, proveniente dai bersagli, che d'ora in poi chiameremo "segnale", riducendo al minimo la ricezione dei disturbi presenti nell'ambiente subacqueo.

Questo tipo di "selezione" deve essere fatto prevalentemente a livello acustico perché, una volta tradotte le pressioni acustiche in corrispondenti tensioni elettriche, risulta molto difficile eliminare i disturbi che inquinano il segnale. Per addentrarci in questa problematica dobbiamo fare un'osservazione di carattere geometrico facendo riferimento alla Fig. 3.3.

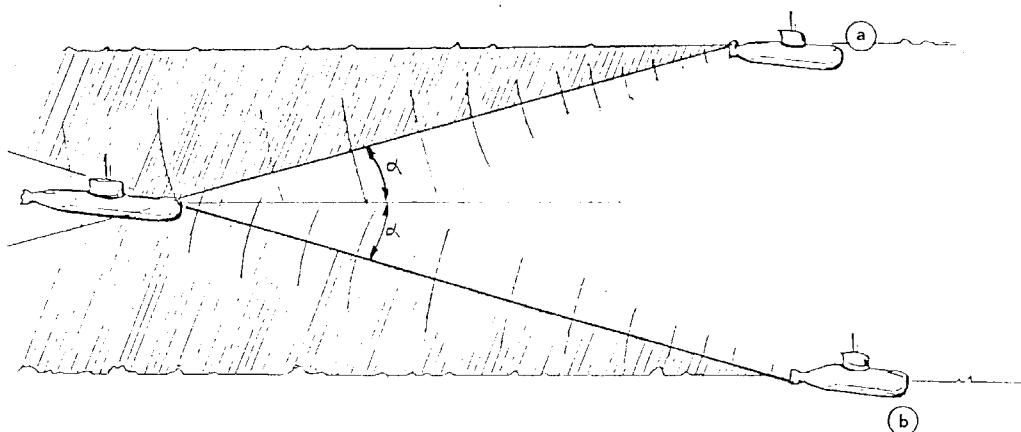


fig. 3.3 Angolo utile per la scoperta di bersagli attivi

Consideriamo un sommersibile in immersione a 300 metri di profondità con un fondale distante da esso altri 300 metri; se supponiamo che un bersaglio sia posto in superficie a) o sul fondo b), alla distanza di 1000 metri, l'angolo α formato dalla congiungente bersaglio-sommersibile con l'asse della base, dal calcolo risulta essere di circa 18° , se ripetiamo l'osservazione ipotizzando distanze maggiori tra bersaglio e sommersibile vediamo che l'angolo α diventa ancora più piccolo.

Le condizioni prese ad esempio sono tipiche, ma ipotizzando altri casi non cambierebbe molto la sostanza dell'osservazione che ora andiamo a fare:

la base idrofonica di Fig. 3.3., per ricevere il segnale nel piano verticale, utilizza soltanto un angolo di circa 36° (18° verso l'alto e 18° verso il basso), la

restante parte del piano, che nella figura risulta tratteggiata, non serve ai fini della localizzazione.

Di qui l'esigenza di rendere la base sensibile soltanto in un piccolo settore, in modo da evitare che essa capti il disturbo ambiente in quella parte di piano che non interessa la ricezione dei segnali.

Il problema viene risolto utilizzando, come elementi sensibili della base, dei gruppi di idrofoni sistemati in strutture rettilinee verticali dette stecche idrofoniche. A queste strutture abbiamo già accennato nel paragrafo 2.5. a proposito della necessità di formare degli insiemi di elementi aventi direzione preferenziale di ricezione, cioè buone doti di direttività.

3.3) Le stecche idrofoniche.

Le stecche idrofoniche sono formate da gruppi di idrofoni montati in linea come indicato in Fig. 3.4.



fig. 3.4 Stecca idrofonica

Essi sono collegati elettricamente fra loro e ricoperti di plastica speciale, sono fissati ad un adatto supporto che ne consente il montaggio sulla base così come indicato in Fig. 3.5.

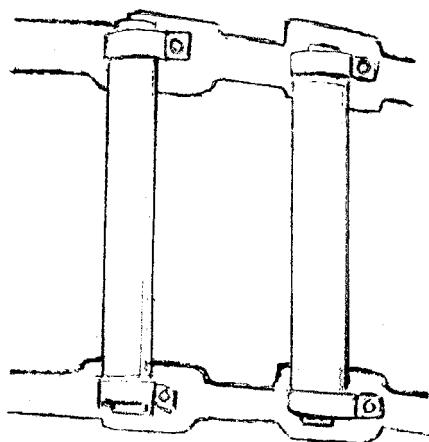


fig. 3.5 Montaggio a scafo delle stecche idrofoniche

La direttività delle stecche idrofoniche dipende, come per gli idrofoni singoli, dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro che vengono ottimizzate

per ottenere la massima immunità al disturbo.

Nel diagramma di Fig. 3.6. è tracciata una tipica curva di direttività, nel piano verticale, di una stecca idrofonica che è idealmente posizionata al centro dei cerchi; in esso si osserva che la massima sensibilità si ha nei lobi principali della curva, per le direzioni simmetriche e normali all'asse longitudinale e che, per direzioni al di là dei venti gradi, la sensibilità decresce molto rapidamente. Si osserva inoltre che il tracciato presenta dei "rigonfiamenti al centro" (lobi secondari) che indicano in quella zona una tendenza, non desiderata, al recupero della sensibilità.

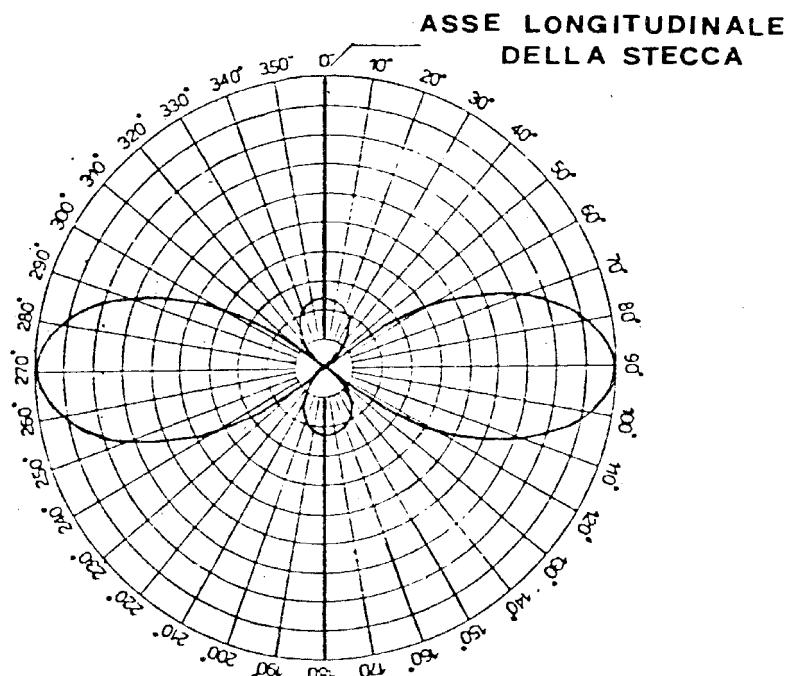


fig. 3.6 Direttività verticale di una stecca idrofonica

La figura mostra la caratteristica in uno degli infiniti piani verticali passanti per l'asse longitudinale della stecca. Se ruotiamo nello spazio il diagramma otteniamo un solido che rappresenta la direttività tridimensionale della stecca così come è visibile in Fig. 3.7: questa è la direttività reale che la stecca presenta nello spazio subacqueo.

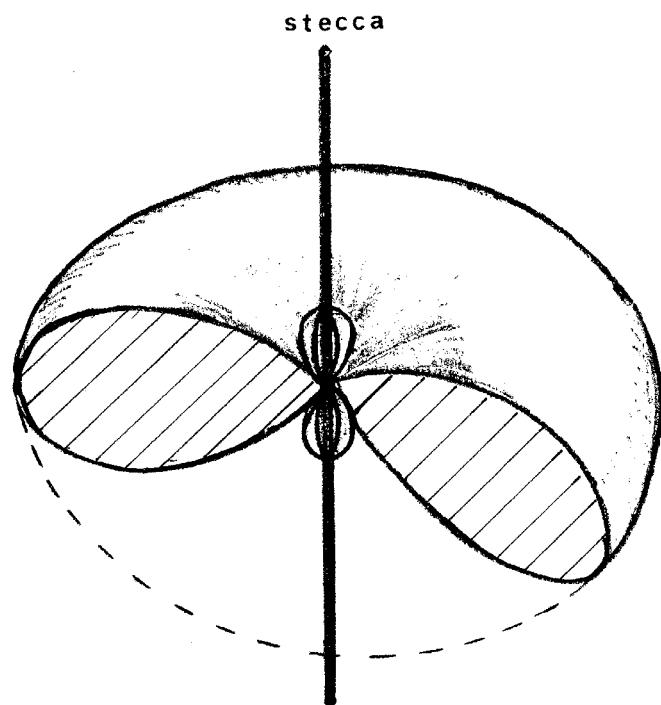


fig. 3.7 Direttività spaziale di una stecca idrofonica

Vediamo ora come si forma la direttività in ricezione di una stecca idrofonica facendo riferimento alla Fig. 3.8.

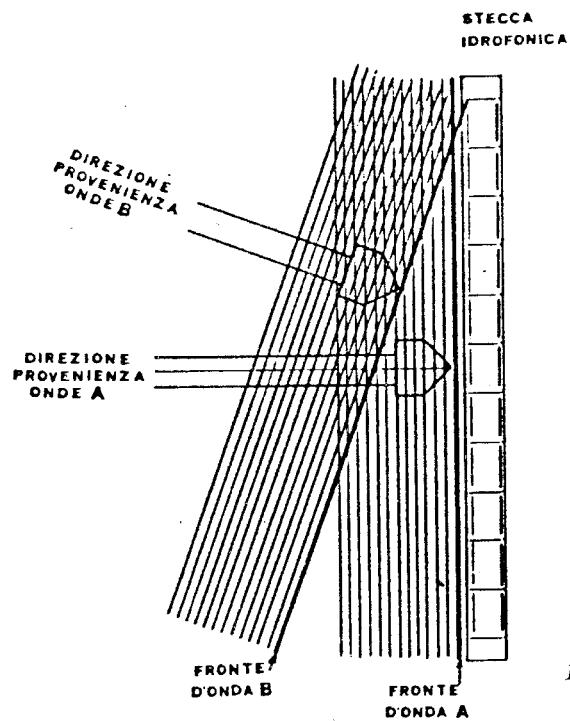


fig. 3.8 Geometria di formazione della direttività verticale

Quando il fronte d'onda che colpisce gli idrofoni della stecca è parallelo all'asse (fronte d'onda A), essi ricevono in ogni istante la stessa pressione. Ciascun elemento genera una tensione elettrica avente ampiezze e polarità istantanee sempre uguali a quelle della tensione generata dall'elemento ad esso adiacente. Essendo gli elementi collegati in serie le tensioni si sommano: in questo caso la tensione in uscita dalla stecca idrofonica sarà massima.

Quando invece il fronte d'onda che colpisce gli idrofoni della stecca non è parallelo all'asse (fronte d'onda B), essi non ricevono più la stessa pressione nello stesso istante perché vengono colpiti in tempi diversi.

Per primo viene colpito l'idrofono più in alto e per ultimo quello più in basso.

Di conseguenza le tensioni elettriche generate dai singoli elementi non hanno sempre uguali né le ampiezze né le polarità istantanee, perciò la tensione somma all'uscita dalla stecca idrofonica sarà inferiore alla massima ottenibile.

Nella formazione della caratteristica di direttività si ha la comparsa, inevitabile, dei lobi secondari che sono dovuti a particolari combinazioni, in ampiezza e polarità, delle tensioni generate dagli idrofoni; dedicheremo il paragrafo 3.10 all'esame dell'influenza che i lobi secondari hanno nel funzionamento del sonar.

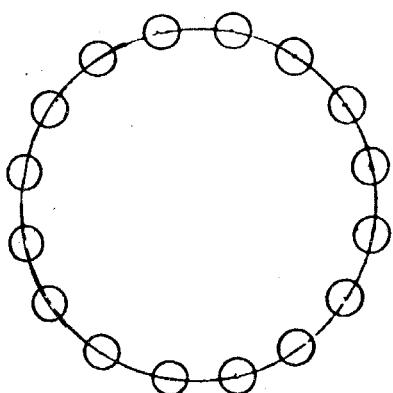


fig. 3.9 Schema di base idrofonica circolare

Per concludere possiamo dire che la tensione in uscita dalla stecca idrofonica varia in funzione della direzione di provenienza del suono rispetto al-

l'asse longitudinale, creando la direttività del gruppo degli elementi allineati. D'ora in poi, quando parleremo di un elemento acustico sensibile, facente parte di una base idrofonica, intenderemo sempre che questo sia una stecca e nel disegnare schematicamente le basi questo comparirà soltanto come un cerchietto (vedi Fig. 3.9)

3.4) Direttività verticale di una base di emettitori.

Il problema che abbiamo esaminato a proposito della direttività in ricezione di una base idrofonica si pone, anche se in termini diversi, per le basi di emettitori.

Il compito di una base di emettitori è di convogliare la massima quantità di energia verso i bersagli che ne devono riflettere l'eco e che si possono presentare, in un caso tipico, come mostrato in Fig. 3.10.

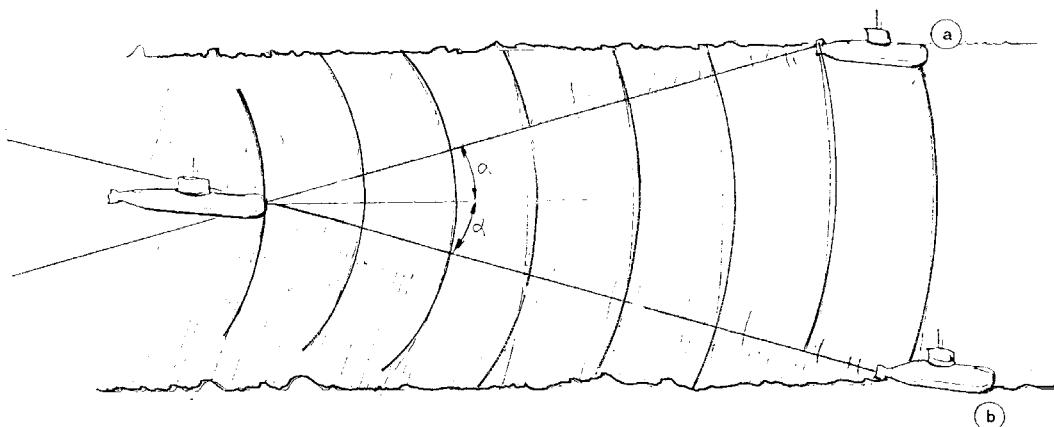


fig. 3.10 Angolo utile per la scoperta dei bersagli passivi

Se il sommersibile è nelle stesse condizioni di quota e di distanza già considerate nell'esempio di Fig. 3.3, gli angoli α , formati dalle congiungenti bersagli-sommersibile e l'asse della base, sono di circa 18° : perciò l'energia emessa al di fuori di questi settori non è utile ai fini della localizzazione. E' opportuno quindi che l'emissione avvenga in un arco di circa 36° del piano verticale, concentrando in esso tutta l'energia disponibile.

Il problema viene risolto in modo analogo a quello della base di ricezione, utilizzando gruppi di idrofoni emittenti, sistemati in strutture rettilinee

verticali dette stecche di emettitori; queste strutture presentano direttività confacenti alle necessità del caso.

3.5) Stecche di emettitori.

Le stecche di emettitori sono formate da gruppi di idrofoni emittenti montati come indicato in Fig. 3.11.

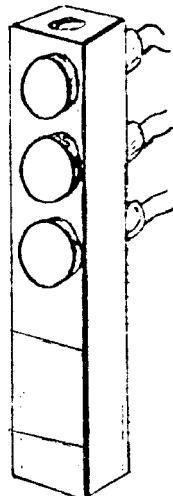


fig. 3.11
Stecca di emettitori

Essi sono collegati elettricamente fra loro e alloggiati in un supporto metallico dal quale si affacciano soltanto le masse vibranti. Le stecche di emettitori sono fissate alla base di emissione così come indicato in Fig. 3.12.

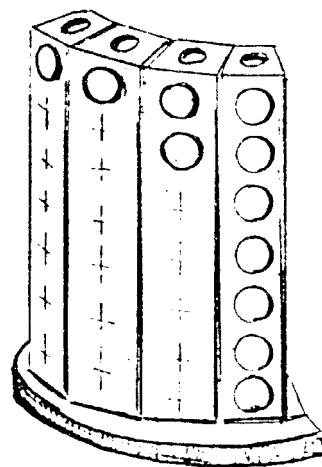


fig. 3.12 Spaccato di base di emettitori

La direttività verticale delle stecche dipende, come per gli idrofoni, dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro che vengono ottimizzate per otte-

nere le prestazioni desiderate.

Nel diagramma di Fig. 3.13 è tracciata una possibile caratteristica di direttività, nel piano verticale, di una stecca di emettitori la cui posizione è ipotizzata al centro del diagramma.

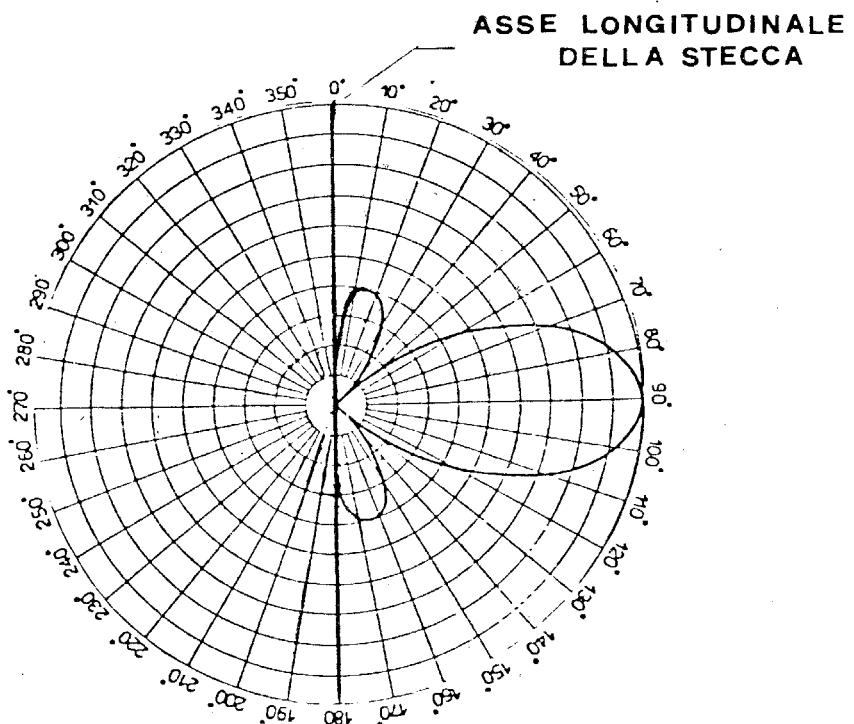


fig. 3.13 Caratteristica di direttività verticale di una stecca di emettitori

In esso si osserva che la massima energia, nel lobo principale, è emessa nella direzione normale all'asse longitudinale della stecca e decresce man mano che ci si allontana da questo. Si nota inoltre che la direttività è tracciata soltanto nella parte destra del diagramma: ciò è conforme al funzionamento degli emettitori che avendo una sola massa vibrante emettono energia soltanto da un lato (vedi paragrafo 2.3).

Sono presenti due lobi secondari, nelle vicinanze dell'asse longitudinale della stecca, che denunciano un leggero aumento, non desiderato, della pressione rispetto alle zone vicine più attenuate.

La figura 3.13 mostra la caratteristica di direttività in uno degli infiniti piani verticali passanti per l'asse longitudinale della stecca; se ruotiamo nello spazio, per soli 180° , il diagramma, otteniamo un mezzo solido che

rappresenta la direttività tridimensionale della stecca così come si vede in Fig. 3.14.

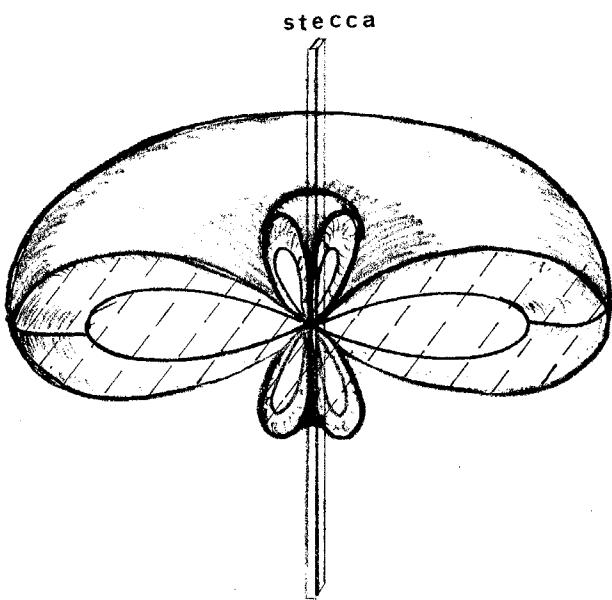


fig. 3.14 Direttività spaziale di una stecca di emettitori

Nelle descrizioni seguenti, quando parleremo di elementi vibranti di una base di emettitori intenderemo, che questi siano stecche di emettitori e nel disegnarli schematicamente essi compariranno come piccoli cerchi.

3.6) Geometrie delle basi riceventi.

Le basi idrofoniche riceventi possono avere diverse forme geometriche a seconda delle specifiche operative del sonar; esse, come insiemi di stecche, hanno a loro volta una caratteristica di direttività che si manifesta nel piano orizzontale, mentre la direttività nel piano verticale è subordinata al tipo di stecca.

La direttività orizzontale delle basi dipende dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro.

La forma geometrica più comune per una base idrofonica è il cerchio; questo tipo di base, come mostrato in Fig. 3.15, deve essere sistemato sulla parte estrema della prua del sommersibile e può avere una struttura simile a quella indicata in Fig. 1.7.

Questa geometria si adatta alla ricezione delle frequenze che vanno dalle medio-basse alle alte, cioè da qualche migliaio di Hertz in su.

Per avere buone direttività nel campo delle basse frequenze, le dimensioni

della base diventano molto grandi e non è agevole, se non impossibile, sistemarla sul sommersibile.

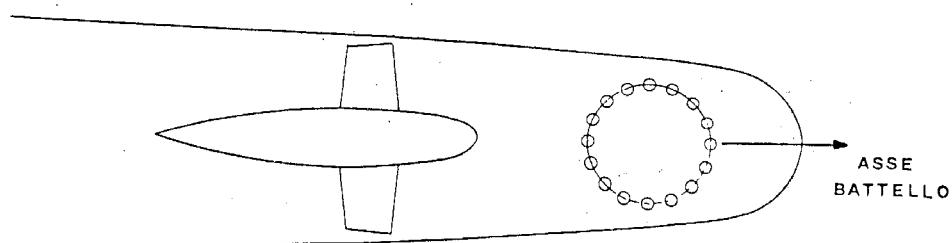


fig. 3.15 Base idrofonica circolare a prua di un sommersibile

Il problema si risolve adottando una geometria diversa dalla circolare, che consente una maggior estensione della base così come si vede in Fig. 3.16.

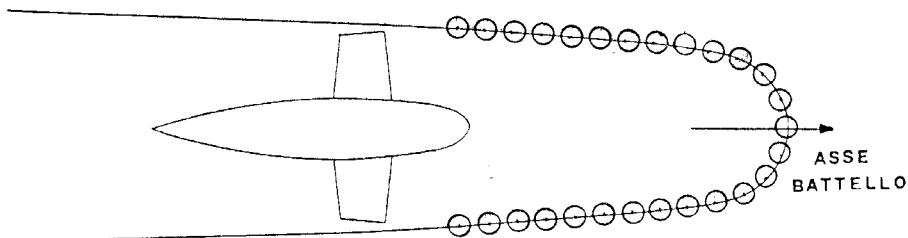
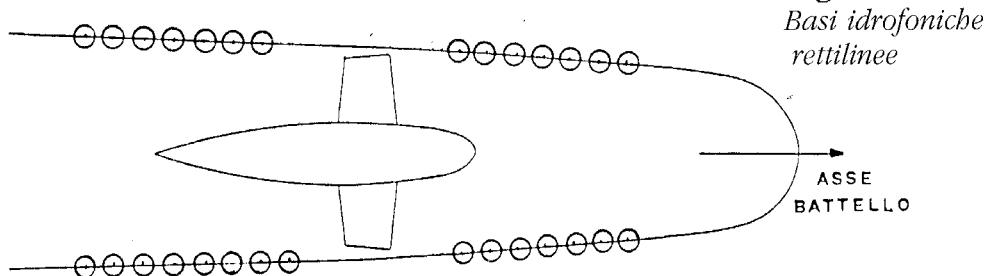


fig. 3.16 Base idrofonica conforme

In questa disposizione detta a “base conforme” le stecche idrofoniche sono montate lungo la parete del profilo di prua del battello, fino ad occupare l'estensione necessaria per ottenere la direttività voluta.

Un'altra disposizione che consente, entro certi limiti funzionali, di ottenere una elevata direttività in un esteso campo di frequenze è quella mostrata in Fig. 3.17.



La base è formata da quattro semibasi rettilinee montate sui profili laterali del battello.

Il sonar con base circolare può essere progettato e costruito quasi senza considerare la forma del battello, invece il sonar con base conforme deve essere progettato sui disegni del battello, adattando ad esso sia la base che i sistemi per l'elaborazione dei segnali.

Una base molto particolare, che è montata su alcuni sommergibili moderni, è costituita da un insieme di idrofoni del tipo già mostrato nella figura 2.6., che sono disposti secondo una superficie sferica così come è indicato in Fig. 3.18.

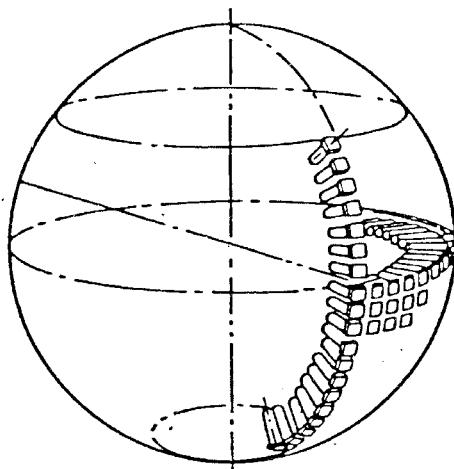


fig. 3.18 Base idrofonica sferica

Questa struttura, dato il tipo di idrofoni impiegati, è adatta a funzionare sia come base ricevente che emittente. La sua forma consente, contrariamente alle altre configurazioni, di ricevere o di emettere in tutte le direzioni dello spazio subacqueo, salvo naturalmente quelle verso la zona di fissaggio sul battello. Per tale peculiarità la base è collocabile indifferentemente tanto sulla parte superiore del battello, nella zona di prua, quanto nella parte inferiore di esso, per sfruttare particolari modi di propagazione delle onde acustiche, come avremo modo di vedere nel capitolo 10. La base può essere configurata anche come semisfera e la sua collocazione sul sommersibile è analoga alla precedente.

In Fig. 3.19 è riportata la sagoma di un battello sul quale è sistemata una base sferica nella parte inferiore verso prua.

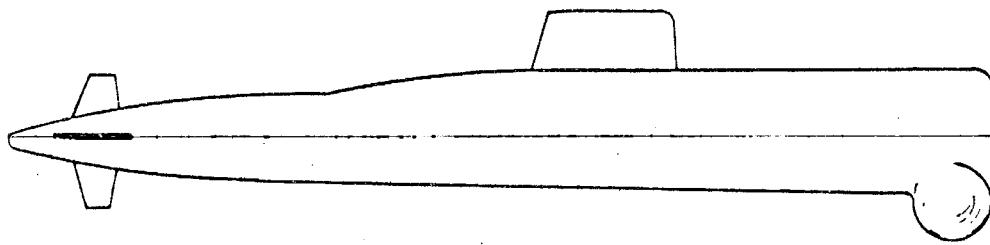


fig. 3.19 Sistemazione della base sferica su di un sommergibile.

3.7) La direttività orizzontale delle basi riceventi.

La direttività orizzontale di una base ricevente è indispensabile sia per ridurre la captazione del disturbo dell'ambiente subacqueo, sia per consentire la discriminazione angolare dei bersagli vicini. La direttività si forma secondo lo stesso principio esposto nel paragrafo 3.2 per le stecche idrofoniche; facciamo riferimento alla Fig. 3.20 in cui è disegnata una base rettilinea collegata, in via di esempio, ad un circuito elettronico per effettuare la somma delle tensioni provenienti dalle stecche.

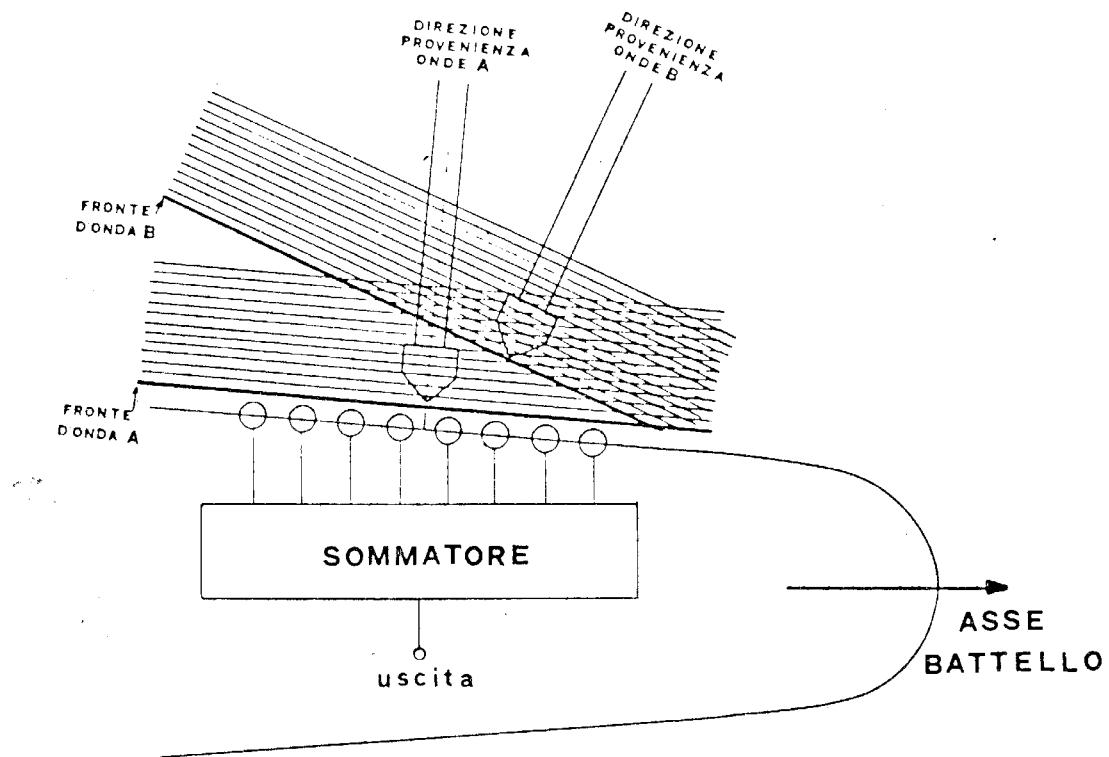


fig. 3.20 Geometria per la formazione della direttività orizzontale di una base idrofonica rettilinea.

Quando il fronte d'onda acustico che colpisce le stecche idrofoniche è parallelo alla base (fronte d'onda A), esse ricevono nel medesimo istante la stessa pressione.

Ciascuna stecca genera una tensione elettrica avente ampiezze e polarità istantanee sempre uguali a quelle della tensione generata dalla stecca vicina. Le tensioni applicate al circuito elettronico si sommano e in questo caso la tensione alla sua uscita è massima.

Quando il fronte d'onda acustico che colpisce le stecche non è parallelo alla base (fronte d'onda B), esse non ricevono più la stessa pressione nello stesso istante, perché non vengono colpite contemporaneamente. Infatti viene colpita per prima la stecca più a destra e per ultima quella più a sinistra. Per questo le tensioni elettriche generate dalle stecche non hanno sempre uguali né le ampiezze né le polarità istantanee e di conseguenza l'uscita del sommatore è inferiore alla massima ottenibile.

Si conclude che la tensione all'uscita del sommatore varia in funzione della direzione di provenienza del suono rappresentando la direttività della base, denominata direttività naturale.

Nella formazione della caratteristica di direttività di una base si ha la comparsa dei lobi secondari, che sono dovuti a particolari combinazioni, in ampiezza istantanea e polarità, delle tensioni generate dalle stecche idrofoniche che la compongono.

Se la base non è rettilinea il principio di formazione della direttività resta lo stesso, salvo l'introduzione di speciali accorgimenti nella somma delle tensioni idrofoniche, di cui parleremo in seguito.

Nella descrizione fatta è stata introdotta la tecnica della somma delle tensioni elettriche provenienti dalle stecche idrofoniche della base: tale metodo sarà d'ora in poi ripreso ognqualvolta sarà necessario descrivere il comportamento di una base.

3.8) Orientamento delle caratteristiche di direttività.

La direttività verticale di una stecca, una volta fissate le dimensioni e la frequenza di lavoro, è generalmente immutabile e ciò soddisfa le esigenze esposte nel paragrafo 3.2.

La direttività orizzontale di una base, una volta fissate le dimensioni e la frequenza di lavoro, è centrata su di una direzione detta "direzione naturale" nella quale la base ha la massima sensibilità, mentre negli altri settori del piano presenta sensibilità molto basse: ciò non soddisfa le necessità del sonar, che deve poter localizzare i bersagli in qualsiasi parte dell'orizz-

zonte.

Consideriamo una base ricevente rettilinea disposta come indicato in Fig. 3.21.

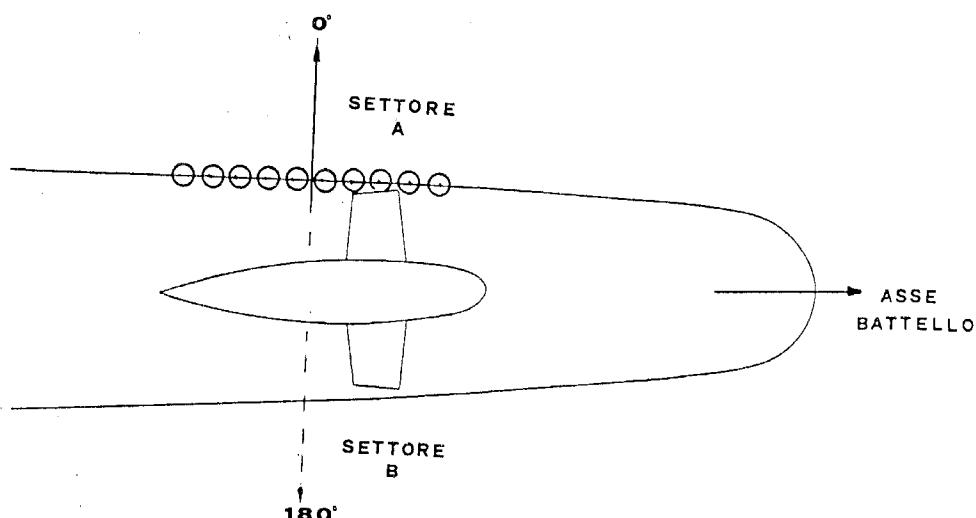


fig. 3.21 Base idrofonica ricevente rettilinea.

La direttività "naturale" di questa base è riportata in Fig. 3.22: in essa si osserva che la massima sensibilità si ha per le direzioni attorno alla normale e che per tutte le altre, del settore A, la sensibilità è molto bassa. La curva tratteggiata indica la direttività naturale simmetrica che la base presenterebbe se non fosse coperta dallo scafo del sommergibile, che impedisce alle onde acustiche, provenienti dal settore B, di colpire la base.

Se le condizioni illustrate fossero immutabili, il sonar potrebbe localizzare soltanto i bersagli collocati attorno all'asse della base. A questa situazione viene in aiuto il sistema di elaborazione del sonar, che, come vedremo in seguito, mediante opportuni trattamenti dei segnali idrofonici, crea nel suo interno condizioni elettriche tali da costringere il lobo principale ad assumere orientamenti diversi da quello normale alla base indicato in figura 3.22, ciò a spese della larghezza del lobo, che diventa tanto più ampio quanto più si sposta dall'asse della base.

La caratteristica di direttività orientabile (artificiale) denominata "fascio" riduce notevolmente la ricezione dei disturbi provenienti dalle direzioni sulle quali esso non è orientato.

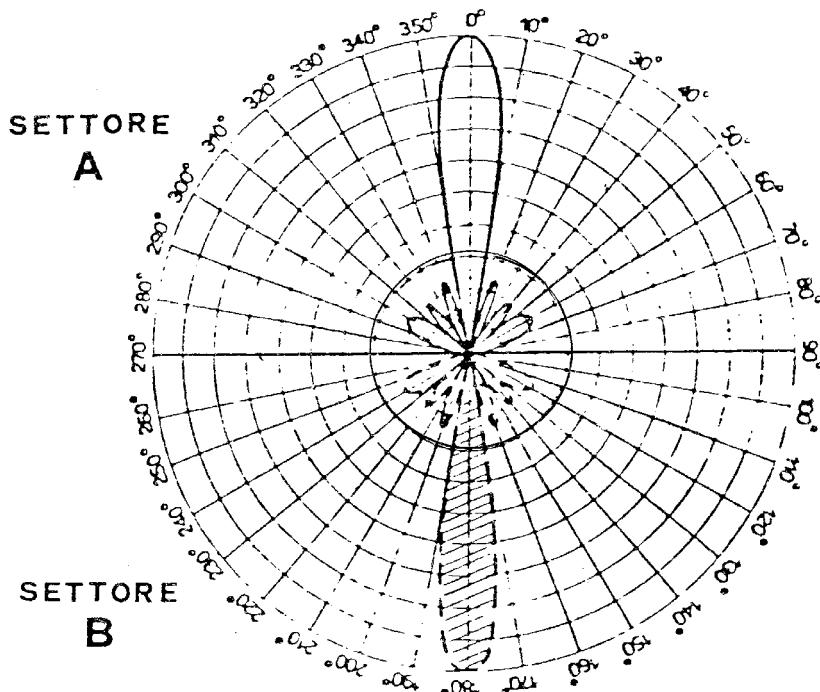


fig. 3.22 Caratteristica di una base ricevente rettilinea installata su di un fianco del sommergibile.

L'orientamento del fascio può avvenire in due modi:

- 1) Con un'azione dell'operatore sul cofano di presentazione e comando del sonar, il fascio può essere fatto ruotare su tutto l'arco in cui la base riceve il suono, in modo da esplorare una direzione dopo l'altra con continuità, così come si vede in Fig. 3.23 (i lobi indicano alcuni tra i possibili orientamenti).
Questo tipo di orientamento viene impiegato nella fase di ricerca manuale dei bersagli.

- 2) In modo automatico, con uno speciale sistema di elaborazione delle tensioni idrofoniche, che dà origine a tanti fasci, ciascuno già orientato in un determinato settore dell'orizzonte.

In Fig. 3.24 è mostrato un esempio con 17 fasci.

Questo sistema è detto dei "fasci preformati" ed è impiegato per la presentazione della posizione angolare dei bersagli sullo schermo video. Con questi metodi è sempre salvo il principio per il quale il fascio direttivo, nella direzione in cui è puntato artificialmente, riceve bene il se-

gnale con una sensibile riduzione nella captazione del disturbo ambiente: le direttività che si ottengono sono dette artificiali.

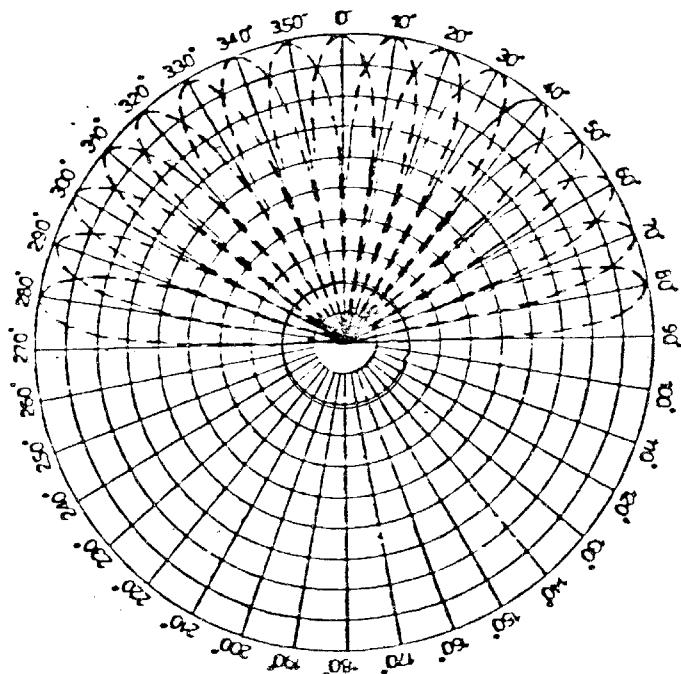


fig. 3.23 Rotazione del fascio direttivo.

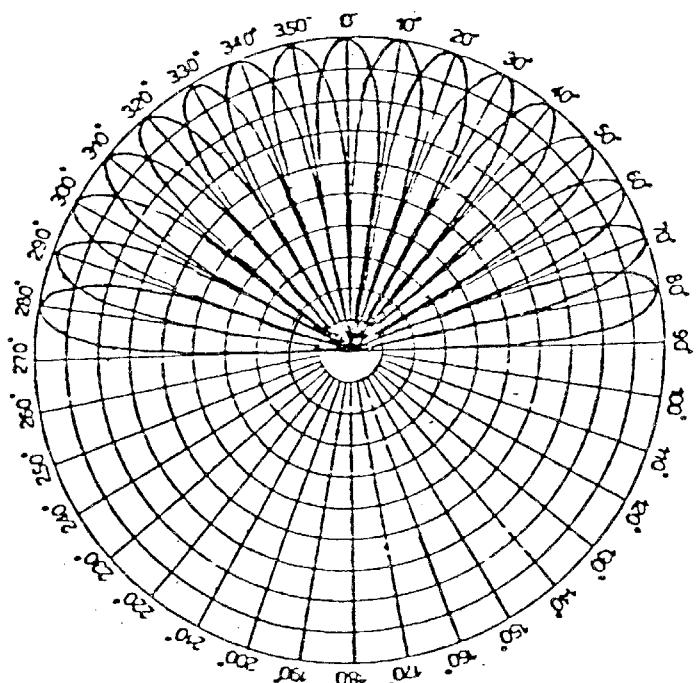


fig. 3.24 Insieme di fasci preformati.

3.9) Geometrie e direttività delle basi di emettitori.

Le basi di emettitori hanno generalmente la forma geometrica circolare e sono montate a prora del sommersibile, come mostra la Fig. 3.25

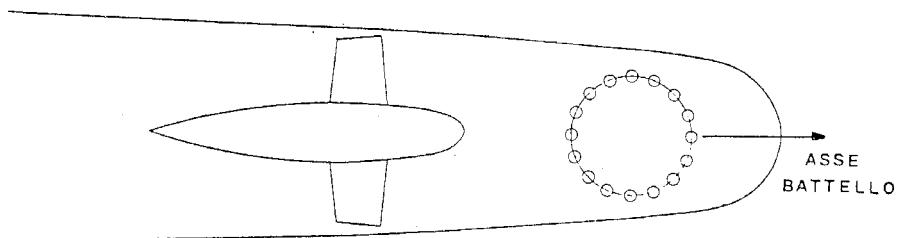


fig. 3.25 Base di emettitori installata a prua del sommersibile.

Questa forma si adatta bene all'emissione dell'energia acustica in tutto il piano orizzontale, nei casi in cui, per ragioni tattiche, si debba scoprire un bersaglio passivo del quale sia presunta l'esistenza nello spazio subacqueo. La geometria di questa base porta ad una direttività di emissione che

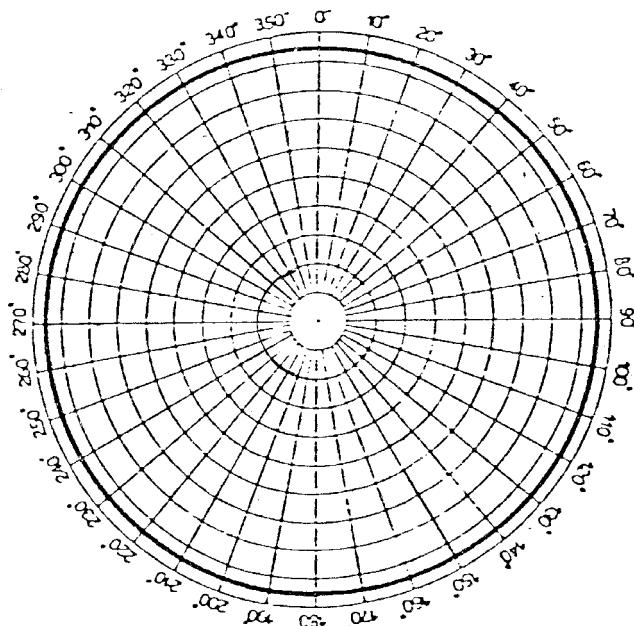


fig. 3.26 Caratteristica di direttività di una base circolare in emissione.

è rappresentata da una circonferenza (vedi Fig. 3.26) e che è ottenuta eccitando contemporaneamente, con gli stessi impulsi di tensione elettrica, tutte le stecche che compongono la base.

La direttività verticale è affidata alle singole stecche di emettitori e soddisfa a quanto detto nel paragrafo 3.4.

In caso di necessità, come già visto al paragrafo 1.7.2.1, è possibile dirigere l'emissione in un settore stabilito mediante un'azione dell'operatore sul co-fano presentazione e comandi del sonar. In tal caso la direttività non è più rappresentata da un cerchio, ma da uno dei diagrammi riportati in Fig. 3.27. In essa si osservano numerosi lobi tratteggiati, ciascuno dei quali rappresenta la caratteristica di direttività puntata dall'operatore in una certa direzione, per un certo numero di direzioni dell'orizzonte, nelle quali può essere diretta l'emissione.

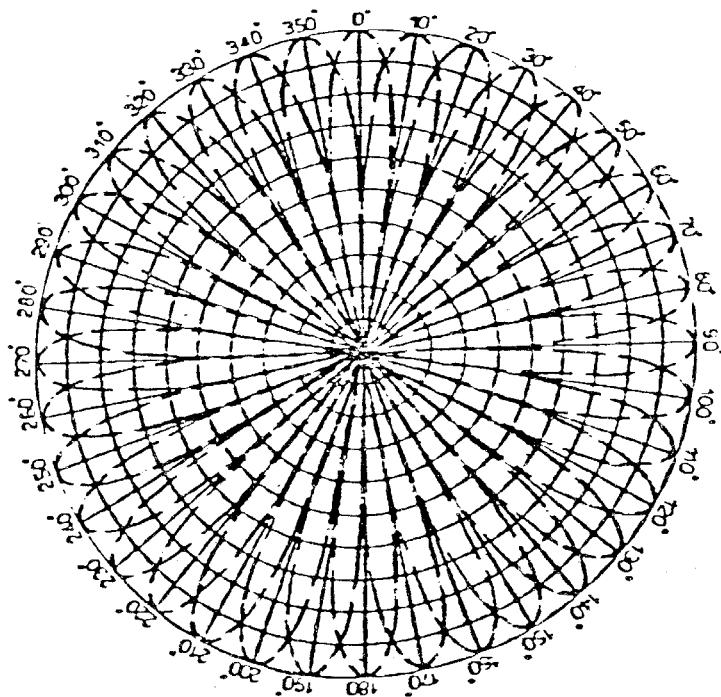


fig. 3.27 Fascio orientato di direttività in emissione.

La rotazione del lobo di direttività è realizzata con appositi circuiti elettrici facenti parte del trasmettitore del sonar.

Le basi di emettitori sono generalmente molto più piccole delle basi riceventi per diversi motivi; tra questi l'impiego di frequenze di emissione relativamente elevate e la modesta necessità di realizzare emissioni molto direttive.

Per le ragioni esposte, molte volte, le basi di emettitori vengono montate all'interno delle basi riceventi, come si vede in Fig. 3.28

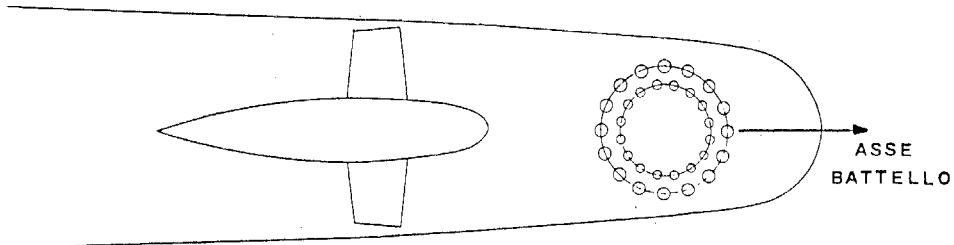


fig. 3.28 Basi concentriche - esterna in ricezione - interna in emissione.

In questi casi l'emissione dell'energia acustica avviene attraverso le stecche della base ricevente senza alterare né l'intensità né la direttività dell'emissione. Tale soluzione, se attuabile, rappresenta un notevole risparmio di spazio nell'installazione del sonar.

3.10) L'influenza dei lobi secondari.

I lobi secondari che fanno parte delle caratteristiche di direttività, sia dei sistemi riceventi, che di quelli emittenti, sono dannosi al regolare funzionamento del sonar. Gli inconvenienti da essi provocati sono diversi: in ricezione si hanno l'inquinamento del segnale e ambiguità nella determinazione della direzione del bersaglio, in trasmissione si ha la dispersione di energia in settori non interessati alla localizzazione.

Esaminiamo l'effetto inquinante che i lobi secondari hanno nella fase di ricezione facendo riferimento alla base idrofonica di Fig. 3.29 e alla sua caratteristica di direttività naturale che, per evidenziare il fenomeno, è stata sovrapposta ad essa.

Dalla figura vediamo che la base presenta la sua direzione preferenziale (lobo principale) centrata attorno alla normale dello schieramento degli idrofoni; i due lobi secondari sono posizionati simmetricamente rispetto alla normale. Consideriamo due bersagli attivi, B1 e B2, posti alla stessa distanza dal sommersibile, che irradiano uguale livello di rumore: il bersaglio B1, centrato sul lobo principale, produce la massima tensione all'uscita del sommatore (vedi paragrafo 3.7), mentre il bersaglio B2, centrato sul lobo secondario, genera un livello di tensione molto più piccolo (si considera B2 un elemento di disturbo).

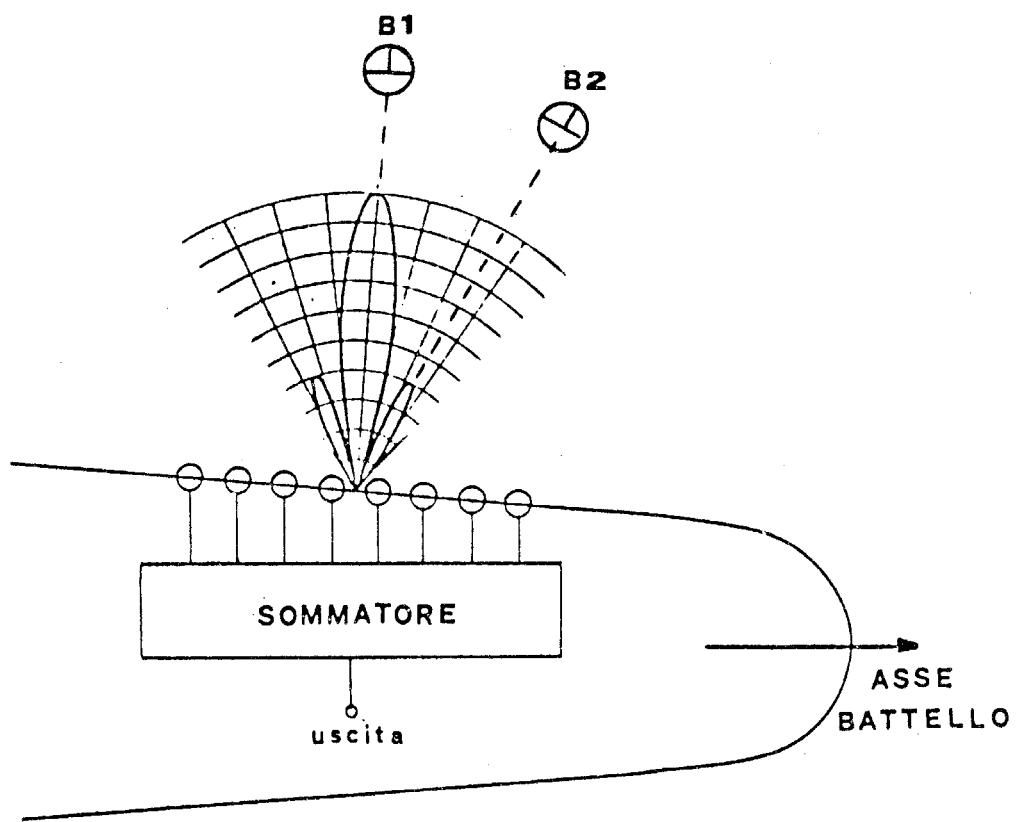


fig. 3.29 Presenza dei lobi secondari in ricezione.

In questa situazione i circuiti di elaborazione del sonar subiscono poco l'effetto inquinante del disturbo apportato dal lobo secondario dato che questo presenta un'ampiezza trascurabile rispetto al principale.

Se supponiamo ora che il bersaglio B1 resti fermo mentre B2 si avvicina al sommergibile, la pressione acustica dovuta al suo rumore colpirà la base con livello a mano a mano crescente e l'ampiezza della tensione dovuta al lobo secondario aumenterà progressivamente fino a diventare come quella del lobo principale se non maggiore. In tali condizioni l'effetto inquinante apportato dal lobo secondario diventa sensibile e pregiudica la localizzazione del bersaglio B1.

Il secondo aspetto dell'influenza negativa dei lobi secondari in ricezione si manifesta quando si ruota artificialmente la caratteristica di direttività ai fini della ricerca dei bersagli, così come descritto nel paragrafo precedente. Questa situazione è riportata in Fig. 3.30.

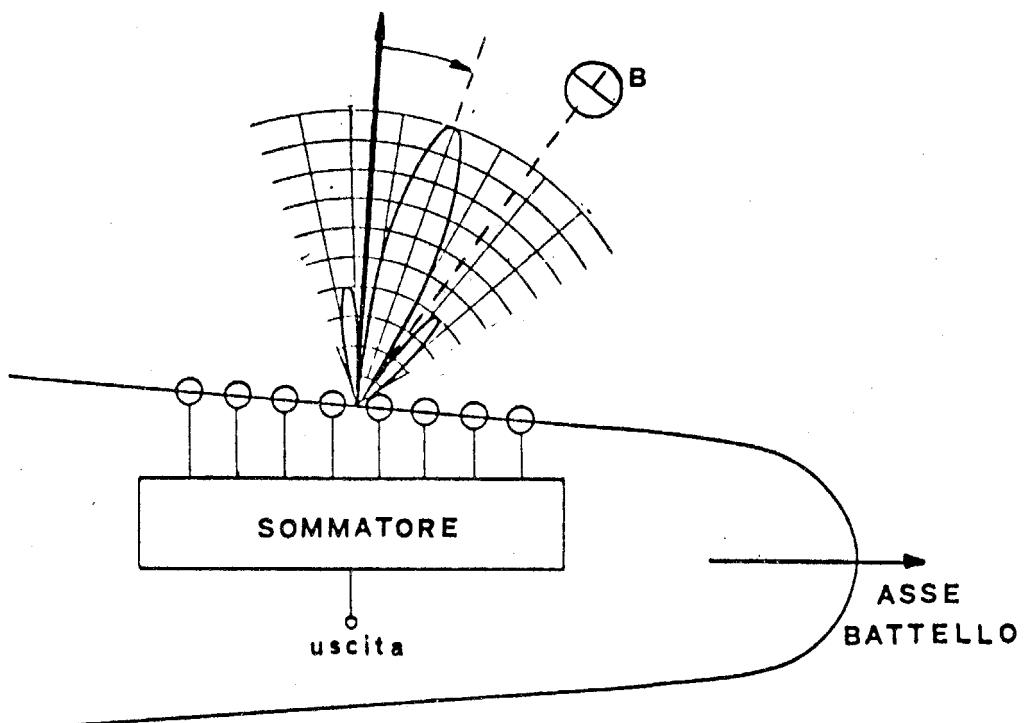


fig. 3.30 L'effetto dei lobi secondari in ricezione.

Se la caratteristica di direttività viene fatta ruotare verso destra alla ricerca del bersaglio B, si ha il massimo della tensione all'uscita del sommatore quando l'asse del lobo principale coincide con la posizione angolare di B, mentre una tensione molto più bassa si ha quando essa coincide con l'asse dei lobi secondari.

Se l'operatore al sonar confronta il livello di tensione dovuto al lobo principale con il livello dovuto al lobo secondario riesce a stabilire, senza ambiguità, che la direzione del bersaglio è quella che fornisce il livello di tensione più alto all'uscita del sommatore.

Dato però che il confronto tra i due livelli di tensione non è sempre agevole, quando l'intensità del segnale è molto elevata può accadere che venga interpretata, come massimo dovuto al lobo principale, una tensione dovuta invece ad un lobo secondario molto intenso.

Una tale ambiguità porta evidentemente ad una errata valutazione della posizione angolare del bersaglio.

Per minimizzare gli effetti dovuti ai lobi secondari sono adottate diverse tecniche che portano a risultati abbastanza soddisfacenti e sono di notevole aiuto all'operatore del sonar. L'influenza dei lobi secondari nella emissione di energia acustica è presa ora in esame facendo riferimento alla Fig. 3.31 nel caso di una trasmissione con fascio orientato.

Nel disegno è raffigurata una base circolare emittente sulla quale, per evidenziare il fenomeno, è riportata la caratteristica di direttività in funzionamento direzionale.

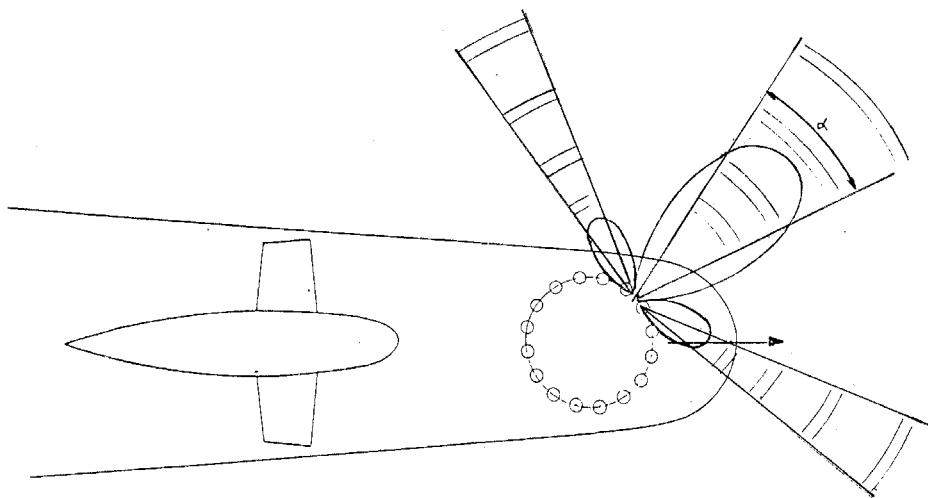


fig. 3.31 L'effetto dei lobi secondari in emissione.

L'energia del fascio dovrebbe essere contenuta nel settore definito dal lobo principale, la presenza dei lobi secondari invece fa sì che una certa parte di energia venga emessa in settori che non sono interessati alla localizzazione. Questo fatto provoca una serie di inconvenienti; il primo è relativo ad una dispersione di energia che, anche se modesta, viene sottratta al settore utile, più dannoso è invece il fatto che tale energia può provocare l'eco non desiderata di bersagli al di fuori del campo che si deve esplorare ed infine l'emissione nella direzione dei lobi secondari fa aumentare la probabilità che il sommergibile venga scoperto dai sonar nemici.

La tecnica più comune per ottenere la riduzione dei lobi secondari, tanto in ricezione quanto in trasmissione, è basata sulla modifica calibrata delle ampiezze delle tensioni elettriche che, in ricezione, provengono dalle stecche idrofoniche, o che, in trasmissione, devono essere applicate alle stecche di trasduttori. Con tale procedimento si ottengono, in entrambi i casi, notevoli riduzioni dei lobi secondari a scapito però della "bontà" del lobo principale che tende ad allargarsi sensibilmente.

Recenti metodi per il trattamento dei segnali idrofonici consentono di ottenere risultati eccezionali nella riduzione dell'ampiezza dei lobi secondari, ma implicano l'impiego di potenti calcolatori elettronici come ausilio al sonar.

3.11) La misura della direzione con i fasci orientati.

In questo paragrafo ci occuperemo della misura della direzione di un bersaglio mediante l'impiego dei fasci orientati, esamineremo l'aspetto generale del problema rimandando la descrizione dei meccanismi che presiedono alla formazione dei fasci nel successivo capitolo.

Per comprendere meglio come si misura la direzione di un bersaglio ribadiamo il concetto di direttività naturale già espresso nel paragrafo 3.7; la caratteristica di direttività di una base ricevente si manifesta, all'uscita del sommatore elettronico, come tensione elettrica la cui ampiezza varia in funzione della direzione di provenienza delle onde acustiche.

Consideriamo un bersaglio attivo, che si sposta lungo un arco di cerchio, da A verso B, rispetto alla base idrofonica (vedi Fig. 3.32); quando il bersaglio è dalla parte A la tensione all'uscita del sommatore è molto piccola, perché in quel settore la base presenta la sensibilità più bassa. A mano a mano che il bersaglio si avvicina alle direzioni di massima sensibilità nel settore coperto dal lobo principale, la tensione cresce fino ad un massimo in corrispondenza della coincidenza tra la direzione assunta dal bersaglio e l'asse del lobo principale. Proseguendo nel moto, il bersaglio si allontana verso destra e la tensione di uscita dal sommatore decresce nuovamente verso valori molto bassi.

Dall'osservazione di questo fenomeno si evidenzia un fatto molto importante; controllando come varia la tensione di uscita dal sommatore si potrebbe stabilire quando il bersaglio si trova sulla direzione normale alla base, cioè sull'asse del lobo principale, per tale direzione infatti si ha la massima tensione dal sommatore.

Questa è l'unica misura di direzione che potrebbe essere effettuata, con base ferma, sfruttando la caratteristica di direttività naturale; per eseguire misure di direzione di bersagli comunque orientati si dovrebbe ruotare la base.

Se supponiamo di avere il bersaglio fermo in A e di ruotare fisicamente la base verso sinistra, mediante lo spostamento del sommergibile, si ottiene una variazione della tensione del sommatore, che raggiunge il valore massimo quando l'asse della base coincide con la direzione del bersaglio.

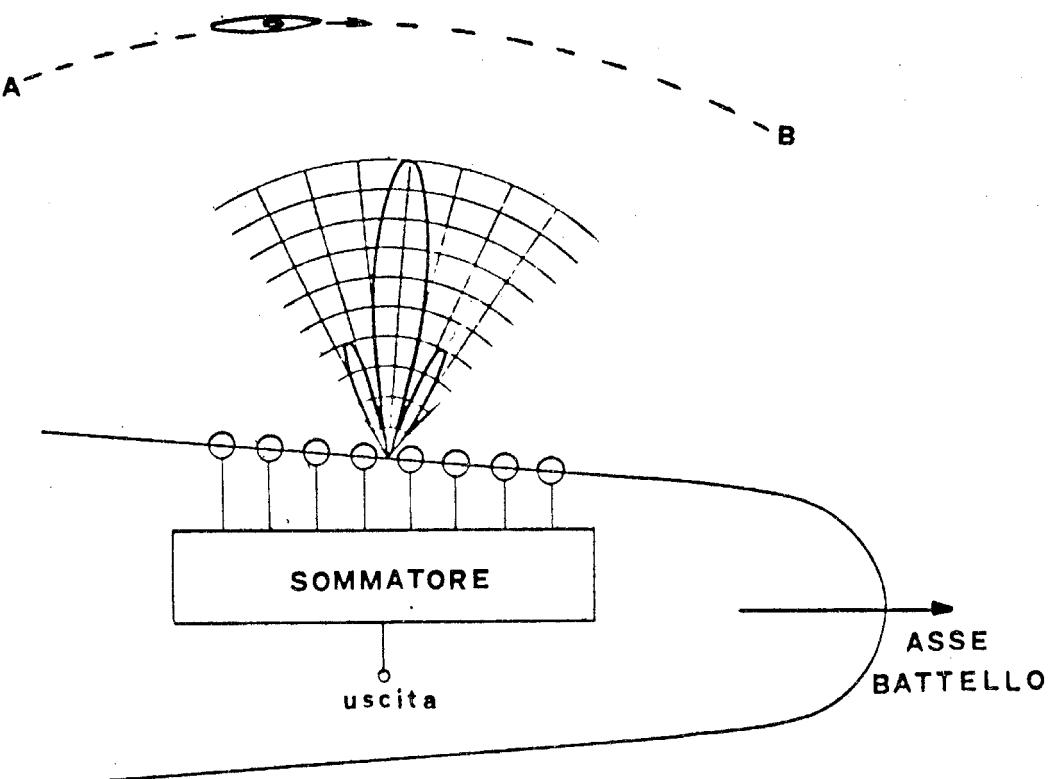


fig. 3.32 Bersaglio attivo in movimento - rilevamento naturale.

Seguendo questo principio si giunge alla concezione del fascio orientato, che si sostituisce alla base rotante.

Vediamo ora il comportamento di una base idrofonica collegata ad un singolo sistema per l'orientamento artificiale della caratteristica di direttività avvalendoci della Fig. 3.33

Il sistema di orientamento del fascio è rappresentato in figura come un blocco dal quale fuoriesce l'asse del volantino, con il quale l'operatore comanda la rotazione del fascio. Il blocco riceve le tensioni provenienti dalle stecche idrofoniche della base e dopo averle opportunamente elaborate, le invia al sommatore elettronico per la composizione della caratteristica di direttività artificiale.

Il volantino di comando sostiene un disco graduato sul quale l'operatore legge la direzione di orientamento assunta dal fascio.

Quando il fascio, cioè la caratteristica artificiale della base, è indirizzato dall'operatore su di una direzione molto lontana da quella del bersaglio, la tensione all'uscita del sommatore è molto bassa, quando il fascio viene fatto ruotare a destra, verso il bersaglio, la tensione aumenta fino ad un massimo in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del lobo principale e la direzione del bersaglio, decresce poi man mano che il lobo princi-

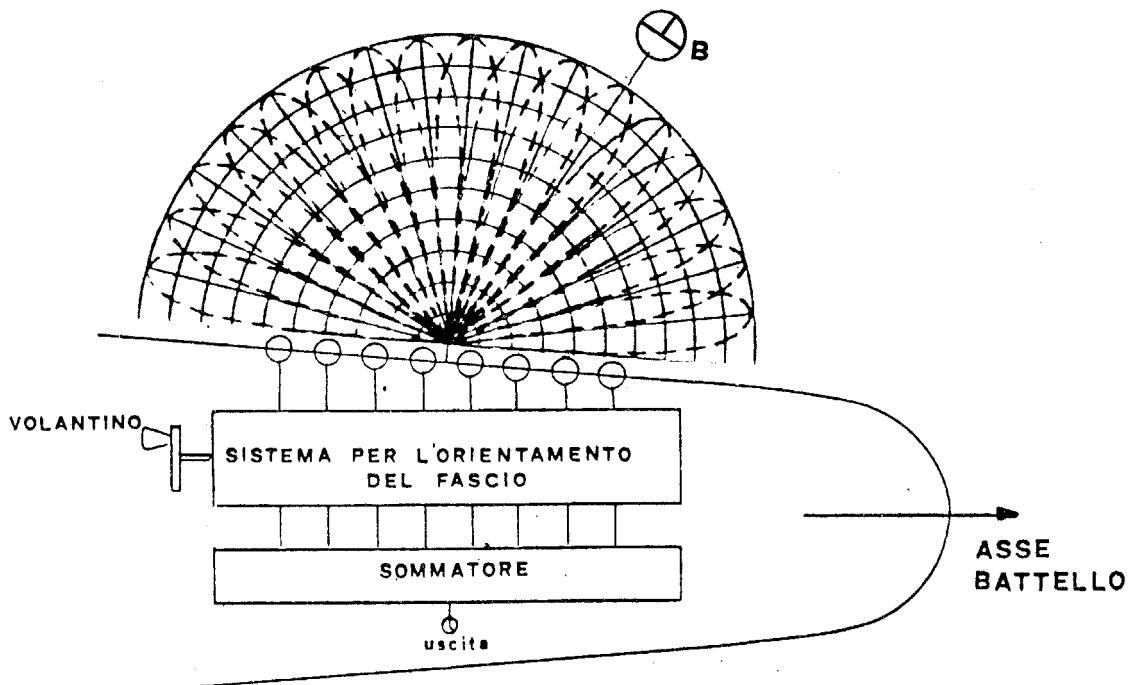


fig. 3.33 Bersaglio attivo fermo - ricerca con fascio orientato.

pale si allontana dal bersaglio, lasciandolo alla sua sinistra.

La direzione del bersaglio è individuata nel momento in cui la tensione in uscita dal sommatore raggiunge il massimo livello, in quel momento l'operatore, che ha agito sul volantino per centrare il fascio sul bersaglio, legge sull'apposito quadrante l'indicazione angolare dell'orientamento del fascio rispetto all'asse della base, questa coincide con la direzione del bersaglio rispetto allo stesso riferimento.

Vediamo ora come si misura la direzione con il sistema dei fasci preformati a seguito dell'osservazione contemporanea delle tensioni di uscita di tanti sommatori elettronici.

Cerchiamo di chiarire quanto detto facendo riferimento alla Fig. 3.34. In essa compaiono, collegati alla base idrofonica, dieci blocchi per la formazione dei fasci; i blocchi sono privi del volantino perché ciascuno di essi è già indirizzato in una direzione prefissata. Le direzioni dei fasci sono distanti tra loro, a titolo di esempio, 10° si da coprire un arco di più o meno 50° rispetto all'asse della base. Un bersaglio attivo, che si trova nell'arco in cui sono indirizzati i dieci fasci, provoca all'uscita del sommatore, il cui fascio è più vicino alla direzione del bersaglio, una tensione più elevata di quella in uscita dai sommatori dei fasci contigui che sono più lontani dal bersaglio.

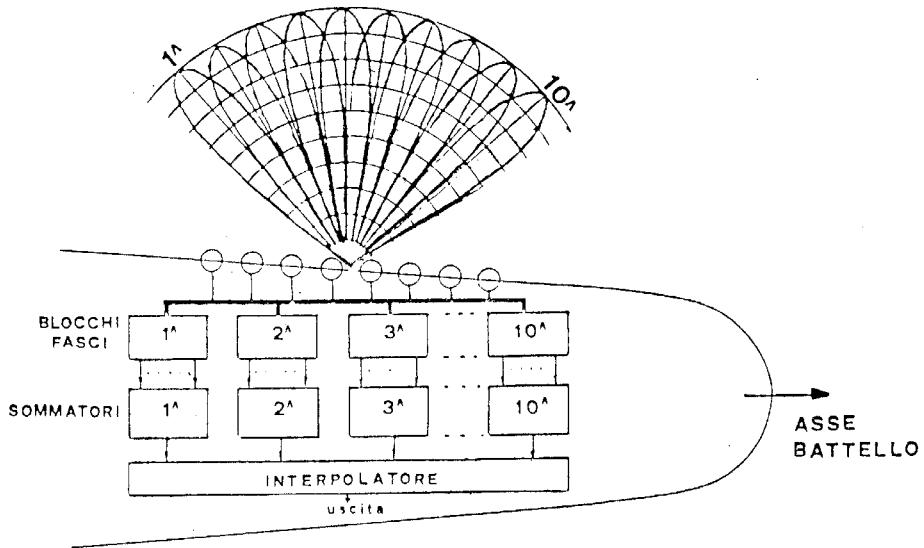


fig. 3.34 Sistema di rilevamento dei bersagli attivi con fasci preformati.

La presenza di una tensione più elevata all'uscita di un sommatore rispetto agli altri rivela già la presenza del bersaglio nell'intorno della direzione in cui è indirizzato il fascio; per stabilire con precisione la direzione del bersaglio tutte le dieci tensioni dei sommatori vengono convogliate in un dispositivo detto interpolatore.

L'interpolatore, il cui funzionamento si basa su principi molto complessi, individua con accuratezza la direzione del bersaglio. Il blocco di interpolazione fa parte integrante del sistema di fasci preformati multipli e con essi è contenuto nel cofano di elaborazione del sonar.

Chiariremo il concetto di interpolazione nel capitolo seguente che è dedicato ai principi della localizzazione.

3.12) Risoluzione angolare.

Con il termine "risoluzione angolare" si intende la capacità di una base idrofonica ricevente di distinguere la posizione di due bersagli vicini tra loro e posizionati alla stessa distanza rispetto al sommersibile. Vediamo quale importanza ha la capacità di risoluzione della base nelle operazioni di localizzazione: prendiamo ad esempio la situazione operativa di Fig. 3.35 in cui è mostrata una base idrofonica con fascio orientabile che viene puntato successivamente sui bersagli B1 e B2 allo scopo di determinarne le posizioni angolari.

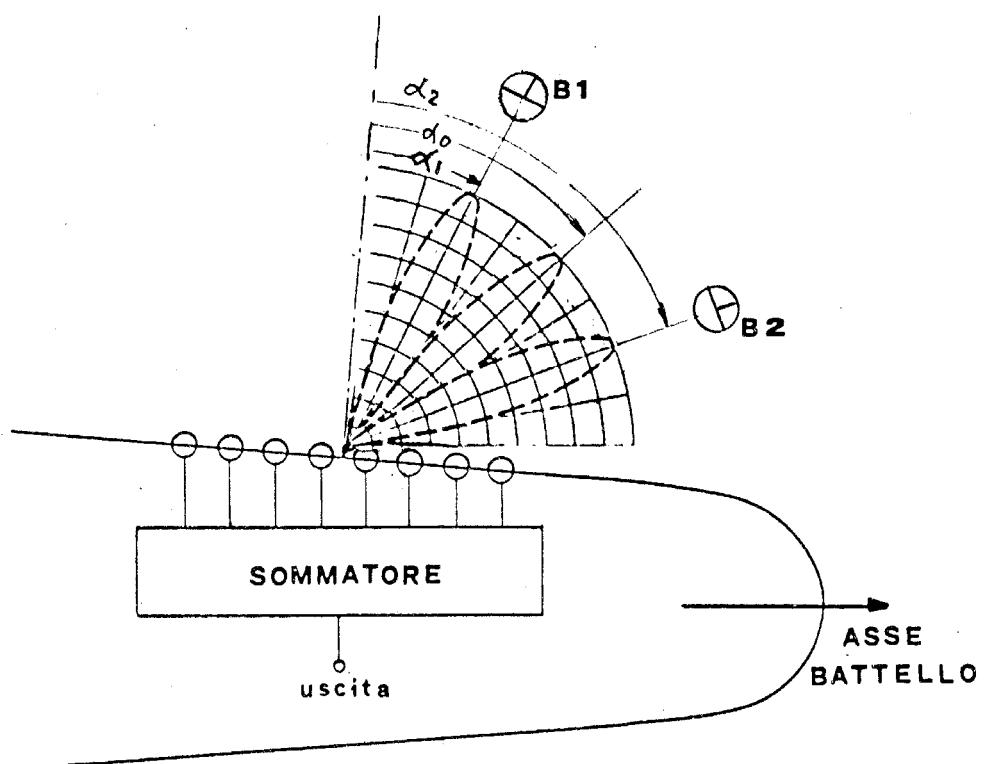


fig. 3.35 Geometria per la risoluzione angolare - bersagli angolarmente distanti.

Dal disegno si intuisce che nella rotazione del lobo, prima su B1 dopo su B2, la tensione elettrica all'uscita del sommatore è massima quando il fascio è orientato su B1, diventa molto bassa quando il fascio è posizionato tra B1 e B2, su α_0 , e ritorna ancora al massimo quando il fascio è orientato su B2.

In queste condizioni è facile stabilire le direzioni α_1 e α_2 dei bersagli rispetto all'asse normale alla base, infatti esse sono chiaramente individuate dato che abbiamo il primo massimo di tensione dal sommatore in corrispondenza dell'angolo α_1 , un minimo netto in corrispondenza dell'angolo α_0 , un altro massimo in corrispondenza dell'angolo α_2 .

La risoluzione angolare che si ottiene in questo caso è dovuta a due condizioni predeterminate:

- 1) I bersagli sono stati posti, a proposito, su due direzioni angolarmente molto distanti tra loro.
- 2) Il lobo di direttività è stato volutamente disegnato con una larghezza adatta all'esempio che dovevamo fare.

Le situazioni reali, purtroppo, sono molto diverse e dipendono oltre che dalla caratteristica di direttività, dalle posizioni casuali dei bersagli.

Consideriamo il caso, simile al precedente, mostrato in Fig. 3.36; in esso, i due bersagli, B1 e B2, sono più vicini e il fascio orientabile nel passare da B1 a B2 non produce una netta diminuzione della tensione all'uscita del sommatore dato che non ha lasciato completamente il primo bersaglio quando già inizia a orientarsi sul secondo, perciò si potrà distinguere un massimo dall'altro soltanto per una leggera flessione del livello di tensione del sommatore che si presenta quando il lobo è orientato tra i due bersagli. Naturalmente la situazione illustrata diventa critica se i bersagli sono ancora più vicini ed il lobo principale non consente, nel passaggio tra B1 e B2, di notare un decadimento della tensione all'uscita del sommatore.

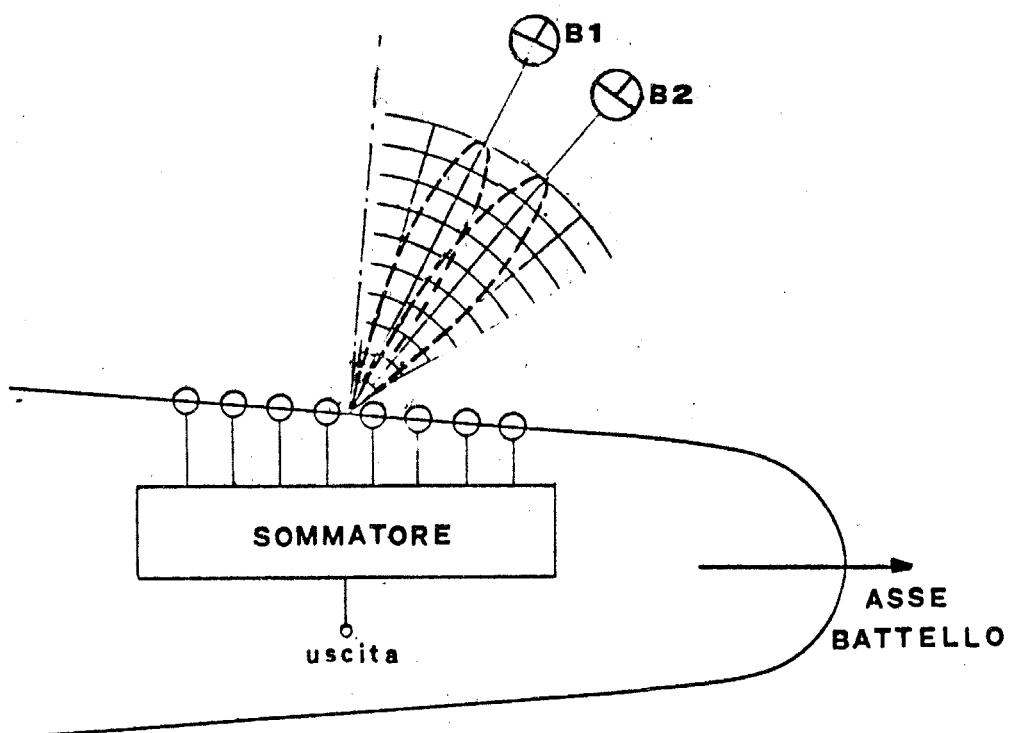


fig. 3.36 Geometria per la risoluzione angolare - bersagli angolarmente vicini.

In questo caso la risoluzione angolare della base non è più sufficiente e non è possibile determinare la posizione angolare dei due bersagli. Si rileva invece la direzione di uno pseudo bersaglio che si presenta nella direzione mediana ai due.

Per quanto detto possiamo affermare che una base ha una buona risoluzione angolare quando la sua caratteristica di direttività ha un lobo principale.

pale molto stretto. I calcoli dimostrano che la larghezza del lobo dipende dalla frequenza di lavoro e dalle dimensioni della base. Pertanto, una volta fissata la prima per ragioni operative, si dovranno adattare le dimensioni della base per ottenere la capacità di risoluzione richiesta.

Indicativamente accenniamo ai valori di risoluzione angolare che si possono ottenere con le basi idrofoniche installate sui sommergibili; per le basi aventi dimensioni piccole si rilevano bersagli distanti tra loro qualche decina di gradi, con le basi di medie dimensioni la risoluzione può essere di qualche grado, per basi molto grandi si possono ottenere delle risoluzioni angolari dell'ordine di alcuni decimi di grado.

CAPITOLO 4

Principi, sistemi e metodologie per la localizzazione subacquea passiva

4.1) La misura della direzione come ritardo temporale.

In precedenza abbiamo esaminato il problema della misura della direzione avvalendoci, in parte, dei principi secondo i quali vengono composte le caratteristiche di direttività e in parte seguendo criteri applicativi. In questo paragrafo e nei successivi esamineremo i principi fondamentali che sono comuni a tutte le misure acustiche dei sonar.

I rilievi della direzione e della distanza di un bersaglio attivo si eseguono con le misure dirette o indirette (“compensazione”) dei ritardi che il fronte d’onda acustico presenta rispetto alla base idrofonica. Introduciamo questi nuovi concetti facendo riferimento alla Fig. 4.1 in cui sono mostrate due stecche idrofoniche, S1 - S2, colpite da un fronte d’onda piano, inclinato rispetto all’asse della congiungente le due stecche (asse della base).

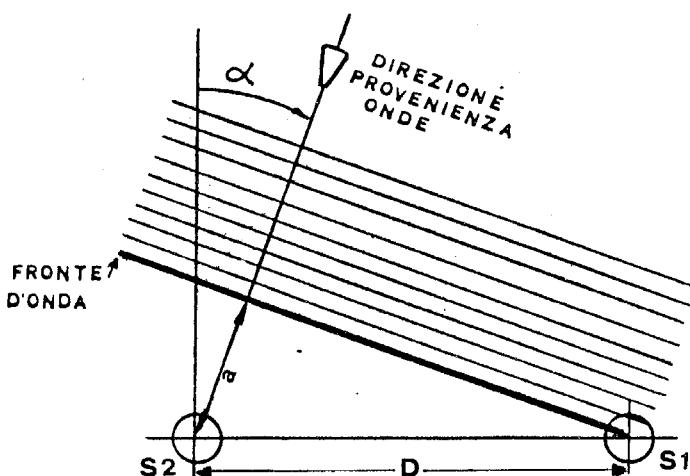


fig. 4.1 Geometria per il rilievo dei ritardi del fronte d’onda su due idrofoni.

Nella figura sono evidenziati l’angolo α , formato dalla direzione di provenienza del fronte d’onda con una normale alla base, la differenza di percorso (a) che l’onda deve superare per passare dalla stessa S1 alla stessa S2 e la distanza D tra le stecche. Il tempo t che l’onda impiega nel percorrere

lo spazio (a) dipende dalla velocità di propagazione del suono nell'acqua che è dell'ordine di 1500 m/sec, t è proporzionale allo spazio (a) e varia con esso al variare dell'angolo α .

Dall'esame della geometria di Fig. 4.1. si vede chiaramente come varia il tempo di ritardo dell'onda quando varia α ; quando α è zero non esiste la differenza di percorso (a) tra l'onda che colpisce S1 e quella che colpisce S2 e il tempo di ritardo t è nullo, quando α aumenta cresce la differenza di percorso (a) e di conseguenza cresce anche il tempo di ritardo t, al limite per α uguale a 90° la differenza di percorso (a) coincide con la distanza D tra S1 e S2 e il tempo t raggiunge il suo valore massimo.

E' facilmente calcolabile la dipendenza del tempo di ritardo t dalle variazioni dell'angolo α , una volta fissati la distanza tra le stecche D e la velocità di propagazione del suono nell'acqua.,

Posto ad esempio D uguale a 20 cm e assumendo la velocità del suono uguale a 1500 m/sec, dal calcolo si ottiene il grafico di Fig. 4.2. che mostra come varia il tempo di ritardo t al variare dell'angolo α .

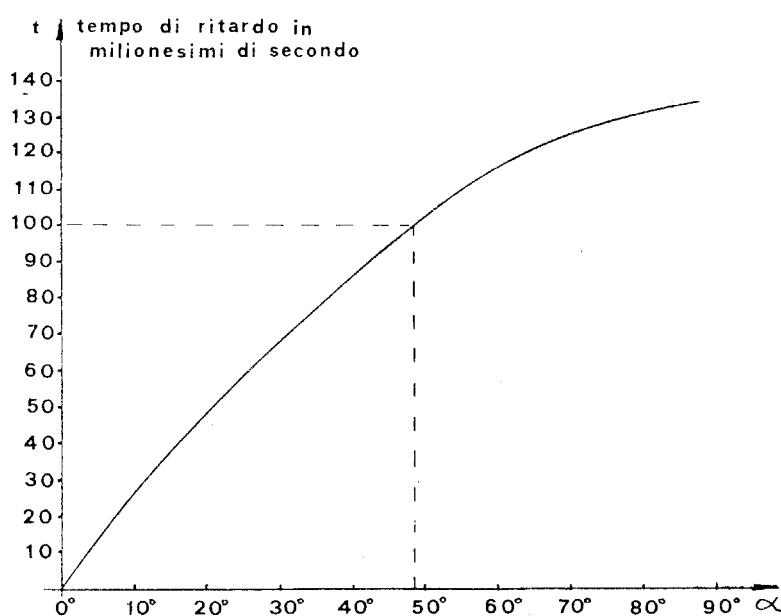


fig. 4.2. Tempi di ritardo tipici.

Dall'osservazione del grafico emergono due fatti importanti; il primo ci dice che se siamo in grado di misurare il tempo di ritardo t possiamo stabilire quale è il valore corrispondente dell'angolo α che indica la direzione del bersaglio (ad un tempo di ritardo di 100 milionesimi di secondo, ad e-

sempio, corrisponde la direzione del bersaglio di circa 48°), l'altro evidenzia che i tempi da misurare sono molto piccoli, dell'ordine di decine di milionesimi di secondo.

Il problema della misura della direzione del bersaglio si trasforma pertanto nella misura del piccolo tempo di ritardo che intercorre tra l'impatto dell'onda acustica su S1 e l'arrivo della stessa su S2.

Il modello acustico di Fig. 4.1 è estensibile alle basi idrofoniche più complesse per le quali valgono gli stessi ragionamenti; naturalmente, se si impiegano più stecche per ottenere le direttività volute, la misura del tempo di ritardo deve essere fatta più volte come mostra la Fig. 4.3.

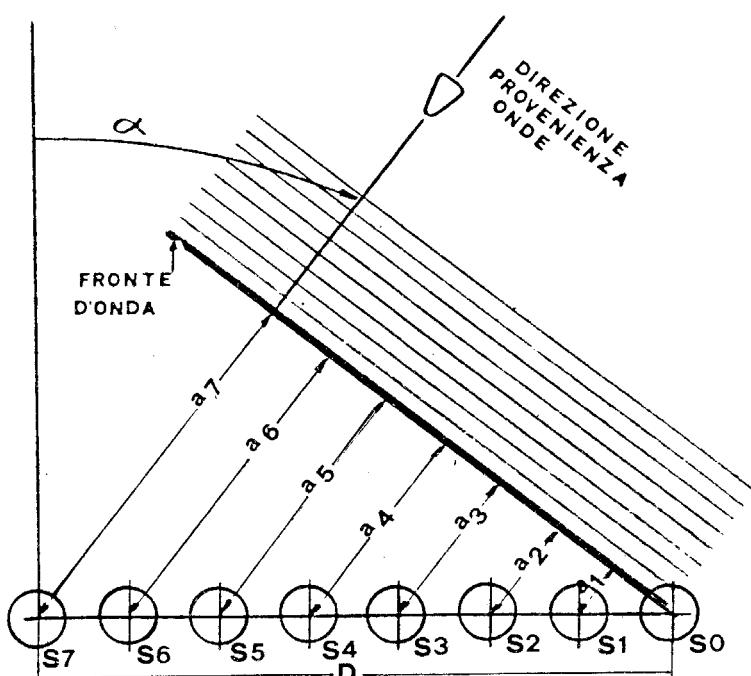


fig. 4.3 Geometria per il rilievo dei ritardi del fronte d'onda su di una base a più idrofoni.

Dal disegno si vede che in questo caso, relativo ad una base di otto stecche idrofoniche S0-S7, le differenze di percorso che l'onda acustica deve compiere per passare dalla stecca S0 alle successive, sono rispettivamente (a1) per S1, (a2) per S2.. (a7) per S7 e a ciascuna di esse corrisponde un tempo di ritardo t1, t2, ... t7.

I tempi di ritardo dipendono dall'angolo α con la stessa legge con la quale è stato calcolato il diagramma di Fig. 4.2.

In questo caso la misura della direzione del bersaglio si trasforma nella misura di sette tempi di ritardo ciascuno dei quali concorre alla determina-

zione dell'angolo α nel modo che vedremo in seguito.

Abbiamo ora esposto il principio della misura della direzione passando da una prima grandezza, lo spazio (a) percorso dal fronte d'onda, ad una seconda grandezza, il tempo di ritardo t associato ad (a).

Vediamo come quest'ultima grandezza influenzi le tensioni idrofoniche generate dalle stecche del modello acustico di Fig. 4.1. Queste tensioni hanno ampiezza e polarità casuale dipendenti dal tipo della sorgente acustica.

Supponiamo di visualizzare sullo schermo di un oscilloscopio, per un brevissimo intervallo di tempo, le tensioni delle stecche S_1 e S_2 (vedi Fig. 4.4).

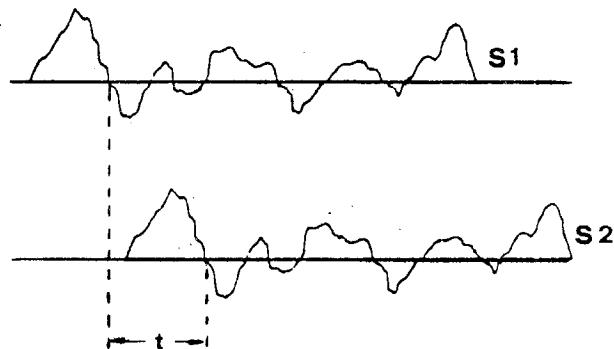


fig. 4.4 Tensioni idrofoniche ritardate nel tempo.

I due tracciati mostrano profili uguali, ma spostati nel tempo; infatti la tensione generata dalla stecca S_1 è dovuta alla stessa pressione acustica che, dopo aver percorso lo spazio (a) nel tempo t , colpisce anche S_2 .

Ecco quindi che l'informazione relativa alla direzione del bersaglio si trova sotto forma di spostamento temporale, nelle due tensioni provenienti dalle stecche idrofoniche; naturalmente quanto detto è valido anche per le tensioni delle stecche di qualsiasi base idrofonica.

Nel trattamento dei segnali sonar, per la determinazione della direzione del bersaglio, la misura del tempo di ritardo del fronte d'onda viene sempre effettuata con metodi diretti o indiretti, sulle tensioni elettriche provenienti dalle stecche idrofoniche della base.

I meccanismi a cui si è fatto cenno a proposito dei sistemi a fasci orientati,

che consentono di ottenere all'uscita dei sommatori elettronici le tensioni variabili in funzione dell'angolo di puntamento del fascio, sono basati sulla misura dei tempi di ritardo di cui sono affette le tensioni delle stecche idrofoniche.

D'ora in poi, ognqualvolta si parlerà genericamente di "tensione della stecca", si dovrà intendere che questa perviene al sistema che si sta descrivendo da una scheda di amplificazione simile a quelle descritte nel paragrafo 1.7.1.2.

4.2) I metodi per la misura del tempo di ritardo delle tensioni idrofoniche.

Nel paragrafo precedente abbiamo visto che la misura della direzione del bersaglio si traduce nella misura del tempo di ritardo tra le tensioni idrofoniche, in seguito dimostreremo che anche la determinazione della distanza di un bersaglio attivo si traduce nello stesso tipo di misura; possiamo pertanto affermare che la localizzazione subacquea di un bersaglio si concretizza con una serie di rilievi diretti o indiretti dei tempi di ritardo esistenti tra le tensioni idrofoniche della base.

A questo punto non resta che iniziare l'esame dei metodi che consentono la valutazione di questi tempi.

Facciamo riferimento alla Fig. 4.5 che ripete il modello acustico già osservato in precedenza, con l'aggiunta di un sistema di ritardi R e di un sommatore elettronico.

Il sistema di ritardo è un dispositivo capace di introdurre, nelle tensioni che lo attraversano, un ritardo temporale variabile a comando.

Per determinare la direzione del bersaglio si deve introdurre con R un ritardo artificiale identico a quello che subisce l'onda acustica nel passare da S_1 a S_2 . In tal modo le due tensioni all'ingresso del sommatore presentano ampiezze e polarità istantanee sempre uguali e la sua tensione d'uscita sarà massima.

Pertanto la tensione della stecca S_1 viene applicata al sistema R che la ritarda, prima di inviarla al sommatore, mentre la tensione della stecca S_2 , già ritardata a causa del maggior percorso dell'onda del tempo t rispetto a S_1 , viene applicata direttamente al sommatore.

Il ritardo t della tensione di S_2 è funzione della direzione del bersaglio. La misura del tempo di ritardo t , tra la tensione generata da S_2 e quella generata da S_1 , si effettua osservando il comportamento dell'ampiezza della tensione di uscita del sommatore.

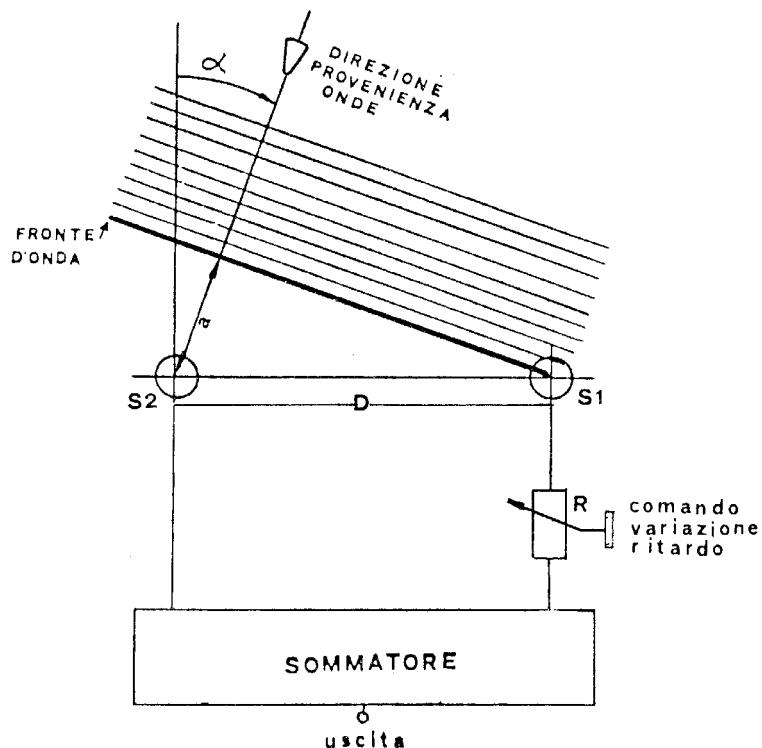


fig. 4.5 Sistema per la misura del ritardo del fronte d'onda su due idrofoni.

Se il ritardo introdotto artificialmente dal sistema R è diverso da t, l'operazione di somma avviene tra due tensioni che non hanno sempre uguali né le ampiezze né le polarità istantanee e perciò la tensione in uscita dal sommatore non raggiunge il massimo valore. Se il ritardo introdotto dal sistema R è uguale a t, la tensione di S1 subisce in R lo stesso ritardo che la pressione acustica, che colpisce S2, subisce in acqua a causa dell'inclinazione del fronte d'onda e le due tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee, di conseguenza la tensione di uscita del sommatore raggiunge il massimo valore.

In questo modo si ottiene l'uguaglianza del ritardo introdotto da R con il ritardo t. Dato che è possibile conoscere il ritardo introdotto da R si determina, secondo la legge che ha condotto al diagramma di Fig. 4.2, la direzione del bersaglio.

Il valore di R è la misura del ritardo, l'azione fisica di R è la "compensazione" del ritardo.

Questi concetti si applicano anche nel caso di basi idrofoniche formate da più elementi, vedi Fig. 4.6.

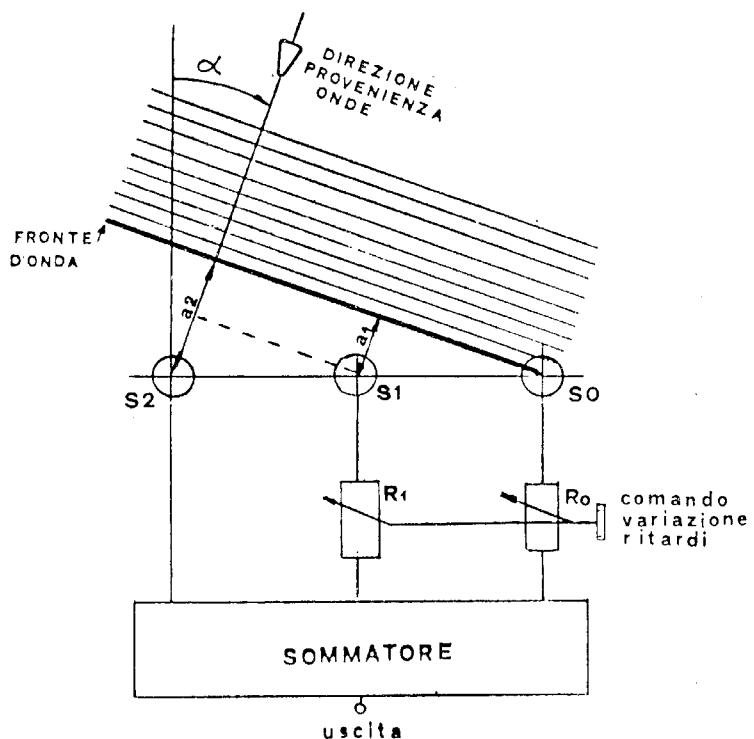


fig. 4.6 Sistema per la misura del ritardo del fronte d'onda su più idrofoni.

La figura mostra una base composta da tre stecche equidistanti SO, S1, S2, due sistemi di ritardo RO, R1 e un sommatore elettronico.

Le differenze di percorso che l'onda acustica deve colmare per passare dalla stecca SO alle altre stecche sono; a1, per S1 e a2 per S2, ad esse corrispondono i tempi di ritardo t1 e t2. Per determinare la direzione del bersaglio si devono introdurre con RO e R1 i ritardi artificiali adatti a rendere sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee le tensioni delle tre stecche in modo da provocare la massima tensione in uscita dal sommatore. I due sistemi introducono il ritardo voluto mediante l'azione di un solo comando, che agisce contemporaneamente su di essi; dal ritardo introdotto si stabilisce la direzione del bersaglio.

A questo punto è interessante osservare quali sono i valori di ritardo introdotti dai sistemi R per soddisfare la condizione di misura.

Se riferiamo tutti i ritardi delle tensioni da sommare alla tensione di S2 si ha che:

- la tensione di SO è ritardata da RO, con RO uguale a t2, in modo che la sua ampiezza e la sua polarità coincidano con la tensione di S2.
- la tensione di S1 è ritardata da R1, con R1 uguale alla differenza tra t2 e t1,

in modo che la sua ampiezza e la sua polarità coincidano con la tensione di S2.

Da quanto esposto si nota che la misura della direzione si può eseguire indifferentemente tanto con una base a più stecche, quanto con una base a due stecche, pertanto ci si può chiedere perché impiegare l'una invece che l'altra; la ragione principale è dovuta al fatto, dimostrabile a calcolo, che una base con poche stecche idrofoniche presenta, in dipendenza delle frequenze di lavoro, delle ambiguità nella misura della direzione, a causa dell'eccessiva ampiezza dei lobi secondari, "vede" cioè lo stesso bersaglio in più direzioni dell'orizzonte risultando in tal modo completamente inefficiente. Le altre ragioni si possono ricondurre a quelle esaminate a proposito della "bontà" della caratteristica di direttività di una base che ha molti elementi.

4.3) Sistemi per ritardare le tensioni idrofoniche.

La misura della direzione di un bersaglio richiede che le tensioni idrofoniche vengano ritardate in modo da compensare le differenze di percorso dell'onda acustica in mare.

I ritardi possono essere realizzati con diversi sistemi:

- A) analogici, sono formati da componenti elettrici elementari.
- B) digitali, sono formati da componenti elettronici integrati.
- C) numerici, sono impiegati nei sonar computerizzati nel contesto di tutto il processo di elaborazione dei segnali.

Nel prosieguo della descrizione illustreremo soltanto i sistemi analogici il cui funzionamento meglio si presta ad una esposizione semplificata.

Un ritardatore analogico è formato da un insieme di strutture elettriche dette "cellule di ritardo", esse possono essere realizzate secondo diversi schemi, uno di questi è riportato in Fig. 4.7.

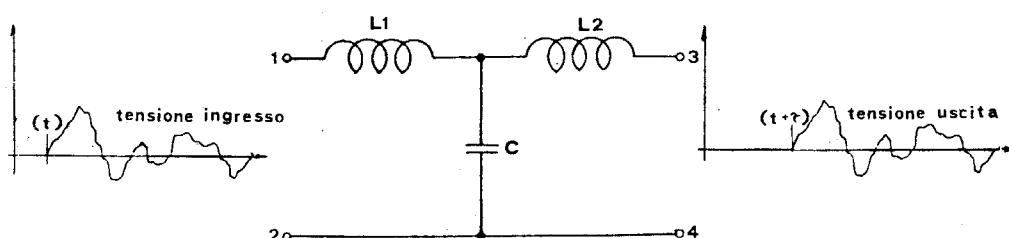


fig. 4.7 Cellula di ritardo

La cellula di questo schema è formata da due induttori L_1 , L_2 e da un condensatore C . La tensione elettrica, che deve essere ritardata, viene applicata tra i terminali 1 e 2, da essi si propaga attraverso gli induttori che, con l'effetto combinato del condensatore, producono il ritardo desiderato, la tensione ritardata è presente tra i punti 3 e 4 che terminano la cellula. Il ritardo di una cellula dipende dai valori delle induttanze e della capacità, nel progetto di essa si deve tener conto del campo delle frequenze di lavoro e dell'esigenza di contenere le dimensioni dei componenti entro limiti ragionevoli, pertanto i valori massimi di ritardo che si possono ottenere sono contenuti entro 100 milionesimi di secondo.

Per realizzare i sistemi ritardatori si impiegano più cellule collegate in serie come è mostrato in Fig. 4.8.

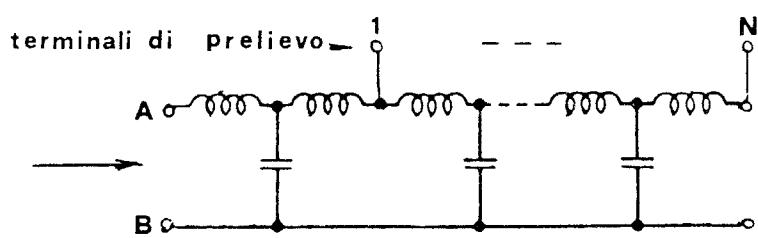


fig. 4.8 Cellule di ritardo a prese multiple

Questa disposizione, detta "catena di ritardo", può contenere centinaia di cellule.

Nel punto di unione tra una cellula e la successiva viene posto un terminale, dal quale si preleva la tensione che percorre la catena. Se le cellule sono tutte uguali e ciascuna ha un valore di ritardo τ , la tensione che viene prelevata nel terminale 1 è ritardata di un tempo τ , quella prelevata dal terminale 2 è ritardata di un tempo 2τ e così via, fino all'ultimo terminale, in cui la tensione è ritardata di $N\tau$, dove N è il numero di cellule che formano la catena.

Le catene di ritardo, dotate di terminali per il prelievo della tensione, consentono di realizzare i blocchi di ritardo menzionati nel paragrafo precedente e sono alla base di tutti i meccanismi per la misura della direzione e della distanza del sonar.

I sistemi a ritardo variabile sono formati come indicato nella Fig. 4.9. La tensione da ritardare è applicata all'ingresso della catena tra i punti A e B; percorrendo la catena la tensione è presente, con ritardo crescente, sui terminali 1, 2, 3, ..., N, i terminali sono collegati ad altrettanti contatti sui quali viene fatto scorrere un cursore che preleva la tensione nei vari punti della catena.

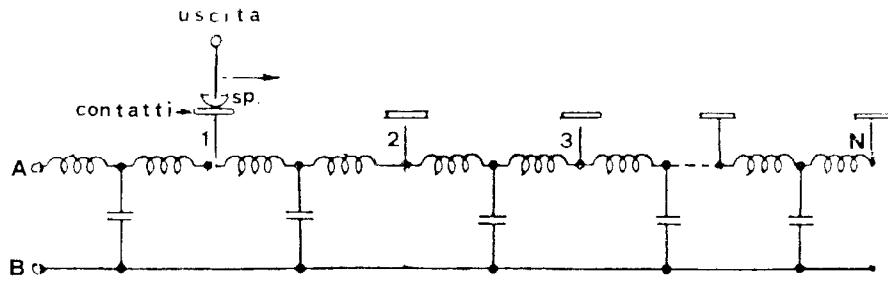


fig. 4.9 Meccanismo di prelievo delle tensioni idrofoniche sulla catena di ritardo.

Il valore del ritardo introdotto dipende, evidentemente, dalla posizioni assunta dal cursore lungo la sequenza dei contatti.

Questo metodo consente variazioni del ritardo della tensione a passi uguali a quelli delle singole cellule, ciò impone, nel progetto del ritardatore, che ciascun passo di ritardo sia commisurato alla più piccola differenza di tempo che si vuole apprezzare.

Per chiarire il concetto facciamo un esempio quantitativo nel caso della misura della direzione di un bersaglio: riferiamoci al modello acustico di Fig. 4.5 e al grafico di Fig. 4.10 che riporta, in scala più espansa, parte del grafico già illustrato in Fig. 4.2.

Supponiamo che la direzione del bersaglio sia 40° , dal grafico di Fig. 4.10 si vede che il tempo di ritardo, che deve essere inserito dal ritardatore R per rendere massima la tensione all'uscita del sommatore, è di 85,5 milionesimi di secondo. Dato che il ritardatore R introduce ritardi a passi, una volta che esso è regolato per la massima tensione all'uscita del sommatore, il ritardo introdotto potrà essere inferiore o superiore al valore indicato dal grafico. In conseguenza di questo la misura della direzione del bersaglio viene affetta da un errore.

Osservando la Fig. 4.10 vediamo che se non si vuole commettere un errore superiore ad 1° , in più o in meno, rispetto alla direzione di 40° presa ad esempio, non dobbiamo sbagliare nella determinazione del ritardo più di 2 milionesimi di secondo, in più o in meno, rispetto al valore di 85,5 milionesimi di secondo corrispondenti alla direzione del bersaglio. Il ritardatore perciò deve consentire un'accuratezza di regolazione dell'ordine di 2 milionesimi di secondo, cioè deve essere costruito con cellule aventi ritardi dello stesso ordine.

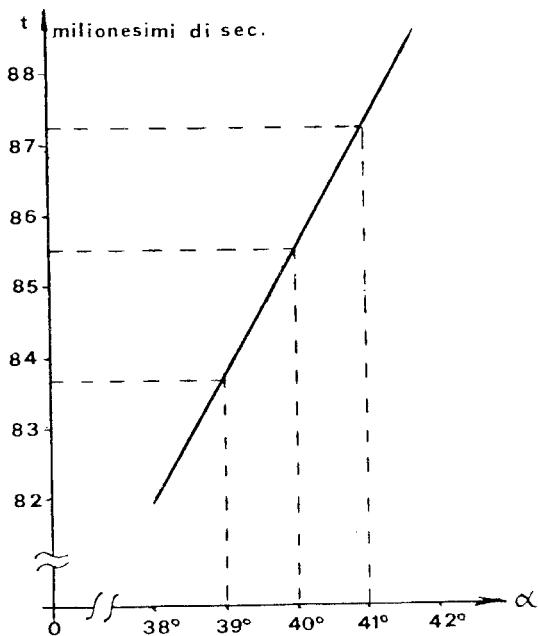


fig. 4.10 Corrispondenza tra ritardo temporale e direzione angolare

Dall'esempio fatto emerge un'osservazione che interessa il numero delle cellule che sono necessarie per la costruzione di un ritardatore; dovendo utilizzare un numero tanto più elevato di cellule, quanto più il loro ritardo è piccolo, si capisce che l'aumento della precisione nella determinazione della direzione, che richiede l'impiego di cellule con ritardi sempre più piccoli, porta ad un aumento del numero di queste.

Le catene di ritardo sono usate in gran numero nei circuiti di elaborazione dei segnali del sonar, con esse si realizzano i dispositivi per l'orientamento manuale dei fasci di direttività e quelli per la formazione dei fasci multipli a cui abbiamo già accennato in precedenza; esse vengono utilizzate per le emissioni orientate per il funzionamento della componente attiva del sonar e per la misura della quota e della distanza del bersaglio con i metodi passivi.

L'impiego delle catene di ritardo consente tanto la misura diretta dei ritardi acustici quanto la misura indiretta detta "compensazione".

Il vantaggio delle catene di ritardo, rispetto ai corrispondenti sistemi digitali o numerici, è che esse, non richiedendo tensioni di alimentazione per il funzionamento, non producono calore e perciò la loro affidabilità è elevata, l'unico inconveniente è dovuto all'ingombro, che, in taluni casi, può creare delle difficoltà.

4.4) Sistemi per l'orientamento di un fascio direttivo.

4.4.1) Generalità

Ai sistemi per l'orientamento di un fascio direttivo abbiamo accennato nel paragrafo 3.7, a proposito della rotazione della caratteristica di una base rettilinea; essa è stata presa come esempio perché il suo comportamento acustico è più intuitivo rispetto a basi aventi diversa configurazione. I sistemi per l'orientamento dei fasci, anche se sono applicabili a qualsiasi tipo di base, si adattano meglio a quelle circolari data la loro simmetria geometrica. Un esempio della combinazione tra la base circolare e un sistema di orientamento del fascio è mostrato in Fig. 4.11.

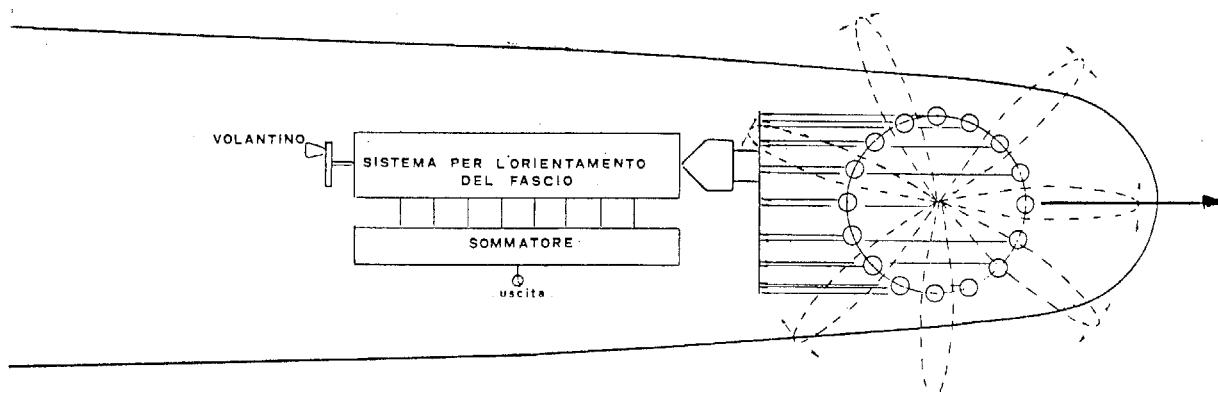


fig. 4.11 Sistema di orientamento manuale del fascio con base circolare.

In essa si nota anzitutto che il lobo può essere orientato secondo tutti i possibili raggi della base. Ciò è molto utile ai fini della localizzazione, perché consente di scoprire il bersaglio in qualsiasi settore dell'orizzonte. Si osserva inoltre che tutte le stecche della base sono collegate al blocco per l'orientamento del fascio e che questo viene ruotato tramite un volantino di comando, le tensioni in uscita dal blocco sono infine applicate al sommatore elettronico per ottenere la caratteristica di direttività.

Se il fascio viene orientato verso un bersaglio, la tensione in uscita dal sommatore si comporta nello stesso modo già visto nel caso delle basi rettilinee, cresce a mano a mano che l'asse del fascio si avvicina alla direzione del bersaglio, per raggiungere il suo massimo in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio. Nella parte che segue chiameremo il sistema di orientamento del fascio "compensatore", che è il termine tecnico attribuitogli proprio perché con esso si compensano i ritardi acustici del fronte d'onda con equivalenti ritardi elettrici.

4.4.2) Comportamento acustico della base circolare.

Prima di iniziare la descrizione del compensatore è necessario esaminare il comportamento acustico della base circolare facendo riferimento alla Fig. 4.12 che ne mostra, ad esempio, una a venti stecche; non ci interesseremo della caratteristica di direttività naturale, perché la cosa non è significativa, esamineremo invece la formazione della direttività artificiale che è connessa agli impieghi operativi.

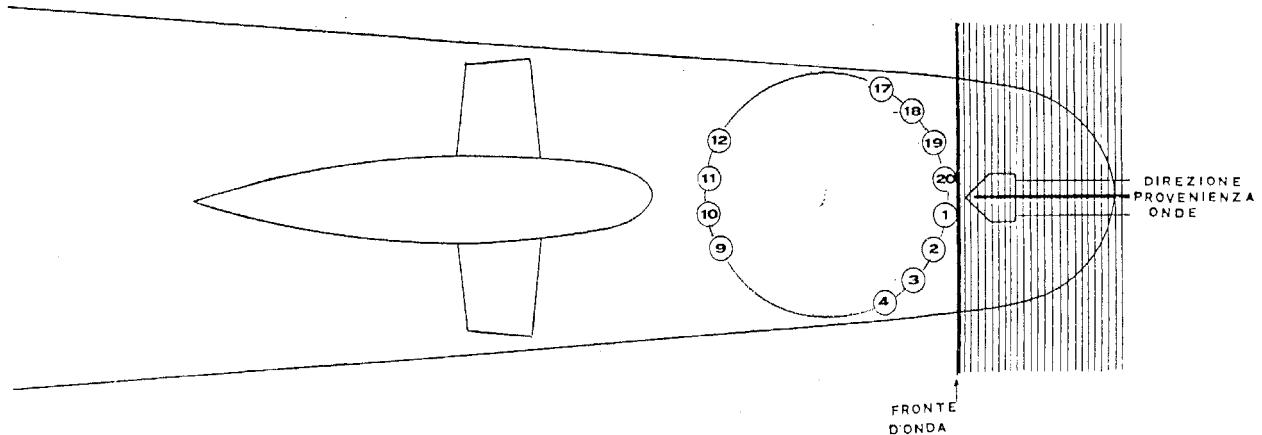


fig. 4.12 Geometria per la base circolare ricevente.

Nella figura si vede che la base è investita da un fronte d'onda piano, normale all'asse del battello: l'onda acustica colpisce prima le stecche 1 e 20, dopo, con ritardi crescenti, le stecche 2 e 19, 3 e 18, 4 e 17 e poi tutte le altre. Queste ultime non vengono qui prese in esame, per semplicità di esposizione, ma il loro comportamento è analogo a quelle che si considerano. Le differenze di percorso che l'onda acustica deve colmare, per passare dalle stecche 1 e 20 alle coppie di stecche 2 e 19, 3 e 18, 4 e 17, sono rispettivamente a_1 , a_2 , a_3 , alle quali corrispondono i tempi di ritardo t_1 , t_2 , t_3 . Se vogliamo, ad esempio, che la direzione preferenziale della base sia quella coincidente con l'asse del battello, prima di sommare le tensioni delle stecche idrofoniche, dobbiamo applicarle a gruppi di catene di ritardo per la compensazione artificiale dei ritardi dovuti al percorso in acqua.

Proponiamoci di sommare le tensioni delle stecche, ritardandole rispetto a quelle della coppia 4 e 17 (colpita per ultima), che non devono essere ri-

tardate:

le tensioni delle stecche 1 e 20, essendo colpite per prime, devono essere ritardate di un tempo τ_a uguale a t_3 .

Le tensioni delle stecche 2 e 15 devono essere ritardate di un tempo τ_b uguale alla differenza tra t_3 e t_1 .

Le tensioni delle stecche 3 e 18 devono essere ritardate di un tempo τ_c uguale alla differenza tra t_3 e t_2 .

La situazione dei ritardi è schematizzata in Fig. 4.13 nei blocchi del sistema per la formazione del fascio.

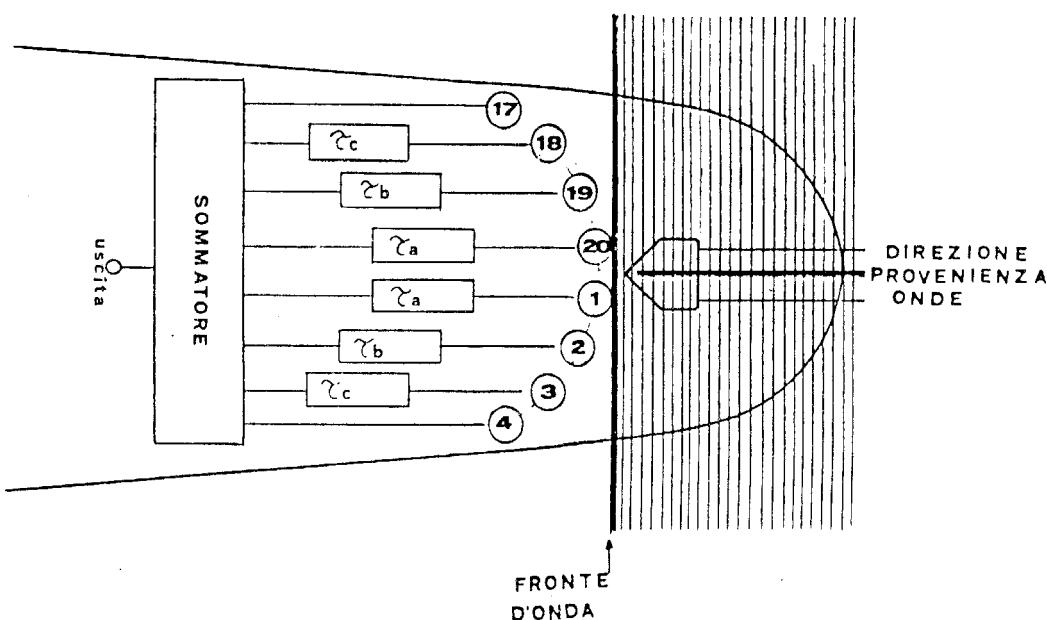


fig. 4.13 Geometria per la formazione del fascio di direttività

Dalla figura si comprende che, quando il fronte d'onda è normale all'asse del battello, si ha la massima tensione all'uscita del sommatore, se il bersaglio si sposta angolarmente da un parte o dall'altra, la tensione decresce, dando luogo alla caratteristica di direttività artificiale della base.

4.4.3) Il sistema a compensatore per l'orientamento del fascio.

Il sistema a compensatore è sostanzialmente formato da un insieme di catene di ritardo uguale a quello mostrato nella figura 4.13, in grado di ruotare meccanicamente all'interno di un disco, al quale sono applicate le tensioni delle stecche.

Vediamo qual è il suo funzionamento facendo riferimento alla Fig. 4.14.

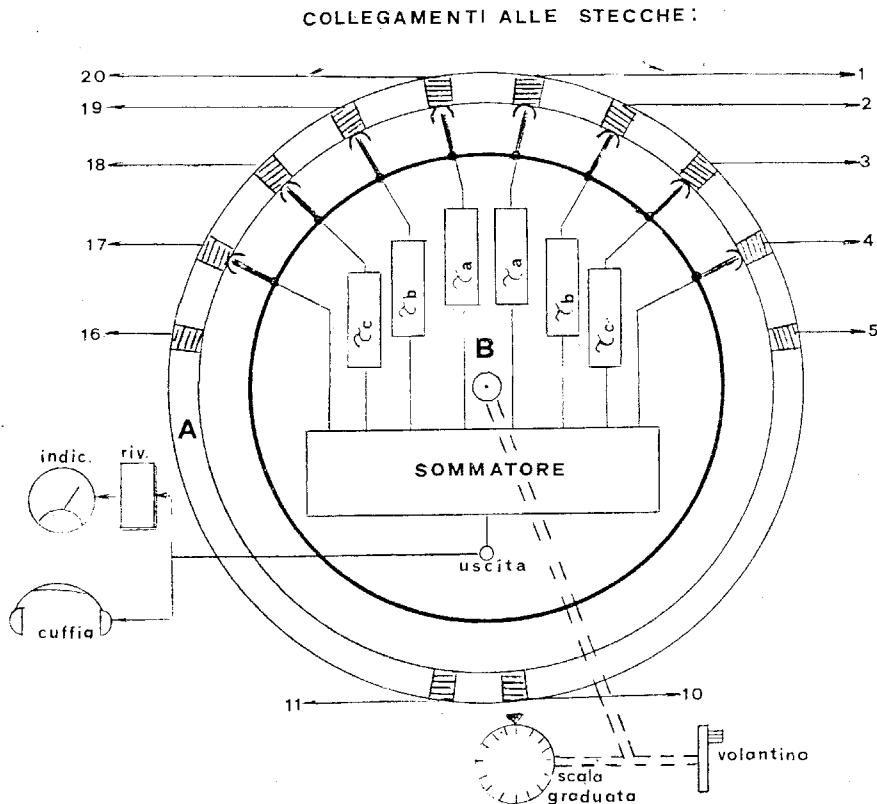


fig. 4.14 Sistema di orientamento del fascio direttivo - Compensatore

Il compensatore è formato da due parti circolari: il disco isolante A fisso e il disco B mobile, concentrato al disco A, che ruota a comando del volantino V.

Il volantino è dotato di apposita scala graduata per la lettura dell'angolo di posizionamento del compensatore.

Sulla periferia del disco A sono depositate venti zone di contatto ciascuna collegata elettricamente ad una stecca della base.

Sulla periferia del disco B (rotore) sono sistemate otto spazzole metalliche, isolate tra loro, che strisciano sui contatti del disco A, le otto spazzole sono collegate ad un gruppo di catene di ritardo e ad un sommatore, nello stesso modo già indicato in Fig. 4.13.

Quando il rotore è nella posizione indicata dal disegno, la situazione elettrica è identica a quella spiegata nel paragrafo precedente e la direzione preferenziale è tra le stecche 1 e 20.

Se con il volantino si muove il rotore del compensatore verso sinistra o verso destra, in modo che le otto spazzole si portino, dal posto di contatto in cui sono, al posto immediatamente vicino, la situazione di compensazione dei ritardi, che prima valeva per la direzione passante tra le stecche 1 e 20, vale ora per la direzione passante per le stecche 19 e 20, se il rotore ha girato a sinistra, o per la direzione che passa per le stecche 1 e 2, se il rotore ha girato a destra: ciò significa che il lobo della caratteristica di direttività, che prima era centrato in una direzione, ora si è spostato su di un'altra. Continuando con la rotazione del volantino si sposta la direzione preferenziale di ricezione su tutto l'arco dell'orizzonte subacqueo, cioè si orienta il fascio della direttività della base.

Il compensatore, così come è stato descritto, può spostarsi soltanto a passi discreti definiti dall'intervallo tra un contatto e l'altro, di conseguenza anche il fascio si orienta in posizioni discrete.

Per consentire lo spostamento nelle posizioni intermedie sono stati studiati dei particolari accorgimenti che permettono di ruotare il fascio quasi con continuità.

Se l'operatore deve localizzare un bersaglio con il compensatore, ruota il volantino di comando fino ad ottenere la massima tensione all'uscita del sommatore e fatto ciò legge, sull'apposita scala graduata, la direzione del bersaglio. La valutazione della massima tensione all'uscita del sommatore è fatta simultaneamente in due modi diversi: osservando l'elongazione dell'indice di un apposito strumento indicatore collegato ad un blocco rivelatore (la descrizione di questo dispositivo è rimandata al capitolo 7) e ascoltando, con una cuffia telefonica, il massimo del rumore irradiato dal bersaglio: in questo modo l'operatore può trarre anche utili informazioni di carattere tattico dal timbro del rumore percepito.

Nella costruzione di un compensatore si possono impiegare più stecche di quelle che abbiamo impiegato nell'esempio, si devono però adottare rotori a più spazzole e un maggior numero di catene di ritardo, il vantaggio è quello di ottenere fasci orientabili più stretti con conseguente riduzione dell'inquinamento da disturbo ambiente.

Naturalmente se aumenta il numero delle stecche aumentano anche le dimensioni della base idrofonica ricevente.

4.4.4) Il metodo della differenza per l'orientamento del compensatore.

Per l'orientamento del compensatore è possibile impiegare un metodo misto di somma e differenza oltre che quello di somma.

Il metodo consente una più accurata determinazione della direzione dei bersagli in virtù del comportamento della tensione differenza, esso non è sostitutivo di quello già conosciuto, ma ne rappresenta un notevole ausilio.

Vediamo come funziona questo nuovo sistema facendo riferimento alla figura 4.14. In essa il sommatore riceve otto tensioni idrofoniche, opportunamente ritardate per la formazione della caratteristica di direttività del fascio rotante, questa struttura, senza alterare minimamente il suo funzionamento, può essere trasformata in quella del tutto analoga mostrata in Fig. 4.15.

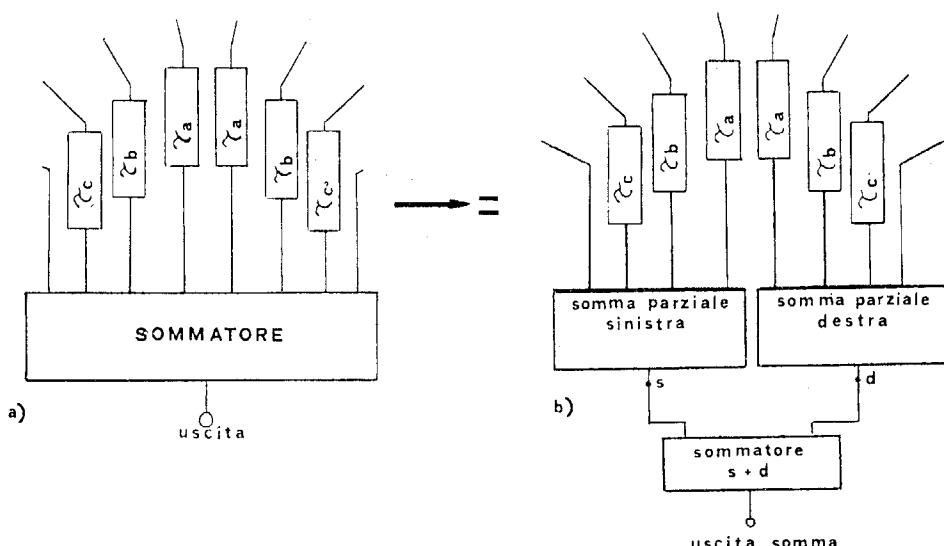


fig. 4.15 Formazione delle somme parziali

L'equivalente della somma delle otto tensioni, eseguita in Fig. 4.15/a, si ottiene con la somma parziale delle quattro tensioni del gruppo di sinistra, con la somma parziale delle quattro tensioni del gruppo di destra e infine con la somma dei due risultati parziali (Fig. 4.15/b). Ciò che abbiamo ottenuto consente di eseguire ancora l'orientamento del compensatore secondo il metodo della somma e apre la strada all'inserimento del blocco per l'orientamento in base alla differenza delle tensioni, questo blocco

viene collegato al gruppo dei tre sommatori di Fig. 4.15/b come è indicato in Fig. 4.16.

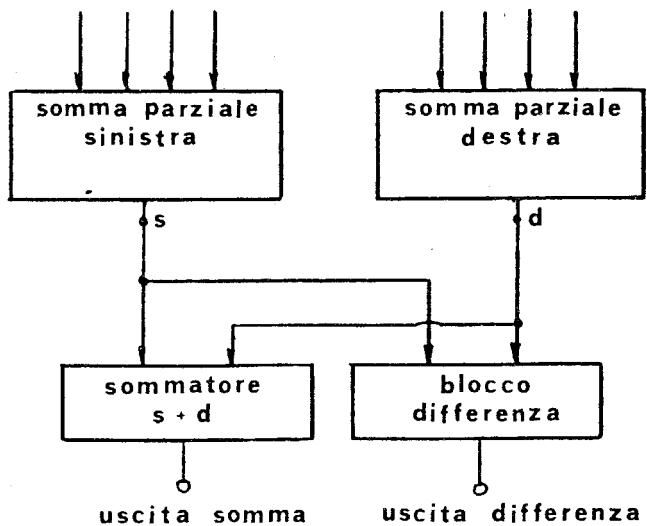


fig. 4.16 Sistema ricevente in somma e in differenza

Il blocco differenza esegue elettronicamente la sottrazione della tensione del sommatore parziale S alla tensione del sommatore parziale D.

Dato che in condizioni di orientamento sul bersaglio tutte le otto tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee, lo sono anche le tensioni dovute alle somme parziali dei gruppi di quattro tensioni; in queste condizioni perciò la tensione all'uscita del blocco differenza è nulla essendo dovuta alla sottrazione di due tensioni uguali in ampiezza e polarità. Se il compensatore viene ruotato a destra o a sinistra rispetto alla direzione del bersaglio le tensioni che si presentano ai sommatori parziali non sono più uguali in polarità e di conseguenza le loro uscite non sono più sempre uguali né in ampiezza né in polarità e la tensione in uscita dal blocco differenza non è più nulla.

La tensione all'uscita del blocco differenza varia in funzione della direzione di orientamento del compensatore secondo la curva riportata in Fig. 4.17. Dato che la variazione della differenza è simultanea alla variazione della somma, nella figura sono tracciati, per un confronto, entrambi gli andamenti delle tensioni dei due blocchi in funzione della direzione del bersaglio.

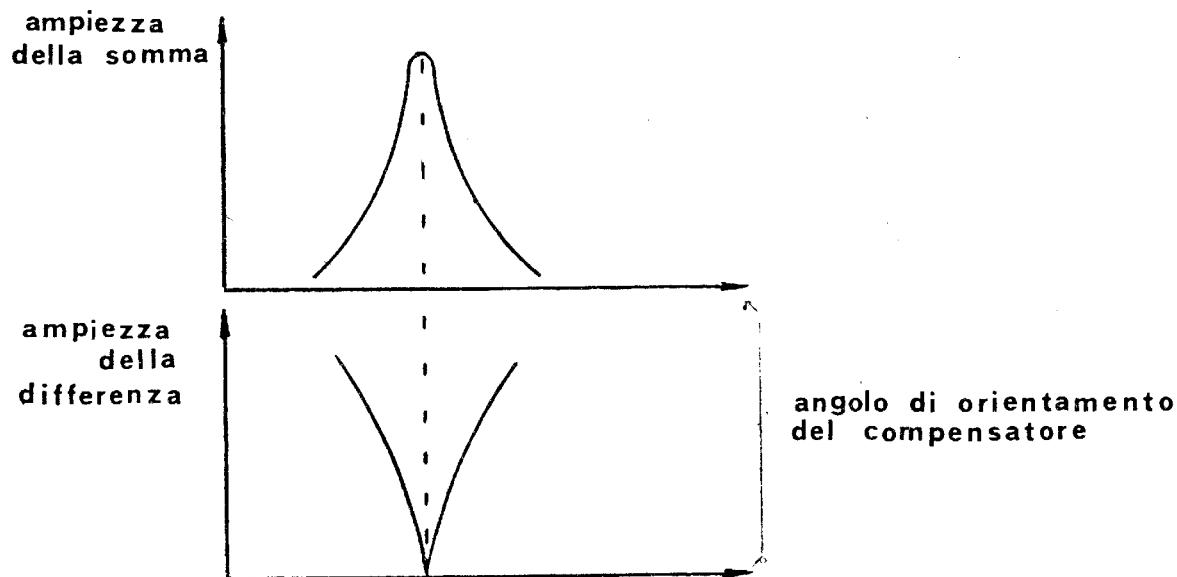


fig. 4.17 Rilevamento del bersaglio attivo in somma ed in differenza.

Dal confronto delle curve si nota che il massimo della somma corrisponde naturalmente con il minimo della differenza e che questa curva, nel punto di zero, è più "acuta" della corrispondente nel punto di massimo.

È su questa diversità che il sistema a differenza supera il sistema di somma, è infatti più facile eseguire l'orientamento del compensatore sullo zero della differenza, perché lo si apprezza meglio del massimo della somma. La scoperta del bersaglio deve comunque essere fatta con il metodo della somma, la differenza si impiega soltanto in fase di affinamento dell'orientamento del compensatore.

4.5) Sistemi di fasci preformati.

Una delle funzioni più importanti del sonar consiste nella scoperta dei bersagli; con il sistema a compensatore la scoperta viene fatta ruotando il fascio di direttività della base per esplorare con continuità l'intero orizzonte subacqueo. Questa operazione, che ben si presta a localizzare i bersagli con molta accuratezza, è relativamente lenta e non dà all'operatore la possibilità di conoscere, all'istante, in quante direzioni sono presenti i bersagli.

Il problema della scoperta simultanea dei bersagli è risolto dai sistemi di fasci preformati. Questi sistemi si comportano infatti come un insieme di

compensatori, orientati ciascuno su di una diversa direzione allo scopo di controllarle tutte contemporaneamente.

Il sistema a fasci preformati per esplicare la sua funzione orienta numerosi lobi di direttività, egualmente spaziati tra loro, lungo tutto il giro dell'orizzonte. Ciascun lobo riceve le onde acustiche in un determinato settore ed è sufficientemente vicino ai lobi contigui in modo da non lasciare settori "sordi" tra un fascio e l'altro; questa distribuzione dei fasci è indicata in Fig. 4.18 nel caso di un ipotetica base a 18 stecche.

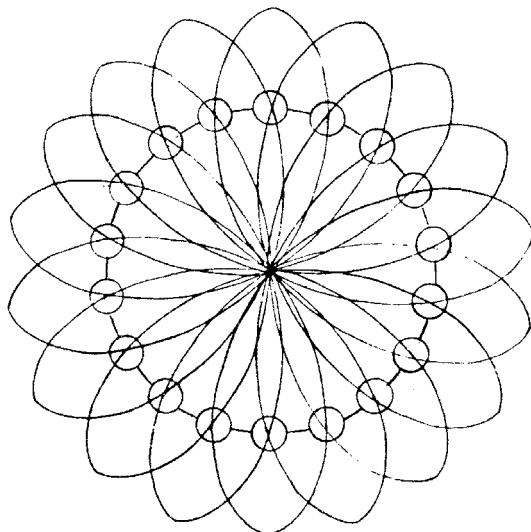


fig. 4.18 Geometria di un sistema di fasci preformati su base circolare.

I fasci sono formati da molteplici strutture circuitali identiche a quella già descritta nel paragrafo 4.4.2 e mostrata in figura 4.13. Per illustrare il meccanismo di orientamento dei fasci preformati facciamo riferimento alla Fig. 4.19 in cui è disegnata la base circolare a 18 stecche, sopra citata, collegata ad un sistema per la formazione di 18 fasci. (Prima di proseguire è opportuno notare che, se in questo esempio si considerano 18 fasci su di una base di 18 stecche, è soltanto per semplificare la descrizione, il numero dei fasci dipende invece dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro della base e non dal numero delle stecche).

I fasci sono distanziati tra loro di 20° e le loro direzioni sono centrate sui seguenti angoli: $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, \dots, 340^\circ$.

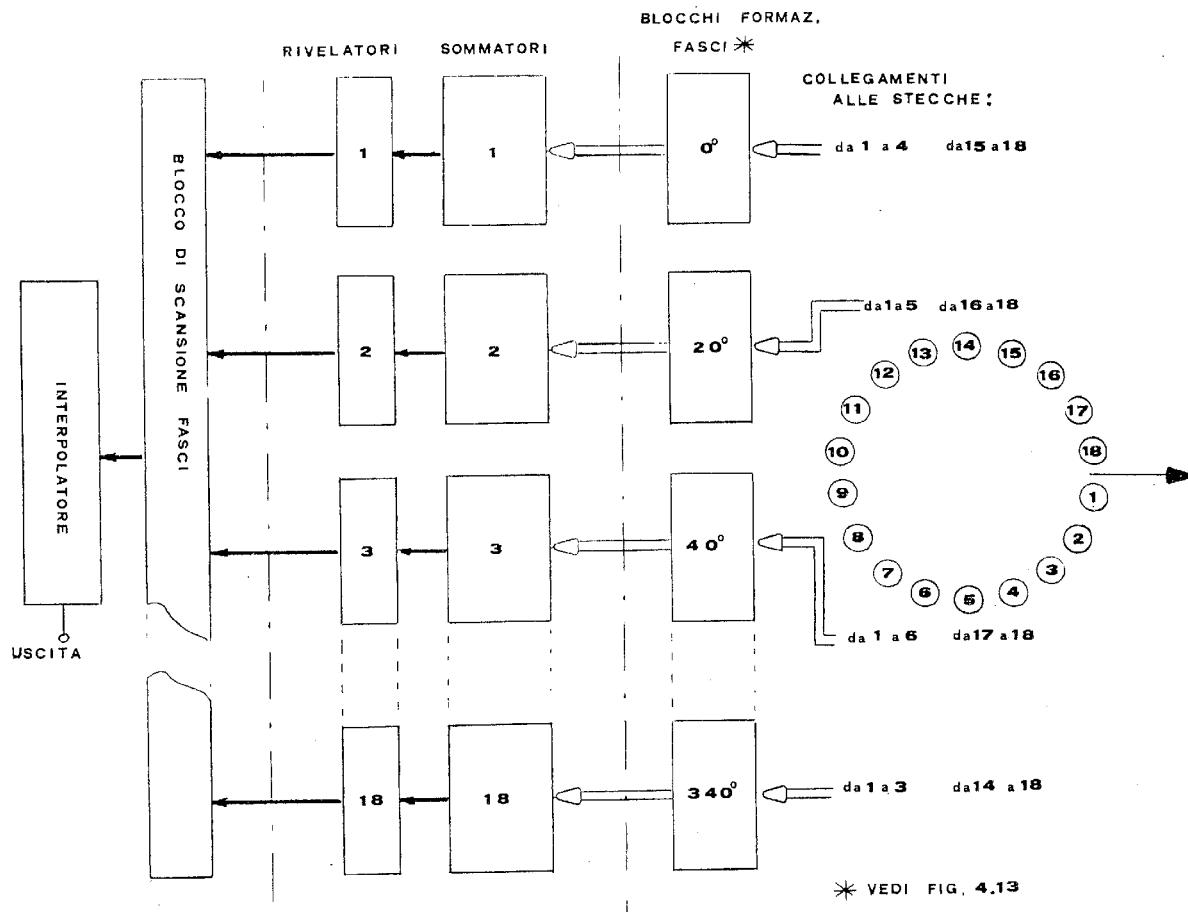


fig. 4.19 Schema a blocchi di un sistema ricevente a fasci preformati su base circolare.

Dalla figura 4.19 si osservano tre sezioni funzionali:

- 1) Sezione per la costruzione dei fasci, in essa si vede che ciascun fascio utilizza 8 stecche combinate come segue:

Per la formazione del fascio orientato per 0° , centrato tra le stecche 1 e 18, concorrono le stecche da 1 a 4 e da 15 a 18.

Per la formazione del fascio orientato per 20° , centrato tra le stecche 1 e 2, concorrono le stecche da 1 a 5 e da 16 a 18.

Per la formazione del fascio orientato per 40° , centrato tra le stecche 2 e 3, concorrono le stecche da 1 a 6 e da 17 a 18.

Per la formazione dei fasci successivi il criterio di scelta delle stecche si ripete, ad ogni nuova direzione si lascia una stecca alla sinistra per inserire una stecca alla destra, per arrivare infine al fascio orientato per

340° , centrato tra le stecche 17 e 18, a cui concorrono le stecche da 1 a 3 e da 14 a 18.

- 2) Sezione dei sommatori e rivelatori, in essa si vedono 18 sommatori, uno per ciascuno fascio, collegati ad altrettanti circuiti di rivelazione, la funzione di questi ultimi è quella di trasformare le tensioni dei sommatori, che sono a polarità casuale, in tensioni ad esse proporzionali con polarità determinata per consentire il funzionamento dei circuiti di scansione, interpolazione e visualizzazione dei fasci.
- 3) Sezione per la scansione elettronica dei fasci, in essa si individua il blocco della scansione e quello per l'interpolazione delle direzioni. Supponiamo ora che un bersaglio sia posizionato sulla direzione passante tra le stecche 9 e 10, sarà interessato completamente il fascio a 180° , il cui sommatore fornirà il massimo livello di tensione, e marginalmente, i fasci adiacenti, i cui sommatori forniranno livelli di tensione più bassi dato che per loro il bersaglio non si presenta nella direzione preferenziale. Se tracciamo un diagramma a punti, corrispondente alla situazione delle tensioni unipolari presenti all'uscita dei 18 rivelatori, otteniamo il grafico di fig. 4.20.

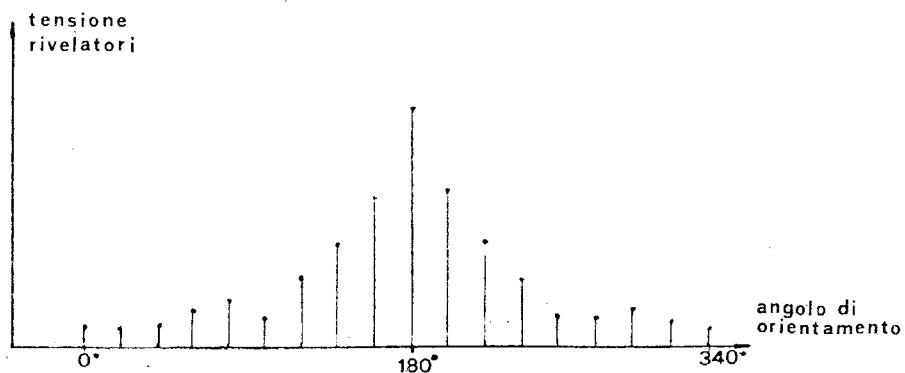


fig. 4.20 Diagramma delle tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersaglio su 180°

In esso sono riportati, in ascissa, gli angoli distintivi di ogni fascio 0° , 20° , 40° , ..., 340° , e in ordinata i livelli di tensione presenti all'uscita dei corrispondenti rivelatori. Il grafico è già indicativo della direzione del bersaglio, che viene determinata dalla sezione per la scansione dei fasci. Le tensioni in uscita dai rivelatori vengono prelevate dal blocco di scan-

sione in pochi millesimi di secondo (periodo di scansione) ed inviate all'interpolatore, sequenzialmente nel tempo, sotto forma di un'unica tensione la cui ampiezza presenta un andamento a "scalini" che si ripete ad ogni intervallo di tempo corrispondente al periodo di scansione (Fig. 4.21).

All'interno di esso sono contenute le 18 tensioni presenti all'uscita dei rivelatori suddivise in altrettanti intervalli di tempo, a ciascuno dei quali corrisponde la direzione di un fascio.

L'andamento della tensione a scalini segue quello tracciato in Fig. 4.20 e si presenta come mostrato in Fig. 4.21.

Nella figura si osserva, centrato su 180° , il livello massimo fornito dal rivelatore del fascio puntato sul bersaglio; ai fianchi del massimo compaiono livelli simmetrici dovuti ai rivelatori dei fasci adiacenti.

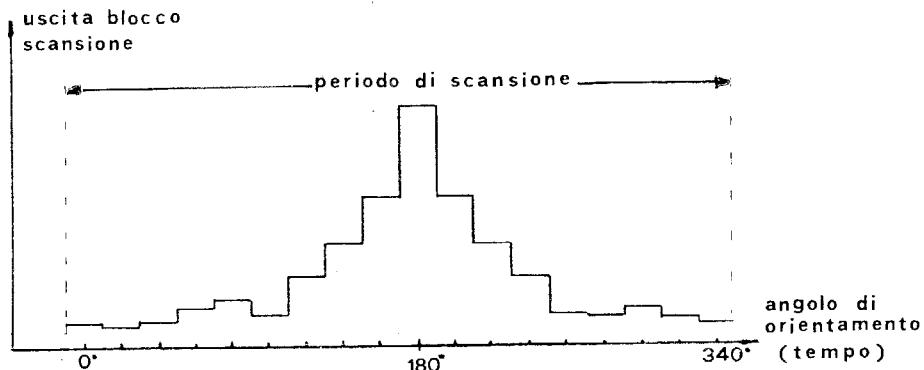


fig. 4.21 Diagramma delle tensioni all'uscita del blocco di scansione - Bersaglio su 180°

Il circuito di interpolazione, che riceve la tensione a scalini, raccorda i vari livelli di tensione, producendo una tensione il cui andamento ricorda il profilo di una campana, il culmine della campana coincide con la direzione del bersaglio, questa tensione è riportata nella Fig. 4.22.

La grande importanza del circuito interpolatore è superiore a quanto emerso in questo esempio, con esso infatti è possibile stabilire la direzione del bersaglio anche quando questa non coincide con l'orientamento di un fascio, ma si trova comunque disposta tra due fasci contigui.

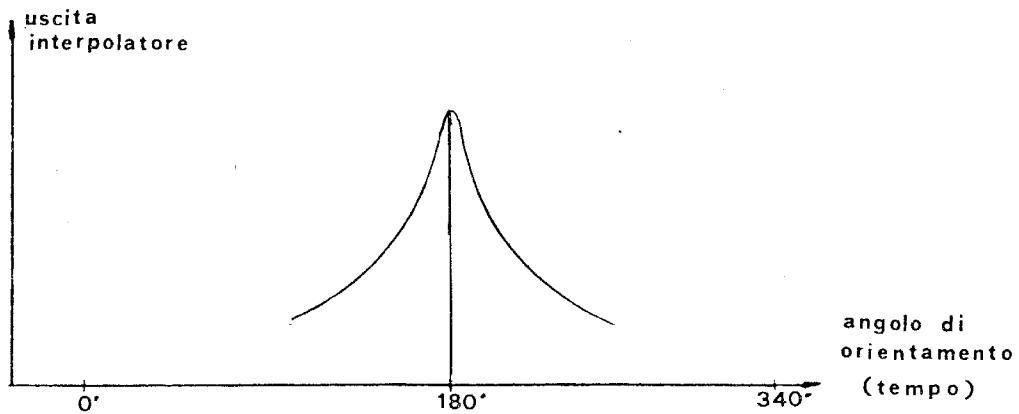


fig. 4.22 Diagramma delle tensioni all'uscita del filtro di interpolazione - Bersaglio su 180°

Per chiarire questo concetto facciamo un esempio simile al precedente; supponiamo che il bersaglio non si trovi su di una direzione centrata su di un fascio, ma a 183° . In questo caso il fascio più interessato sarà quello a 180° , ma la tensione all'uscita del suo rivelatore non avrà il massimo livello, dato che la direzione del bersaglio non coincide con l'asse del fascio. Gli altri fasci produrranno tensioni più basse, ma non saranno simmetriche rispetto al fascio a 180° , come invece lo erano nel primo esempio, dato che la direzione del bersaglio era equidistante dai fasci contigui a quello centrato sul bersaglio. Questa situazione porta ad una distribuzione non simmetrica delle tensioni all'uscita dei rivelatori come mostrato in Fig. 4.23.

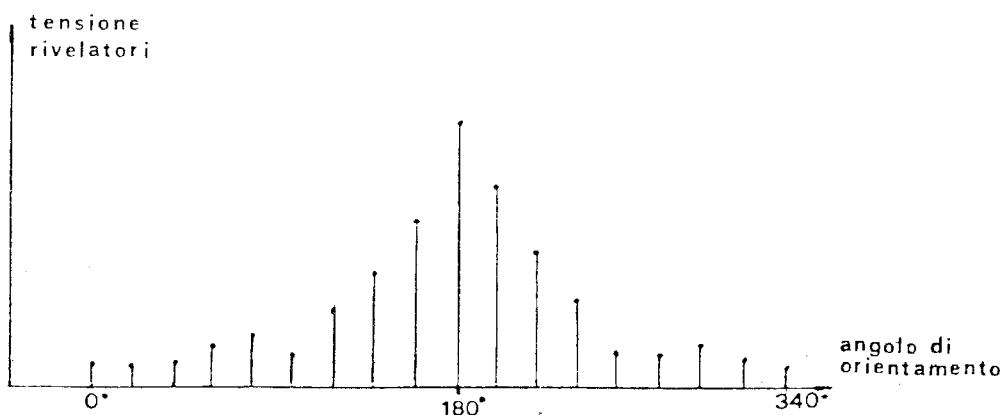


fig. 4.23 Diagramma delle tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersaglio su 183° .

All'uscita del blocco di scansione si presenta pertanto la tensione a scalini, mostrata in Fig. 4.24, che non è simmetrica rispetto al massimo dei livelli.

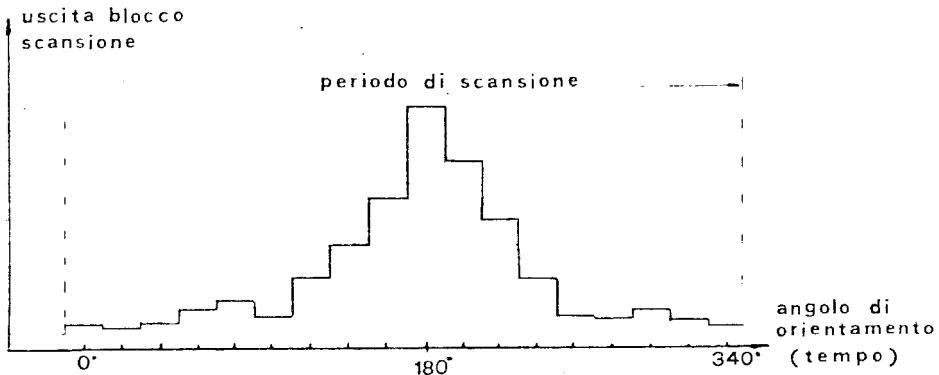


fig. 4.24 Diagramma delle tensioni all'uscita del blocco di scansione - Bersaglio su 183°

All'uscita dell'interpolatore, infine, grazie all'asimmetria dei livelli si ha una tensione, con profilo a campana, il culmine della quale è centrato sulla direzione di 183° coincidente con quella del bersaglio (vedi Fig. 4.25).

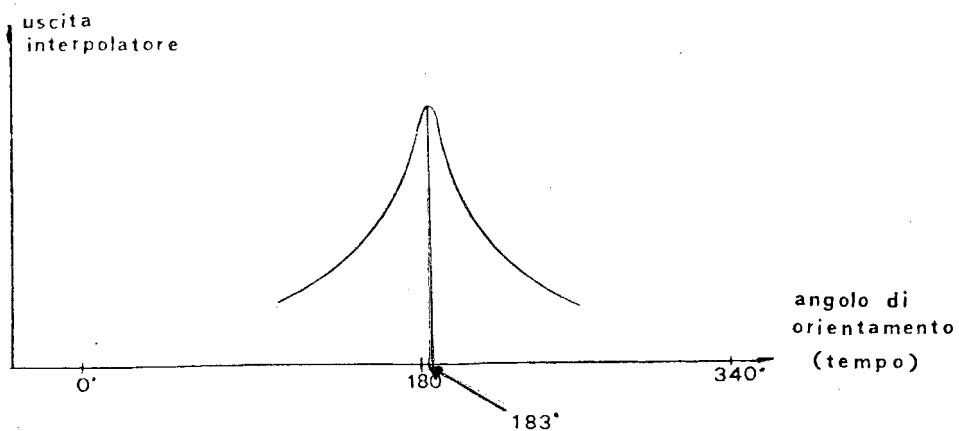


fig. 4.25 Diagramma delle tensioni all'uscita del filtro interpolatore - Bersaglio su 183°

A questo punto è interessante vedere come il sistema a fasci preformati può scoprire più bersagli contemporaneamente.

Supponiamo che siano presenti, attorno al sommersibile, tre bersagli posizionati rispettivamente sulle direzioni 20° , 200° , 64° ; il primo bersaglio

renderà massima l'uscita del rivelatore del fascio 20° , il secondo quella del rivelatore del fascio 200° , il terzo, non essendo centrato su di un fascio, renderà ad un livello medio alto quella del rivelatore del fascio 60° che risulta più vicino. La situazione dei livelli all'uscita dei rivelatori è riportata nel grafico a punti di Fig. 4.26.

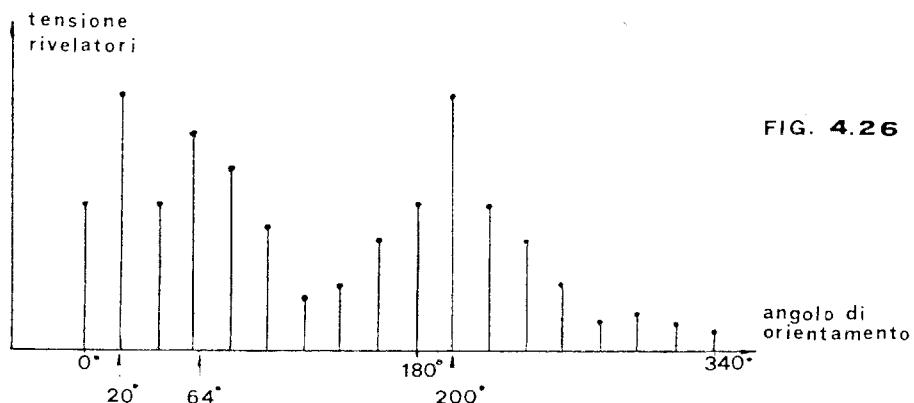


FIG. 4.26

fig. 4.26 Tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersagli su $20^\circ, 200^\circ, 64^\circ$

Da questi livelli nasce la tensione a scalini all'uscita del blocco di scansione che è visibile in Fig. 4.27 e successivamente la tensione all'uscita dell'interpolatore mostrata in Fig. 4.28.

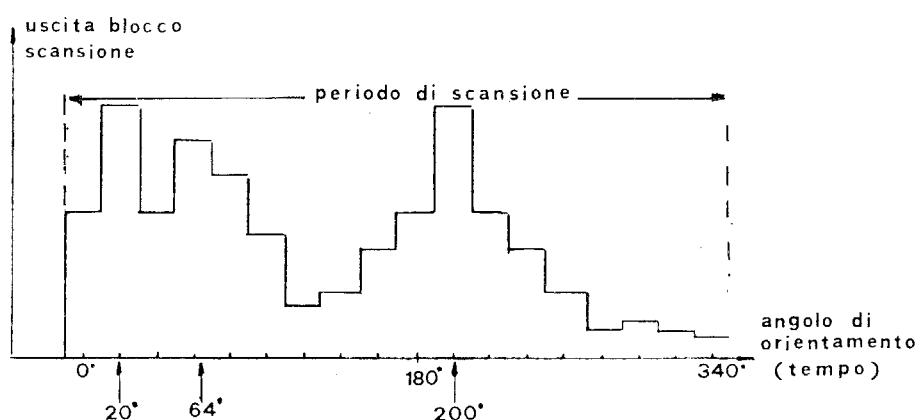


fig. 4.27 Tensioni all'uscita blocco scansione - Bersagli su $20^\circ, 200^\circ, 64^\circ$

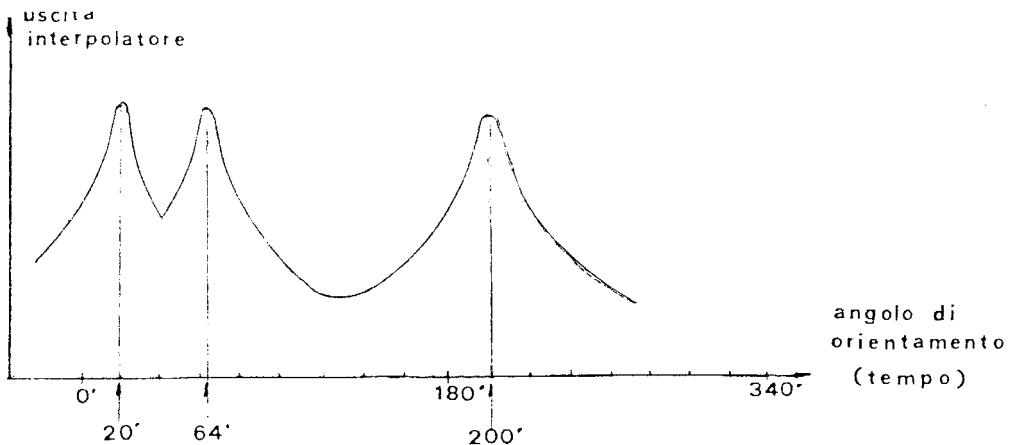


fig. 4.28 Tensioni all'uscita interpolatore - Bersagli su 20° , 200° , 64° .

Dalla figura 4.28 si osserva che i culmini delle "campane" sono centrati rispettivamente su 20° , 64° , 200° .

Anche in questo caso il sistema di interpolazione ha consentito di "costruire" un fascio su di una direzione (64°) nella quale non era presente un fascio preformato.

Con questa tecnica si possono rivelare contemporaneamente bersagli comunque disposti nell'arco dell'orizzonte, con una precisione che dipende sia dalle dimensioni della base idrofonica che dal numero dei fasci preformati.

È opportuno osservare che la scansione delle tensioni dei rivelatori parte dal primo, arriva al diciottesimo e si ripete da capo, con continuità, in modo che, se nel frattempo, un bersaglio si sposta, si vede immediatamente il corrispondente spostamento del culmine della campana. La scansione è ciclica e si ripete senza pause. Ora non ci resta che conoscere il modo con il quale l'operatore, con il sistema a fasci preformati, può vedere contemporaneamente la presenza dei bersagli per procedere alla loro localizzazione. La tensione d'uscita dell'interpolatore viene visualizzata su di uno schermo circolare, di tipo televisivo, in cui la corona esterna, graduata, rappresenta l'orizzonte, mentre il centro rappresenta il sommersibile. Le scansioni, che si ripetono ciclicamente, sono rappresentate sullo schermo come cerchi concentrici il cui diametro si espande dal centro verso la periferia.

I culmini delle tensioni a campana compaiono sullo schermo, vedi fig. 4.29, come piccoli archi luminosi disposti secondo i raggi che ne rappre-

sentano le direzioni e che partono dal centro dello schermo.

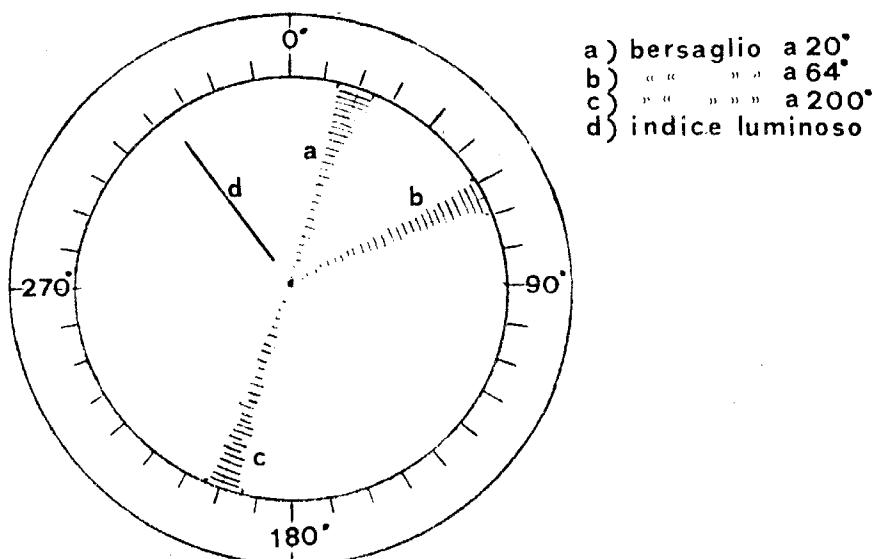


fig. 4.29 Presentazione video dei tre bersagli.

La misura della direzione dei bersagli viene fatta dall'operatore in due modi:

- 1) Misura immediata e approssimativa ai fini di una rapida valutazione della situazione, eseguita confrontando la posizione della traccia dei bersagli con la scala graduata presente sulla periferia dello schermo.
- 2) Misura accurata della direzione eseguita posizionando, con un volantinino, sul centro di ogni traccia, un apposito indice luminoso, la cui posizione angolare è definita con precisione da appositi indicatori numerici posti accanto allo schermo circolare, sui quali l'operatore legge il valore della direzione dei bersagli.

4.6 Misura della quota del bersaglio mediante il rilievo dell'angolo di sito.

Si dice angolo di sito l'angolo del piano verticale che si forma tra l'asse del sommersibile e il segmento di congiungente bersaglio-sommersibile (vedi Fig. 4.30)

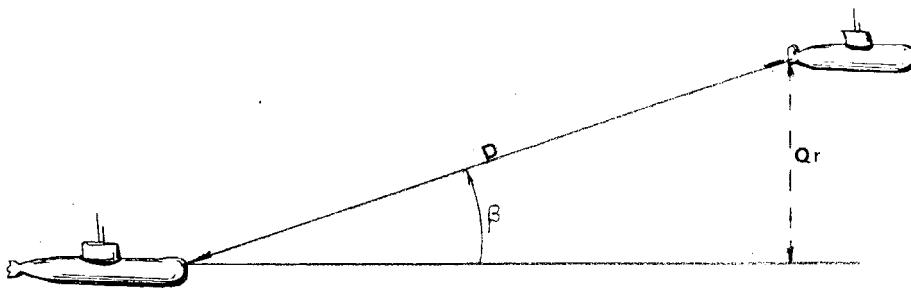


fig. 4.30 Geometria per evidenziare l'angolo di sito

La misura dell'angolo di sito β contribuisce alla localizzazione del bersaglio; questo rilievo associato alla misura della distanza D , consente il calcolo della quota relativa del bersaglio (Q_r).

La misura dell'angolo di sito avviene secondo gli stessi principi esposti a proposito della determinazione della direzione del bersaglio, essa si avvale di una particolare disposizione costruttiva adottata nelle stecche delle basi preposte a questo scopo (vedi Fig. 4.31).

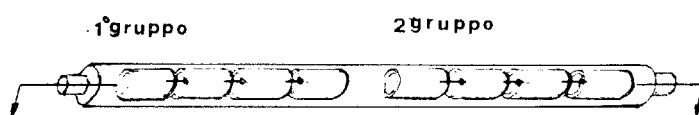


fig. 4.31 Stecca idrofonica a due gruppi di elementi.

Dalla figura si nota che la stecca è formata da due gruppi di elementi idrofonici (possono essere due o multipli di due), ogni gruppo ha gli elementi collegati in serie come le normali stecche, ma i gruppi non sono collegati tra loro, in modo che le stecche risultano formate da due (o più) parti indipendenti. Le stecche di questo tipo, montate su basi circolari, formano la struttura descritta nel paragrafo 1.7.1.1 e mostrata in figura 1.7.

Vediamo come si misura l'angolo di sito facendo riferimento alla fig. 4.32; in essa, per semplificare l'esempio, è riportata la geometria di una sola

stecca disposta nel piano verticale. Nella figura sono evidenziati l'angolo di sito β , formato dalla direzione di provenienza delle onde con l'asse del battello e la differenza di percorso (a), che l'onda deve superare per passare dal gruppo idrofonico I1 al gruppo I2 (il percorso (a) è superato dal suono nel tempo t). In figura sono inoltre riportati il ritardatore R e il sommatore S.

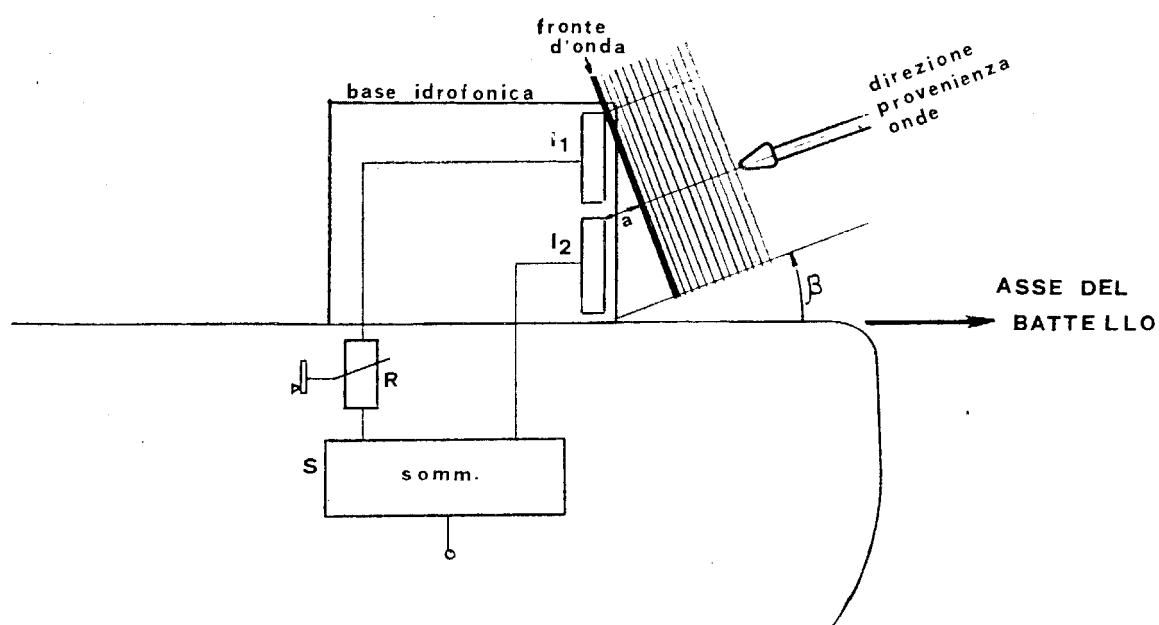


fig. 4.32 Geometria per la misura dell'angolo di sito.

La tensione del gruppo I1 viene applicata al sistema di ritardo R prima di inviarla al sommatore, la tensione del gruppo I2, già ritardata a causa del maggior percorso dell'onda del tempo t rispetto a I1, viene invece applicata direttamente al sommatore. Il ritardo t della tensione di I2 è funzione dell'angolo di sito β .

La misura del tempo di ritardo t si effettua osservando il comportamento dell'ampiezza della tensione all'uscita del sommatore al variare del ritardo R. Se il ritardo introdotto da R è uguale a t , la tensione di I1 subisce in R lo stesso ritardo che la pressione acustica, che colpisce I2, subisce in acqua e le due tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità; di conseguenza la tensione in uscita dal sommatore raggiunge il massimo valore.

In questo modo si ottiene la coincidenza del valore di R con il ritardo t e da

esso, con semplice calcolo (svolto automaticamente) si determina prima il valore di β , dopo, introducendo il valore della distanza del bersaglio, si stabilisce la sua quota relativa (Q_r). La misura dell'angolo di sito si esegue su di un bersaglio di cui è già stata determinata la direzione; con un apposito sistema si scelgono due o più stecche prospicienti a tale direzione e su queste si esegue la misura.

Il sistema per la selezione delle stecche e per la misura del β è simile al compensatore per la misura della direzione; non viene qui descritto per non valicare i limiti imposti a questa esposizione.

4.7) Misura della distanza dei bersagli attivi.

Il problema della misura della distanza dei bersagli che irradiano rumore, è risolto mediante la valutazione dei tempi di ritardo che l'onda acustica viene ad avere nel colpire una particolare base idrofonica. Questa è stata mostrata in figura 1.14 nel paragrafo dedicato al misuratore passivo della distanza, i cui principi di funzionamento sono ora esposti. Per semplificare la descrizione prenderemo a modello una base che ha una sola stecca al posto di ogni gruppo di stecche come in quella menzionata.

La determinazione della distanza si basa sulla geometria che la "curvatura" del fronte d'onda forma con la base.

L'affermazione ora fatta può stupire, dato che in precedenza, nel considerare le onde acustiche per i diversi metodi di misura della direzione, non si è accennato al fatto che il fronte d'onda è curvo. Nella misura della direzione l'effetto della curvatura dell'onda che colpisce la base è irrilevante e perciò nel ragionare su questo argomento si suppone che l'onda non sia curva.

Le onde acustiche emesse da un bersaglio si propagano in mare per successivi spostamenti delle particelle d'acqua, secondo sfere le cui ampiezze crescono man mano che le onde si allontanano dal bersaglio.

Nella Fig. 4.33 è mostrata una sezione orizzontale dello spazio subacqueo in cui le onde compaiono come cerchi concentrici.

Nella realtà le onde acustiche, pur seguendo la propagazione che abbiamo menzionato, non sono dei cerchi perfetti; la curvatura dell'onda, per cause complesse, è finemente deformata e ciò a volte provoca sensibili alterazioni delle geometrie acustiche che si ripercuotono sulla precisione di misura della distanza. Questo problema non viene però considerato in questa breve esposizione.

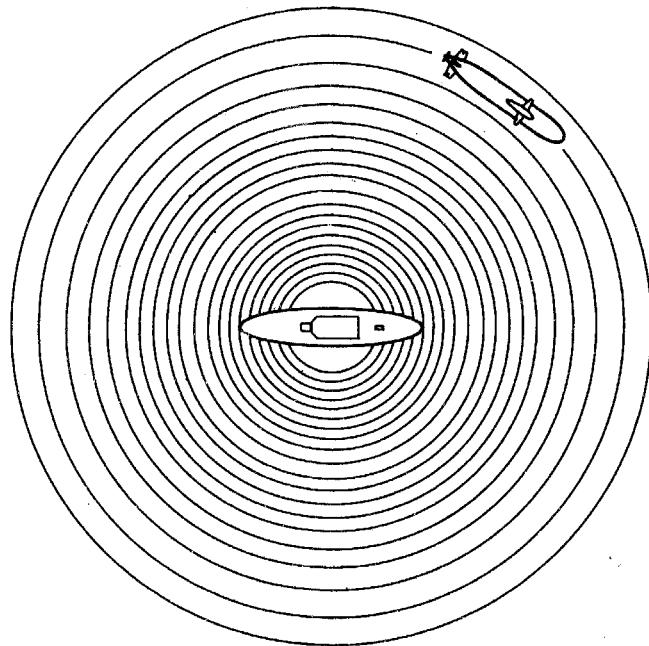


fig. 4.33 Geometria per evidenziare la curvatura delle onde acustiche

Consideriamo una base idrofonica rettilinea formata da tre stecche ed un bersaglio posto sull'asse come indicato in Fig. 4.34.

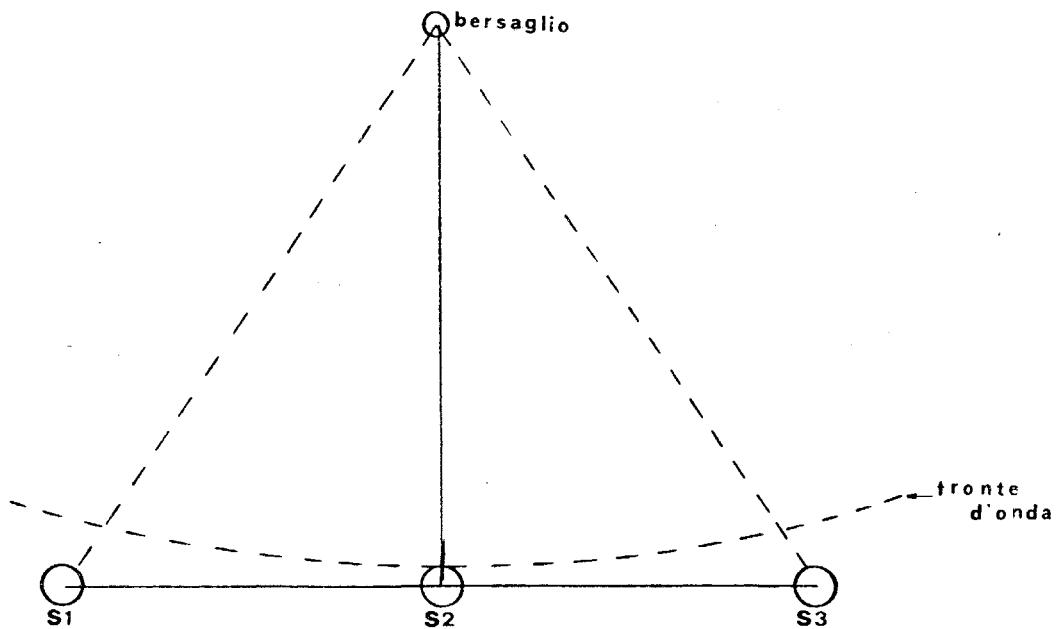


fig. 4.34 Geometria per la misura del tempo di ritardo dovuto alla curvatura.

Quando il fronte d'onda colpisce la base, a causa della sua curvatura viene investita prima la stecca S2, poco dopo sono investite, contemporaneamente, le stecche S1, S3. Nella differenza di tempo t , che l'onda impiega per passare dalla stecca S2 alle stecche S1 e S3, è contenuta l'informazione

relativa alla distanza del bersaglio.

Dall'esame della geometria di figura 4.34 si ricava la legge matematica che lega il tempo t alla distanza del bersaglio e alle dimensioni della base. Da semplici calcoli si può vedere che il tempo t è tanto più piccolo quanto più è lontano il bersaglio e che la sua entità diventa ragionevolmente apprezzabile soltanto se si impiega una base lunga diverse decine di metri. Facciamo un esempio: supponiamo di impiegare una base idrofonica rettilinea a tre stecche distanti 30 metri l'una dall'altra, la legge di variazione del tempo di ritardo t in funzione della distanza del bersaglio è rappresentata dal grafico di Fig. 4.35.

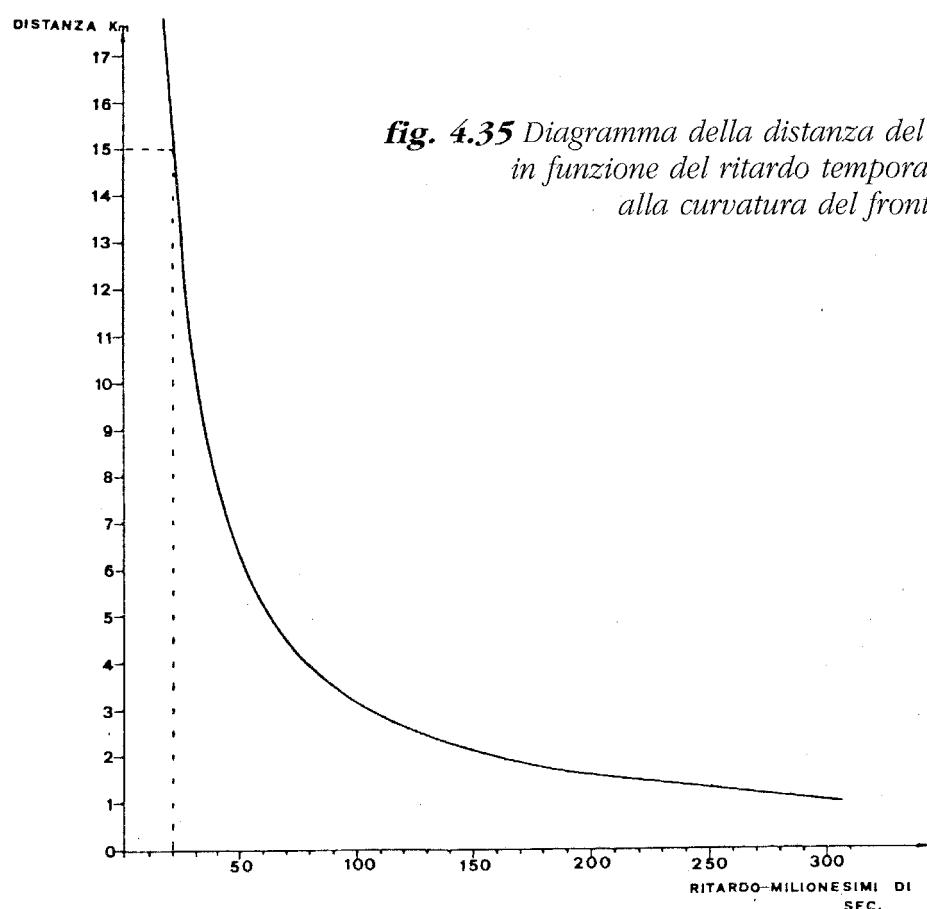


fig. 4.35 Diagramma della distanza del bersaglio in funzione del ritardo temporale dovuto alla curvatura del fronte d'onda.

Dalla curva notiamo che per distanze elevate, dell'ordine di 15 Km, il tempo di ritardo è intorno a 20 milionesimi di secondo e che bastano pochi milionesimi di secondo di errore nella sua valutazione per far sì che la misura della distanza venga notevolmente alterata.

Dall'esempio si comprende che, per la misura della distanza, la valuta-

zione dei ritardi è cosa ben più delicata di quanto non sia nel caso della misura della direzione.

In via di solo principio la distanza di un bersaglio può essere determinata con la disposizione circuitale di fig. 4.36.

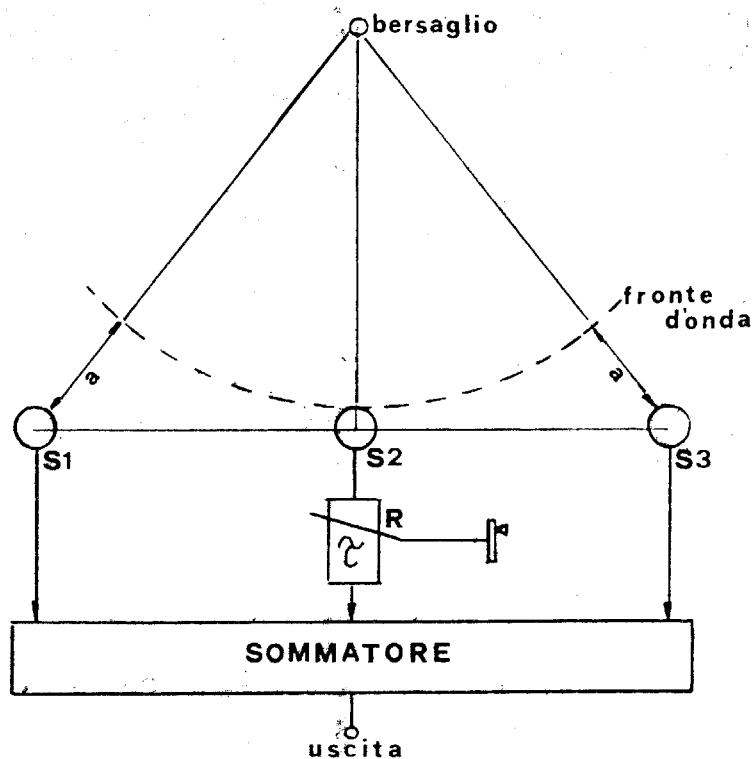


fig. 4.36 Sistema di principio per la misura del ritardo dovuto alla curvatura del fronte d'onda.

La differenza di percorso che l'onda acustica deve colmare per passare dalla stecca S2 alle stecche S1 e S3 è indicata con (a), ad essa corrisponde il tempo di ritardo t . Per determinare il valore di t si deve introdurre, tramite R , il ritardo t_1 , adatto a rendere sempre uguale, in ampiezza e polarità, la tensione di S2 con le tensioni di S1 e S3, in modo da rendere massima la tensione in uscita dal sommatore. Una volta eseguita questa operazione il valore del ritardo t_1 , introdotto da R , è uguale a t e può essere messo a calcolo per la determinazione della distanza.

Un'ultima osservazione riguarda la geometria che viene a formarsi quando il bersaglio non si trova sull'asse della base (vedi Fig. 4.37); in questo caso la misura della distanza è influenzata dalla direzione del bersaglio e la determinazione del tempo di ritardo t diventa molto più elaborata, pur seguendo gli stessi principi che abbiamo ora descritto.

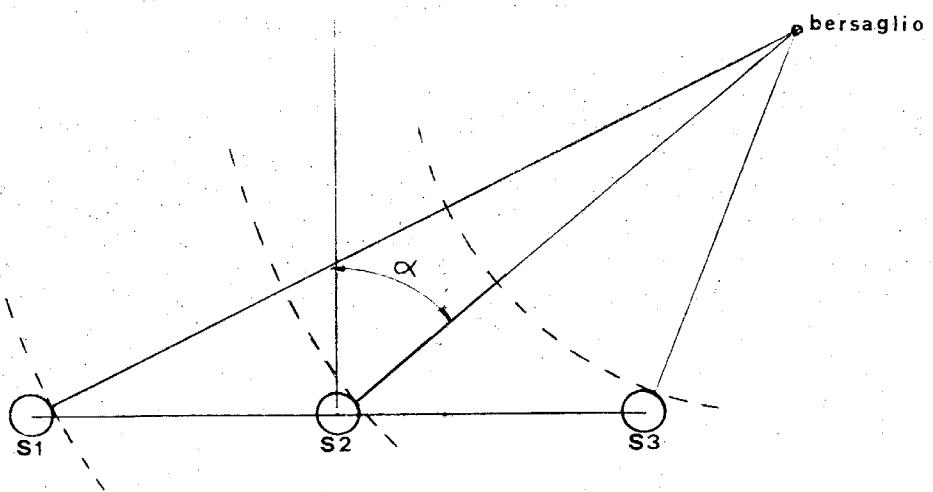


fig. 4.37 Geometria per la misura del tempo di ritardo dovuto alla curvatura per bersaglio comunque disposto.

In pratica non è possibile eseguire con la disposizione circuitale di figura 4.36 una misura della distanza. I procedimenti che lo consentono, che si basano sempre sulla valutazione del ritardo dovuto alla curvatura dell'onda, sono molto complessi e la loro spiegazione ci porterebbe fuori dai limiti imposti a questo lavoro. Ci basti pertanto la conoscenza dei fondamenti di questa importante applicazione dell'acustica dei sonar.

Prima di terminare questo argomento è opportuno chiarire perché le due basi del misuratore passivo della distanza, illustrato nel paragrafo 1.8.4, sono formate con gruppi di stecche. Ciò è fatto per conferire alle basi la caratteristica di direttività necessaria a ridurre il disturbo captato nell'ambiente subacqueo.

4.8.) Configurazione della componente passiva del sonar.

Dopo aver esaminato i principi e i sistemi per la localizzazione dei bersagli attivi, vediamo come è strutturata una configurazione tipica della componente passiva del sonar.

La descrizione che segue illustra questa componente secondo una impostazione tecnica di principio che ha il solo scopo di evidenziarne le molteplici possibilità operative.

Sono applicati, nella struttura del sonar, i sistemi già visti in precedenza con l'aggiunta di alcuni importanti complementi che ne rendono più efficace l'impiego.

Nello schema di Fig. 4.38 è riportato l'insieme dei blocchi funzionali che

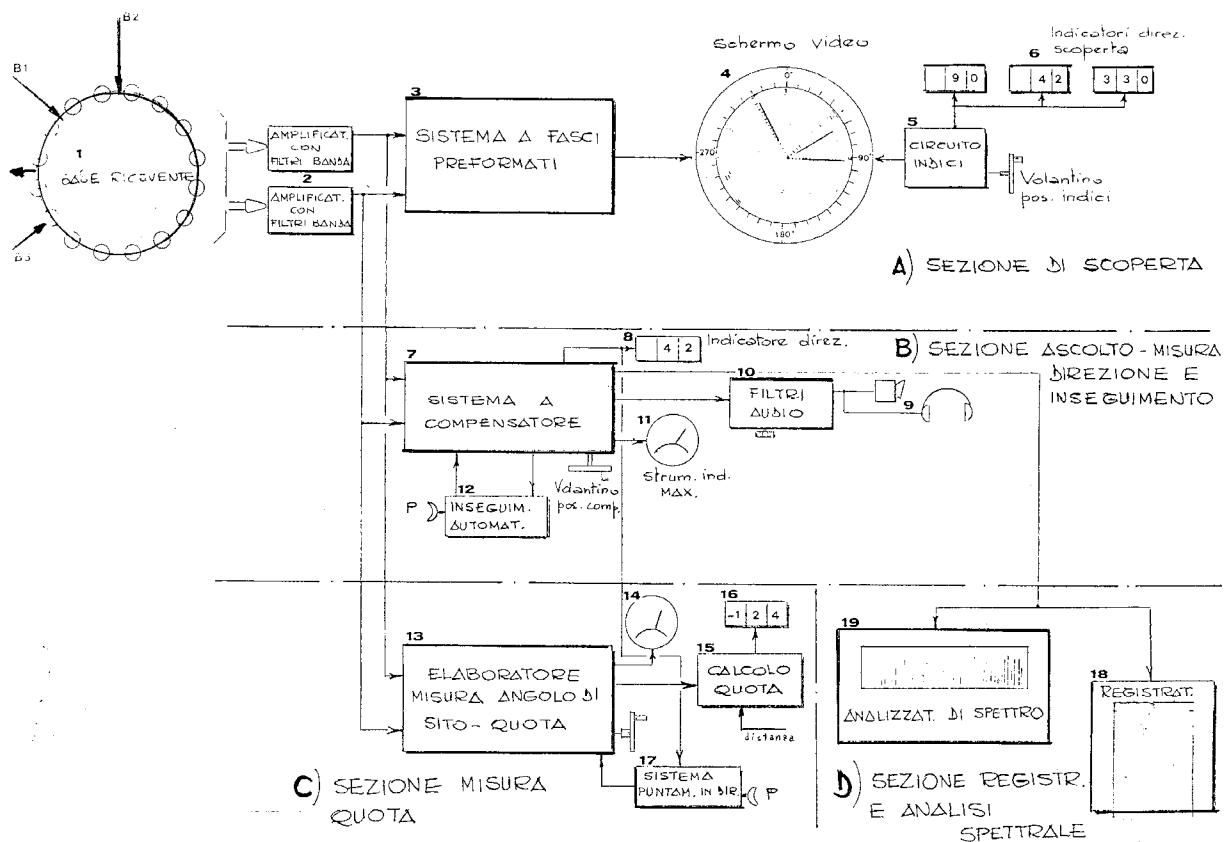


fig. 4.38 Schema a blocchi della componente passiva del sonar

costituiscono la componente passiva; esso è suddiviso nelle seguenti sezioni:

- Sezione per la scoperta dei bersagli.
- Sezione per l'ascolto, la misura della direzione e l'inseguimento di un bersaglio prescelto.
- Sezione per la misura della quota del bersaglio prescelto.

D) Sezione per la registrazione e l'analisi dei dati.

Descriviamo ora le quattro sezioni secondo un'ipotetica situazione che coinvolge l'operatore: la base idrofonica circolare (1) riceve il suono irradiato da tre bersagli: B1, B2, B3, posti a 42°, 90° e 330° rispetto all'asse del battello.

Le tensioni generate dalle stecche, tramite gli amplificatori (2), raggiungono i tre sistemi principali di elaborazione; fasci preformati (3), compensatore (7), elaboratore quota (13). Gli amplificatori (2) sono dotati di filtri di banda per limitare il funzionamento della componente nel campo di frequenze stabilito dal progetto del sonar.

Il sistema di fasci preformati (3) individua contemporaneamente la presenza dei tre bersagli e ne presenta le tracce sullo schermo video (4) sotto forma di settori luminosi disposti sulle direzioni 42°, 90°, 330°.

L'operatore inizia la fase di scoperta agendo sul volantino del comando indici (5) con il quale, in tempi successivi, posiziona tre indici luminosi al centro delle tracce dei tre bersagli. In tal modo egli determina la direzione mediante la lettura degli angoli che le posizioni degli indici hanno introdotto sugli indicatori numerici (6).

L'operatore decide ora, in base ad esigenze tattiche, di localizzare il bersaglio B1; per far ciò ruota il volantino del sistema a compensatore (7) in modo che l'indicatore (8), ad esso collegato, segni il valore angolare, fornito in precedenza dal sistema di scoperta, relativo al bersaglio B1. Orienta così per 42° il fascio del compensatore e con le cuffie (o altoparlante) (9) inizia l'ascolto del rumore emesso dal bersaglio. Agendo sul blocco dei filtri audio (10) seleziona la banda di frequenze più idonea per l'ascolto del rumore irradiato da quel particolare bersaglio; questo esame può dare utili indicazioni circa il tipo di propulsione, la velocità ed altri importanti tratti distintivi.

In questo caso il compensatore è stato orientato su indicazione del sistema di scoperta, in altre condizioni può essere orientato in modo autonomo per la ricerca di bersagli, con il metodo della massima tensione all'uscita del sommatore che viene indicata dallo strumento ad indice (11) e con l'ascolto audio in cuffia e in altoparlante (9).

È ora la volta della misura della quota del bersaglio, che si effettua sfruttando le stecche a doppi gruppi idrofonici della base (1). L'operatore, pigiando il pulsante del blocco di puntamento (17), trasferisce la posizione angolare del bersaglio prescelto (42°), al gruppo di selezione stecche dell'elaboratore (13). In questo modo il blocco (13) risulta collegato alle

stecche che si trovano intorno alla direzione 42° e può elaborarne le tensioni per la determinazione dell'angolo di sito, da cui viene calcolata la quota del bersaglio. L'operatore esegue la misura agendo sul volantino del blocco (13) fino a rendere massima l'elongazione dell'indice dello strumento (14), il circuito di calcolo (15) trasforma il tempo di ritardo, introdotto dall'azione dell'operatore, nel valore di quota che viene poi presentato nell'indicatore (16) (vedi par. 4.6).

Eseguite le misure atte a localizzare il bersaglio l'operatore decide di seguirne la traiettoria osservando in continuazione le variazioni della sua direzione. In un primo momento segue il movimento del bersaglio ruotando, con il volantino, il compensatore (7), in modo tale che lo strumento (11) indichi sempre il massimo valore, ciò significa che il fascio del compensatore segue il bersaglio e che l'angolo fornito dall'indicatore (8) ne rappresenta di volta in volta la direzione.

In un secondo tempo deve procedere alla scoperta di altri bersagli, senza peraltro abbandonare il controllo del bersaglio B1; per far ciò pigia il pulsante P del blocco di inseguimento automatico (12) che si sostituisce all'azione manuale dell'operatore sul volantino ed il compensatore segue automaticamente le evoluzioni del bersaglio B1. In questo modo l'operatore è libero di concentrare la sua attenzione sullo schermo di scoperta (4). In qualsiasi momento può controllare la direzione di B1, che viene aggiornata continuamente sull'indicatore (8), e procedere ad un nuovo rilievo dei dati di quota e direzione.

Mentre il sistema a compensatore (7) segue automaticamente il bersaglio B1 le tensioni dovute al suo rumore, presenti all'uscita del sommatore elettronico, sono indirizzate a due altri sistemi di elaborazione: il registratore grafico di direzione (18) e l'analizzatore di spettro (19).

Il registratore grafico (18) ha il compito di visualizzare istante dopo istante le direzioni del bersaglio inseguito dal compensatore. Sulla carta scorrevole, contrassegnata con i riferimenti angolari 0° , 360° , (vedi fig. 4.39) il pernino scrivente si muove in sincronia con il compensatore e traccia delle marche scure in corrispondenza delle direzioni assunte dal bersaglio nel tempo. Sulla carta che scorre resta impressa la "storia" delle evoluzioni del bersaglio che aiuta l'operatore a seguirne e prevederne le manovre. Il registratore grafico consente inoltre di migliorare la discriminazione dei segnali idrofonici mascherati dal disturbo; infatti, mentre le tracce del segnale compaiono allineate le une dopo le altre formando una pista scura, il disturbo provoca tracce posizionate casualmente che, anche

se frequenti, non sono allineate. Il segnale si distingue perciò dal disturbo.

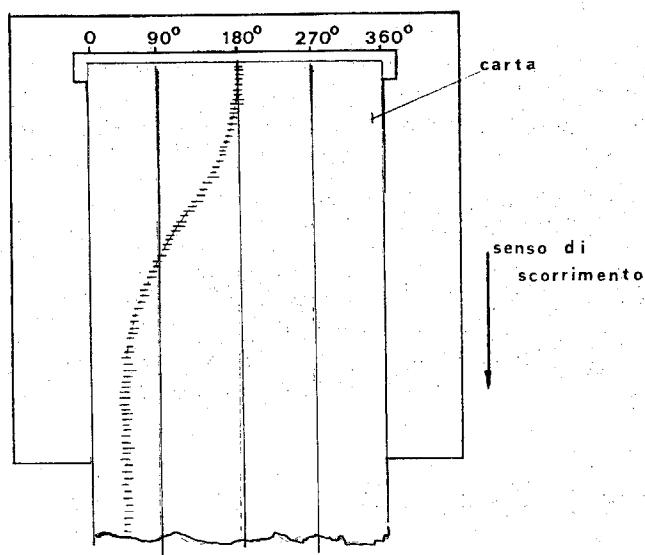


fig. 4.39 Registratore della posizione angolare del bersaglio attivo.

L'analizzatore (19) esegue l'esame dello spettro delle frequenze contenute nel rumore irradiato dal bersaglio. L'esame porta alla determinazione dell'ampiezza relativa di tutte le frequenze che compongono lo spettro con il relativo tracciamento su un grafico che ha per ascisse le frequenze e per ordinate le ampiezze relative a ciascuna frequenza (vedi Fig. 4.40).

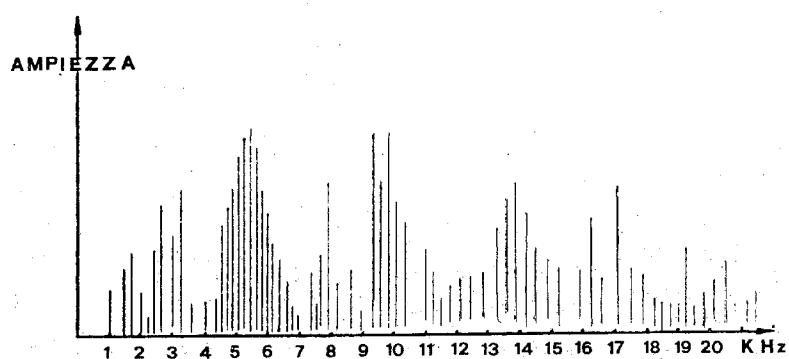


fig. 4.40 Spettro del rumore del bersaglio scoperto dal sonar.

Confrontando lo spettro di frequenze rilevato dall'analizzatore (19) con gli spettri distintivi di molti tipi di unità navali, contenuti in un apposito ar-

chivio, l'operatore può stabilire la classe del bersaglio che sta inseguendo. Quanto abbiamo visto ci dà un'idea della notevole capacità operativa del sonar passivo nelle fasi di scoperta, localizzazione, inseguimento e classificazione dei bersagli.

4.9) Configurazione della componente per la misura passiva della distanza.

A chiusura di questo capitolo esaminiamo il funzionamento di una delle componenti più complesse del sonar, il misuratore passivo della distanza. Il tipo che illustriamo può funzionare soltanto se è indirizzato dalla componente passiva del sistema di localizzazione.

Il dato angolare fornito da quest'ultima è utilizzato dal misuratore per orientare la caratteristica di direttività della propria base verso il bersaglio. Nella Fig. 4.41 è riportato lo schema a blocchi del misuratore che viene descritto secondo gli stessi criteri applicativi che abbiamo impiegato nel paragrafo precedente. Lo schema mostra le due basi rettilinee (1) che sono formate ciascuna da tre gruppi di stecche idrofoniche.

Una base è destinata a ricevere i rumori dei bersagli dal lato destro del battello, mentre l'altra è preposta a riceverli dal lato sinistro. Entrambe le basi inviano, tramite gli amplificatori (2), le loro tensioni idrofoniche all'elaboratore (3). Esso è indirizzabile sul bersaglio mediante il blocco di puntaamento (4), che riceve il comando dal compensatore idrofonico.

Supponiamo che la situazione operativa sia ancora quella indicata nel paragrafo precedente e che l'operatore decida di misurare la distanza del bersaglio B3 posto a 330° rispetto all'asse del battello; prima egli orienta su B3 il compensatore della componente idrofonica (blocco 7 di fig. 4.38), indi, pigiando il pulsante P del blocco di orientamento (4), trasferisce all'elaboratore (3) la posizione angolare assunta dal compensatore e abilita la base interessata, in questo caso quella di sinistra.

A questo punto l'operatore, guardando lo schermo di presentazione, (6) osserva due particolari tracce luminose disposte ad una certa distanza l'una dall'altra. Egli inizia ad eseguire la misura della distanza ruotando il volantino V del sistema di calcolo (5), con questa azione vede le due tracce che si avvicinano, quando esse risultano perfettamente sovrapposte, sull'indicatore numerico (7) compare il valore della distanza del bersaglio B3.

Azionando il volantino del gruppo di calcolo l'operatore ha introdotto un ritardo artificiale che, secondo quanto spiegato nel paragrafo 4.7, ha com-

pensato quello dovuto alla curvatura del fronte d'onda, nel frattempo il gruppo di calcolo ha determinato il valore della distanza corrispondente, secondo la legge con la quale è stata tracciata la curva della figura 4.35. Naturalmente il sistema per evidenziare la coincidenza dei tempi di ritardo non è un dispositivo sommatore, ma un circuito molto più complesso.

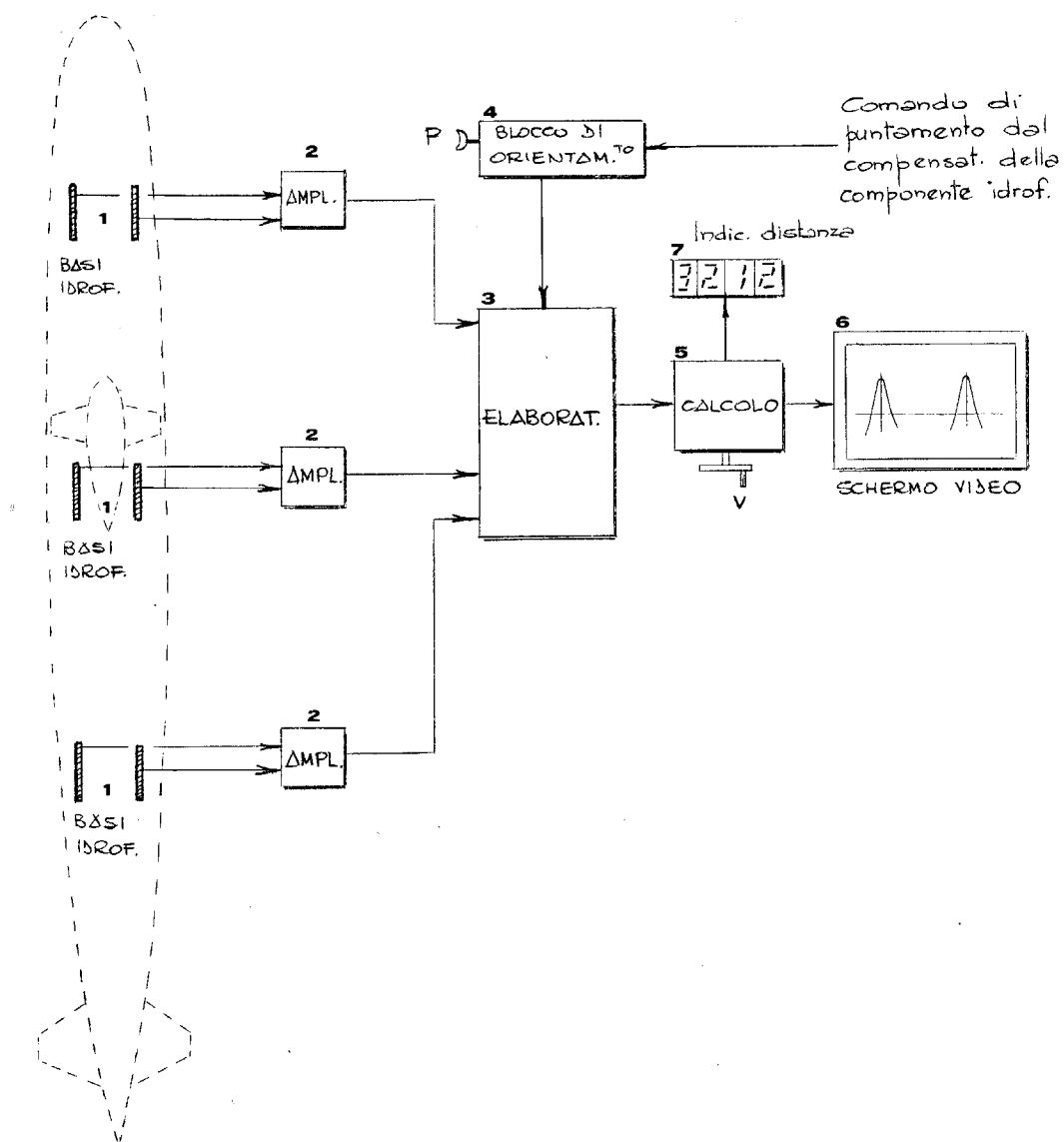


fig. 4.41 Schema a blocchi del misuratore passivo della distanza.

CAPITOLO 5

Principi, sistemi e metodologie per la localizzazione subacquea attiva

5.1) L'eco del bersaglio.

La localizzazione attiva si attua mediante l'emissione in mare di impulsi di energia acustica che hanno lo scopo di produrre gli echi dei bersagli. L'energia riflessa, eco, viene captata dalla base ricevente e consente al sonar di valutare la direzione e la distanza del bersaglio nonché la velocità relativa tra bersaglio e sommersibile.

Quando l'eco colpisce la base ricevente si presenta ad essa in modo simile all'onda acustica del rumore irradiato da un bersaglio attivo, l'unica differenza è dovuta alla durata del fenomeno che nel caso del rumore irradiato è persistente, mentre per l'eco dipende dalla lunghezza dell'impulso emesso dal sonar. Nell'ambito della durata dell'impulso d'eco valgono, per il suo fronte d'onda, gli stessi ragionamenti fatti nel capitolo precedente, a proposito delle misure dei tempi di ritardo e delle relazioni tra questi e la direzione di provenienza dell'onda acustica.

5.2.) La misura della direzione con il metodo dell'eco.

Vediamo come si misura la direzione di un bersaglio, con il metodo dell'eco, considerando il noto modello acustico adattato alla ricezione di un'onda impulsiva (eco) (vedi figura 5.1).

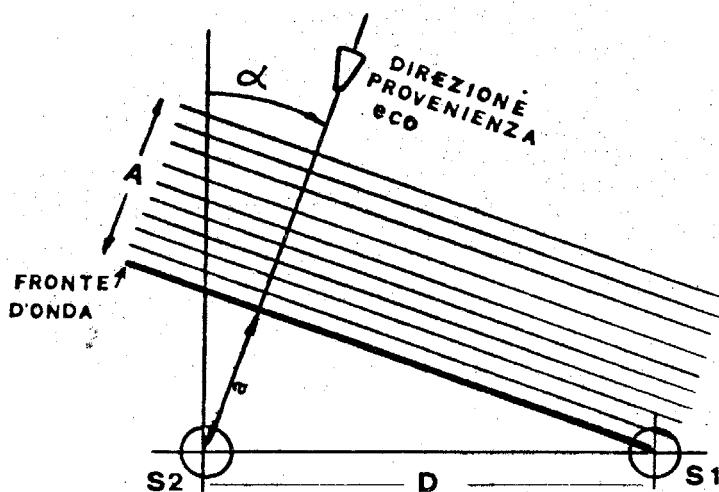


fig. 5.1 Geometria per il rilievo dei ritardi del fronte d'onda dell'eco su due idrofoni.

Nella figura sono evidenziati la lunghezza dell'impulso acustico (A) (a cui corrisponde una durata T), l'angolo α , formato dalla direzione di provenienza del fronte dell'impulso con una normale alla base e la differenza di percorso (a) che l'impulso deve superare per passare dalla stecca S1 alla stecca S2 e la distanza D tra le stecche. Il tempo t, che il fronte dell'impulso impiega nel percorrere lo spazio (a), varia al variare dell'angolo α con la stessa legge mostrata dal grafico di Fig. 4.2 (esempio fatto per una distanza tra le stecche di 20 cm).

Per la misura della direzione di provenienza dell'impulso è quindi necessario, come per il caso del rumore irradiato da un bersaglio, valutare il valore del tempo di ritardo t. Dobbiamo notare che la misura del tempo t non è subordinata alla durata dell'impulso che può essere, indifferentemente, sia grande che piccola.

Per eseguire questo tipo di rilievo è indispensabile, a causa della limitata durata dell'impulso, adottare un sistema di misura che consenta di valutare il fenomeno nel tempo della durata stessa.

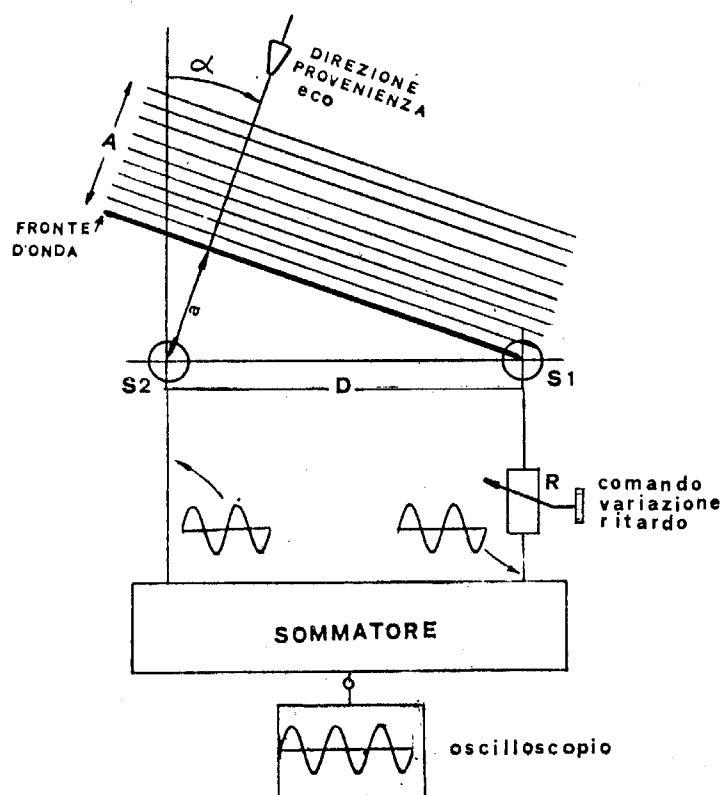


fig. 5.2 Sistema per la misura del ritardo del fronte d'onda dell'eco su due idrofoni.

Nella Fig. 5.2. è mostrato lo schema di principio per la valutazione del tempo di ritardo t e sono evidenziate le forme d'onda delle tensioni, prodotte dall'onda impulsiva, ai capi delle stecche. Queste tensioni hanno andamento sinusoidale, perché tale è l'andamento delle pressioni acustiche dovute all'impulso emesso in acqua dal sonar. Le tensioni sinusoidali che hanno sempre polarità istantanee uguali si dicono in fase.

Per determinare la direzione del bersaglio si deve introdurre con R un ritardo artificiale adatto a rendere uguali in fase le tensioni delle stecche in modo che l'ampiezza dell'impulso all'uscita del sommatore sia massima. La tensione impulsiva della stecca S_1 viene applicata al sistema R , che la ritarda prima di inviarla al sommatore, la tensione della stecca S_2 , già ritardata del tempo t , a causa del maggior percorso dell'onda in acqua, viene applicata direttamente al sommatore.

La misura del tempo di ritardo t , tra la tensione impulsiva generata da S_2 e quella generata da S_1 , si effettua osservando con un oscilloscopio il comportamento dell'ampiezza della tensione in uscita dal sommatore. Se il ritardo introdotto artificialmente dal sistema R (*) è diverso da t , l'operazione di somma avviene tra due tensioni sinusoidali che non sono uguali in fase e la tensione in uscita dal sommatore non raggiunge il massimo valore. Se il ritardo introdotto dal sistema R è uguale a t la tensione di S_1 subisce in R lo stesso ritardo che la pressione acustica dell'impulso, che colpisce S_2 , subisce in acqua a causa dell'inclinazione del fronte d'onda e le due tensioni hanno la stessa fase, per conseguenza la tensione all'uscita del sommatore raggiunge il massimo valore. In questo modo si ottiene la coincidenza del valore di R con il ritardo t e dal valore di R si determina, come per i sistemi passivi, la direzione del bersaglio.

E' necessario fare ora due importanti osservazioni:

- 1) Abbiamo accennato che gli impulsi ricevuti hanno andamento sinusoidale, ciò può provocare, nel sistema di Figura 5.2, condizioni di ambiguità nella misura della direzione, dovute al fatto che le tensioni delle due stecche possono trovarsi in fase, per un certo tratto dell'impulso, anche quando il ritardo introdotto da R non è uguale a t , generando un massimo anomalo all'uscita del sommatore.

Tale situazione è visibile in Fig. 5.3 e non richiede alcun commento. L'ambiguità viene evitata impiegando basi idrofoniche a più stecche dato che questa particolare situazione può verificarsi per due di esse, ma non per tutte.

(Vedi osservazione 1 del presente paragrafo)

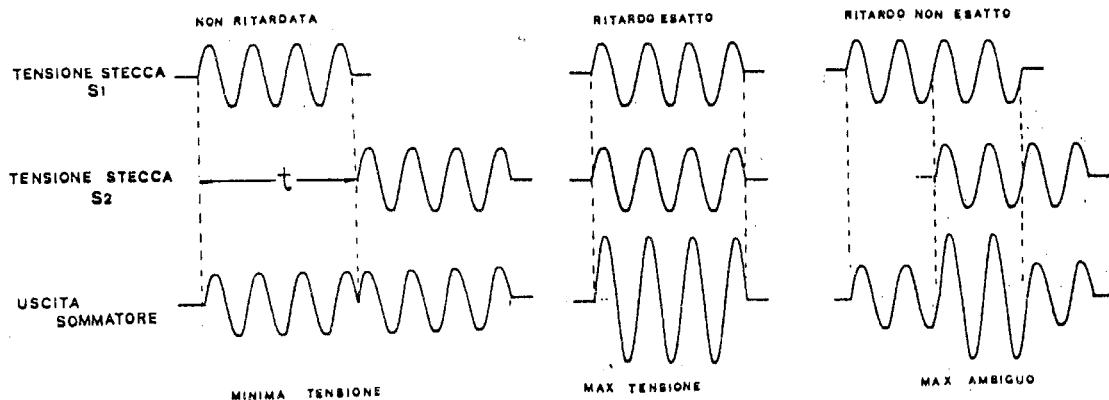


fig. 5.3 Somma delle tensioni dovute all'eco.

Per queste basi si può estendere lo stesso principio indicato per la misura della direzione con due stecche.

2) Dato che la durata del fenomeno da osservare, per la misura del ritardo t , è limitata dalla lunghezza T dell'impulso ricevuto, non è possibile riuscire, in un tempo così breve, a trovare variando R , il ritardo che rende massimo l'impulso all'uscita del sommatore. Ciò richiederebbe che l'operazione venisse estesa all'osservazione di più impulsi successivi che si ripetono con cadenza impressa dal trasmettitore del sonar.

Questo fatto è limitativo rispetto alla facilità con cui si può fare un'analoga operazione ricevendo i rumori persistenti irradiati dai bersagli attivi e ci fa capire che è praticamente impossibile determinare la direzione di un bersaglio con il metodo dell'eco, impiegando il sistema a fascio orientato con compensatore, dato che non è pensabile ruotare quest'ultimo alla ricerca di un'eco, che non si sa quando e da dove provenga.

La localizzazione attiva si basa pertanto su l'impiego di sistemi di fasci preformati che consentono di vedere la traccia dell'eco in qualsiasi momento e da qualsiasi direzione giunga. Soltanto nella fase di ascolto del timbro dell'eco, una volta localizzato il bersaglio, si ricorre a particolari sistemi di orientamento manuale.

5.3) Principi di misura della distanza dei bersagli passivi.

L'eco di un bersaglio passivo, che ritorna verso il sonar che l'ha generata, contiene l'informazione della distanza del bersaglio nella curvatura del

l'onda così come nel caso, visto nel paragrafo 4.7, del rumore irradiato da un bersaglio. Questa informazione, che nella localizzazione passiva è indispensabile per la misura della distanza, non è impiegata nel funzionamento attivo del sonar perché esso offre un mezzo più semplice per tale misura.

Vediamo, con l'aiuto di Fig. 5.4, come si determina la distanza del bersaglio secondo il metodo dell'eco.

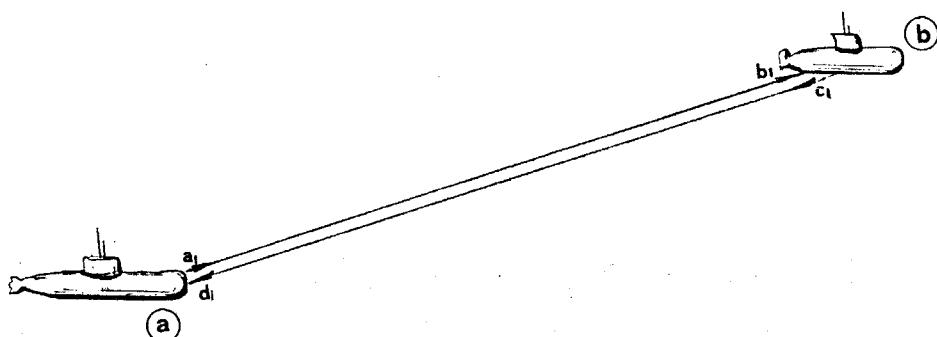


fig. 5.4 Geometria per la misura della distanza dei bersagli con il metodo dell'eco.

Nella figura sono indicati con le lettere A e B, rispettivamente, il sommersibile protagonista ed il bersaglio passivo, con le lettere a1-b1 il percorso dell'impulso emesso da A per la localizzazione di B, con le lettere c1-d1 il percorso dell'eco di ritorno da B. Naturalmente le lunghezze dei due percorsi sono uguali.

L'impulso acustico emesso da A copre la distanza a1-b1 nel tempo T alla velocità di propagazione del suono nell'acqua (circa 1500 m/sec), l'eco di ritorno da B copre la distanza c1-d1 alla stessa velocità e nello stesso tempo T. La misura della distanza tra A e B si calcola, semplicemente, dopo aver misurato il tempo $2T$ che intercorre tra l'emissione dell'impulso in acqua e la ricezione dell'eco da parte del sonar.

Infatti facendo il prodotto del tempo di percorrenza ($2T$) per la velocità di propagazione del suono si ottiene lo spazio percorso dall'impulso tra andata e ritorno, dividendo per due questo spazio si ricava la distanza del bersaglio.

Nel grafico di Fig. 5.5. sono indicate le distanze del bersaglio in funzione del valore di $(2T)$ supponendo la velocità di propagazione del suono in acqua di 1500 m/sec.

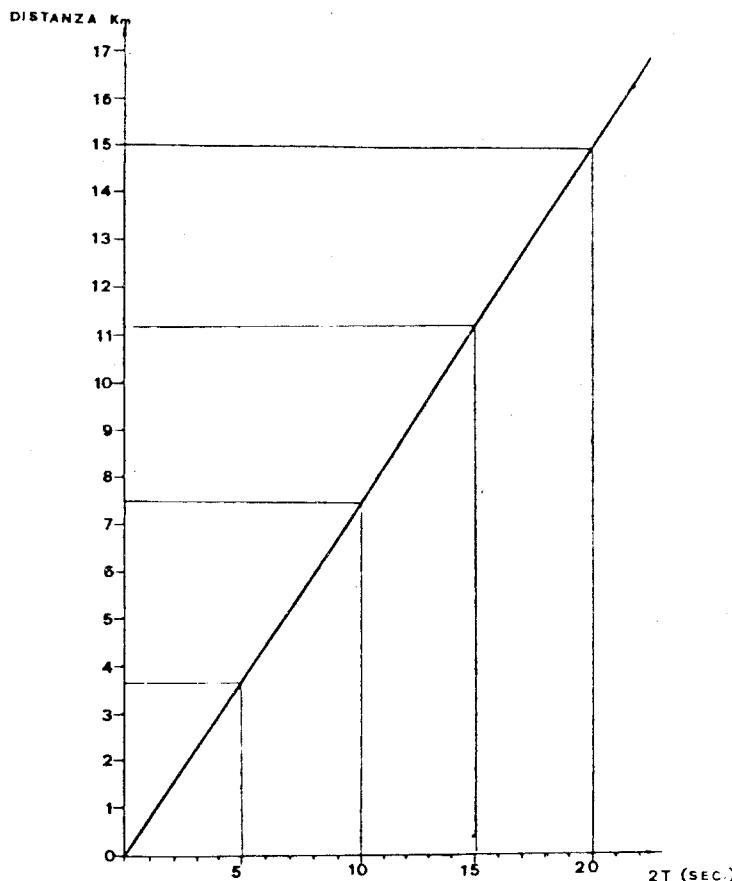


fig. 5.5 Diagramma della distanza del bersaglio in funzione del tempo di percorrenza A-B (andata e ritorno).

Il problema della determinazione della distanza si risolve, come gran parte dei problemi sonar, in una misura di tempo, in particolare nella misura del tempo $2T$ di andata e ritorno dell'impulso.

La valutazione del tempo $2T$, cioè la determinazione della distanza, viene eseguita in parte automaticamente e in parte con l'intervento dell'operatore.

5.4) Fasci preformati nel sonar attivo (misura della direzione e della distanza).

La scoperta e la localizzazione dei bersagli con il metodo dell'eco si basa principalmente sull'impiego di sistemi a fasci preformati (vedi seconda osservazione del paragrafo 5.2).

La presentazione di più echi provenienti da direzioni e distanze diverse, è resa possibile dall'accoppiamento di un sistema di fasci preformati con un dispositivo di governo dei tempi di scansione, sincronizzato con l'istante

di emissione dell'impulso acustico in acqua.

Il sistema a fasci preformati è simile a quello descritto nel paragrafo 4.5, il cui schema a blocchi è mostrato in figura 4.19.

Ciascun fascio riceve gli echi dei bersagli in un determinato settore e l'insieme dei fasci copre tutto l'orizzonte subacqueo.

Il blocco di scansione esplora ciclicamente tutte le uscite dei rivelatori alla ricerca di qualche impulso di tensione dovuto agli echi dei bersagli captati dalla base idrofonica. L'uscita del blocco di scansione è collegata, come nei sistemi passivi, al blocco di interpolazione.

I tempi di scansione, che presiedono l'esplorazione dei rivelatori, sono, in questo caso di ricerca attiva, molto più brevi di quelli corrispondenti per l'esplorazione in ricerca passiva. La ragione risiede nel fatto che l'eco del bersaglio è di breve durata e, cercandone la direzione di provenienza, devono essere esplorati più di una volta tutti i fasci nel tempo in cui dura l'impulso.

Il dispositivo per il governo dei tempi di scansione ha il compito di fare partire la scansione dei rivelatori nell'istante in cui il sonar emette l'impulso acustico in acqua. In questo modo si stabilisce con precisione, in base al tempo impiegato per compiere ogni scansione e al numero di queste, il tempo trascorso dall'inizio della trasmissione all'istante in cui viene ricevuta l'eco. Tale tempo permette la determinazione della distanza del bersaglio.

Per chiarire le idee facciamo un esempio realistico: supponiamo di avere un sistema di scansione in grado di esplorare tutti i rivelatori in 1 millesimo di secondo; se la prima scansione parte all'istante dell'emissione dell'impulso in acqua, terminerà la sua esplorazione 1/1000 di secondo dopo, la seconda scansione terminerà 2/1000 di secondo dopo, la terza 3/1000 di secondo dopo e così via; se l'eco di un bersaglio viene individuata durante la diecimillesima scansione sappiamo che il tempo $2T$, trascorso dall'emissione dell'impulso, è di $10000/1000$ di secondo, cioè 10 secondi, a cui corrisponde (vedi figura 5.5) una distanza del bersaglio di 7500 metri.

Vediamo ora come si presentano le diverse scansioni all'uscita del blocco interpolatore, nel caso in cui il bersaglio, individuato con la diecimillesima scansione, sia disposto nella direzione 60° rispetto all'asse del battello.

In Fig. 5.6 sono tracciate, l'una di seguito all'altra, 10 scansioni attorno alla diecimillesima interessata dall'esempio, in figura si osserva che la curva a

campana, simile a quella di figura 4.22, compare soltanto nelle scansioni comprese tra il numero 10000 e il numero 10003, dato che l'eco, che

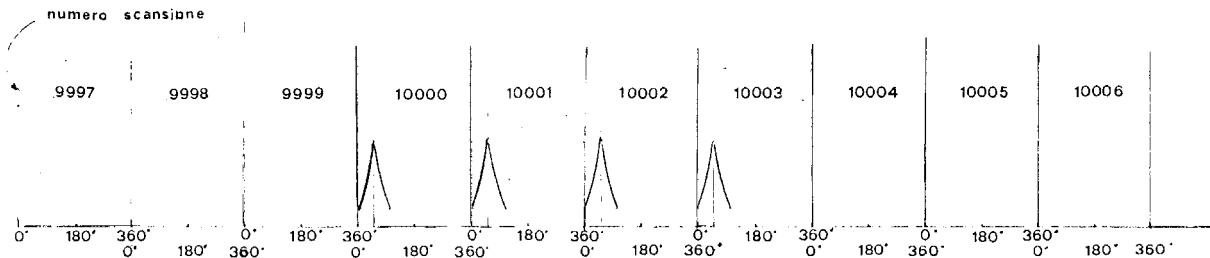


fig. 5.6. Tensioni all'uscita dell'interpolatore per la presenza di un impulso d'eco.

giunge alla diecimillesima scansione ha durata di circa 4/1000 di secondo. Le tensioni impulsive all'uscita dell'interpolatore sono visualizzate su di un apposito schermo circolare, di tipo televisivo, in modo che verso il centro di esso compaiono sempre le prime scansioni e verso la periferia le ultime (vedi Fig. 5.7). Ciascuna scansione è rappresentata sullo schermo come un cerchio su cui compaiono le tracce degli echi. I cerchi, concentrici, presentano un diametro minimo al centro dello schermo e un diametro massimo in periferia.

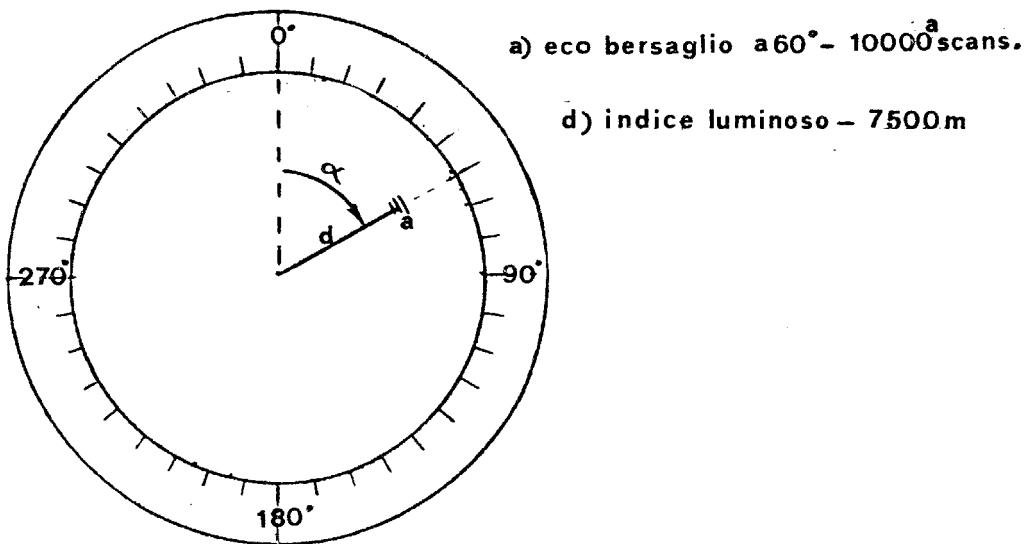


fig. 5.7 Presentazione dell'eco del bersaglio in distanza e posizione angolare.

I culmini delle tensioni a campana compaiono sullo schermo come archetti luminosi posizionati soltanto sulle poche scansioni che hanno individuato l'eco. La posizione angolare del raggio su cui si trovano le tracce dell'eco rappresenta la direzione del bersaglio rispetto all'asse del battello, la distanza delle tracce dal centro dello schermo dipende dal numero progressivo della scansione che ha individuato l'eco e rappresenta, in scala opportuna, la distanza del bersaglio.

Il rilievo della direzione viene fatto dall'operatore posizionando, con l'apposito volantino, un raggio luminoso sulle tracce dell'eco in modo da bisecarle, la posizione del volantino viene tradotta automaticamente nell'indicazione numerica della direzione del bersaglio.

Il rilievo della distanza viene eseguito variando, con altro volantino, la lunghezza del raggio posizionato in precedenza, in modo che la sua lunghezza coincida con la distanza delle tracce dal centro dello schermo; dato che essa rappresenta, in scala, la distanza del bersaglio, anche la lunghezza del raggio e la posizione del volantino, che l'ha determinata, saranno proporzionali ad essa; la posizione del volantino viene tradotta automaticamente in indicazione numerica della distanza.

Dato che gli echi per ragioni che vedremo, hanno generalmente breve durata, gli schermi video devono avere una elevata persistenza nella tenuta delle tracce luminose per consentire all'operatore di osservarle il più a lungo possibile per poter procedere su di esse ai rilievi del caso.

5.5) Ascolto dell'eco del bersaglio.

Nella localizzazione attiva gioca un ruolo importante l'ascolto della frequenza dell'eco del bersaglio; essa consente all'operatore esercitato di stabilire, dopo aver ascoltato un certo numero di echi dello stesso bersaglio, se esso è fermo o se si sta avvicinando o allontanando.

Questa possibilità, che deriva dal fenomeno fisico detto effetto Doppler, si spiega nel seguente modo: il sonar, con battello fermo, emette un impulso di localizzazione alla frequenza operativa F , l'impulso si propaga e colpisce il bersaglio, che, se è in movimento verso la direzione del sommersibile, "va incontro alle onde sonore" e l'impulso subisce una compressione nel tempo; l'eco che ne deriva non ha più la frequenza F , ma ne ha una superiore.

Se il bersaglio è invece in fase di allontanamento dal sommersibile l'impulso subisce una rarefazione nel tempo dato che il bersaglio si "allontana dalle onde sonore" e l'eco che ne deriva non ha più la frequenza F , ma una

inferiore. Se il bersaglio è fermo l'eco di ritorno ha la stessa frequenza emessa dal sonar.

Nel fare le precedenti considerazioni abbiamo supposto il battello fermo; quando questa condizione non si verifica, la variazione di frequenza subita dall'eco può essere dovuta in parte al moto del bersaglio e in parte al moto proprio del battello, in questo caso l'operatore non è in grado di stabilire se il bersaglio si avvicina o si allontana.

Con l'impiego di un particolare circuito elettronico detto "annullatore del Doppler proprio" è possibile cancellare la variazione di frequenza che l'eco subisce a causa del moto del battello consentendo all'operatore una corretta valutazione dell'effetto Doppler dovuto al bersaglio.

Quando il movimento relativo bersaglio-sommergibile non avviene secondo la retta congiungente i due mezzi l'effetto Doppler si riduce, fino a scomparire per determinate condizioni cinematiche tra di essi.

L'operatore può ascoltare un'eco particolare tra quelli che ha individuato sullo schermo video del sistema a fasci preformati: per far ciò orienta nella direzione del bersaglio prescelto il "puntatore d'ascolto", esso è un'appendice del sistema a fasci preformati della componente attiva ed è collegato secondo lo schema a blocchi di Fig. 5.8.

Dalla figura si osserva che il puntatore, blocco 1, preleva i segnali all'uscita dei sommatori per la formazione dei fasci prima del trattamento di rivelazione che modifica il contenuto frequenziale dell'eco.

L'operatore, agendo sull'apposito volantino graduato (V), porta il cursore del puntatore sul fascio più vicino alla direzione del bersaglio rilevato sullo schermo video e si dispone all'ascolto degli echi che, a seguito di ulteriori emissioni di impulsi, vengono ricevuti dal sonar.

Gli impulsi provenienti dal puntatore non sono ascoltati direttamente dall'operatore dato che, generalmente, le frequenze di emissione sono elevate e non si prestano molto bene alla percezione uditiva tendente a sfruttare l'effetto Doppler. L'ascolto viene effettuato sugli echi sintetici ottenuti dal blocco 2, trasformando elettronicamente le frequenze originali dell'eco in frequenze molto più basse, che portano più marcatamente all'orecchio dell'operatore le variazioni di frequenza dovute alle fasi di avvicinamento o di allontanamento del bersaglio.

La frequenza degli echi sintetici, quando la velocità relativa è nulla, è dell'ordine di 800 Hz quale che sia la frequenza di emissione F.

Questo valore di frequenza è scelto, come vedremo nel capitolo 7, per ottimizzare l'ascolto da parte dell'operatore.

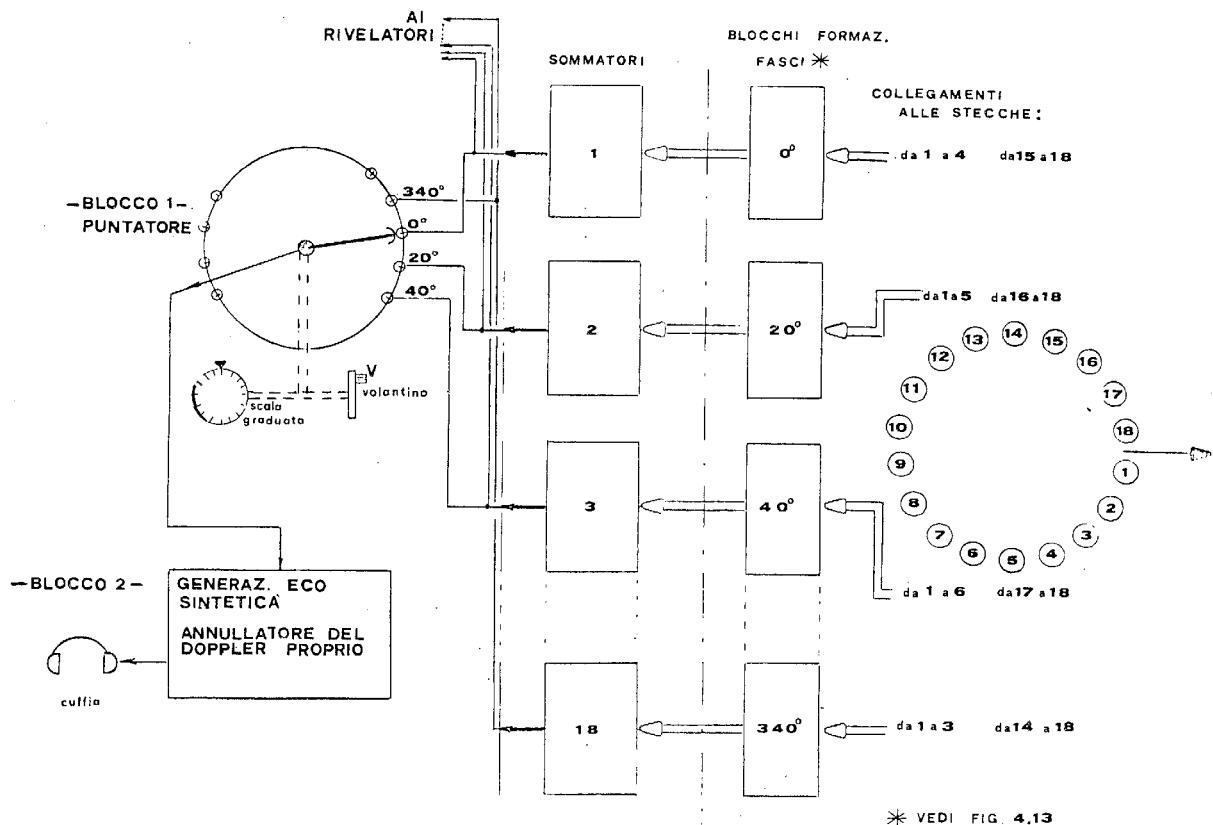


fig. 5.8 Schema a blocchi del sistema per l'ascolto dell'eco del bersaglio.

5.6) Misura della velocità relativa bersaglio-sommergibile.

La variazione della frequenza dell'eco dovuta all'effetto Doppler viene utilizzata anche per la determinazione della velocità relativa bersaglio-sommergibile.

La misura si basa sul rilievo automatico, molto accurato, della differenza tra la frequenza dell'impulso emesso e quella dell'eco ricevuta e su di un calcolo, anch'esso automatico, che consente di visualizzare, su di un indicatore numerico, la velocità relativa.

Questo tipo di rilievo viene fatto dopo aver orientato il puntatore d'ascolto verso il bersaglio interessato. Gli impulsi d'eco da elaborare, all'uscita dal puntatore, sono applicati al sistema di misura e calcolo, che, data la sua complessità, non può essere descritto nello spazio disponibile per questo

argomento. E' interessante però fare qualche osservazione in merito alle variazioni di frequenza che il sistema deve discriminare, nell'ambito di un impulso d'eco, per poter calcolare la velocità bersaglio-sommergibile. Facciamo un esempio supponendo che la frequenza F di emissione del sonar sia 6000 Hz, le variazioni Δf della frequenza, calcolate in funzione della velocità relativa, sono riportate in fig. 5.9, dove i $(+\Delta f)$ si riferiscono al moto in avvicinamento e i $(-\Delta f)$ al moto in allontanamento.

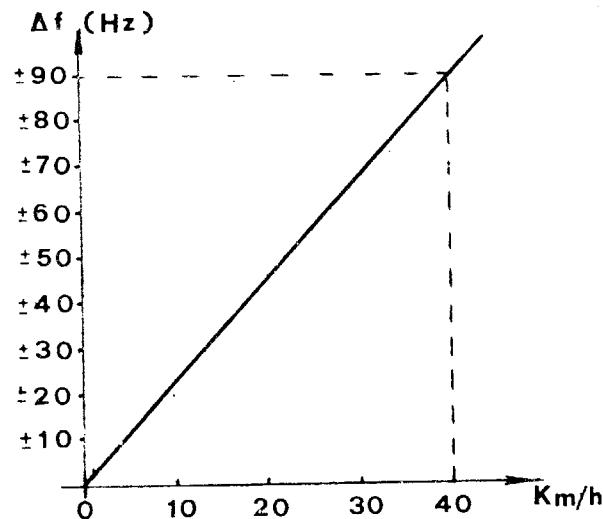


fig. 5.9 Diagramma della frequenza Doppler in funzione della velocità relativa bersaglio-sommergibile.

Dal grafico si nota che, se la velocità relativa varia, in avvicinamento da 0 a 40 Km/h, la frequenza dell'eco ricevuta subisce una variazione da 0 a + 90 Hz, cioè passa da 6000 Hz per velocità relativa 0 a 6090 Hz per velocità relativa di 40 Km/h, con una variazione di frequenza di + 2,25 Hz per ogni Km/h di incremento.

Il grafico mostra inoltre che per velocità relativa in allontanamento da 0 a 40 Km/h la frequenza dell'eco ricevuta subisce una variazione da 0 a - 90 Hz, cioè passa da 6000 Hz, per velocità 0, a 5910 Hz per velocità relativa di 40 Km/h, con una variazione in frequenza di - 2,25 Hz per ogni Km/h di incremento.

Questo significa che per eseguire la misura della velocità con la precisione di 1 Km/h si deve apprezzare la frequenza dell'eco almeno con la precisione di 2 Hz su 6000 Hz e ciò non è poco se si tiene presente che il tempo di misura è limitato alla breve durata dell'eco del bersaglio.

5.7) Modi di trasmissione degli impulsi acustici.

La componente attiva del sonar, per svolgere le sue funzioni, si avvale di un sistema di trasmissione per l'invio degli impulsi acustici in acqua.

La struttura del sistema è già stata vista nel paragrafo 1.7.2, qui ci limiteremo ad un esame dei particolari che più lo caratterizzano: i modi di trasmissione.

L'emissione degli impulsi acustici può essere effettuata in due modi diversi in base alle necessità operative:

- A) Emissione di un'onda impulsiva lungo tutto l'arco dell'orizzonte subacqueo, vedi fig. 5.10; questo modo operativo, detto "omnidirezionale", è utile per effettuare la scoperta attiva qualora si voglia esplorare tutto lo spazio subacqueo.
- B) Emissione di un'onda impulsiva secondo una direzione prescelta, vedi fig. 5.11; questo modo operativo, detto "direzionale" è utile per effettuare i rilievi su di un solo bersaglio secondo particolari esigenze operative.

L'emissione omnidirezionale si ottiene eccitando contemporaneamente, con lo stesso impulso di trasmissione, tutte le stecche della base di emettitori. L'eccitazione provoca le vibrazioni sincrone di tutti i trasduttori e le pressioni esercitate in acqua da ciascuno di essi danno luogo ad un'onda che si propaga con la stessa intensità in tutte le direzioni.

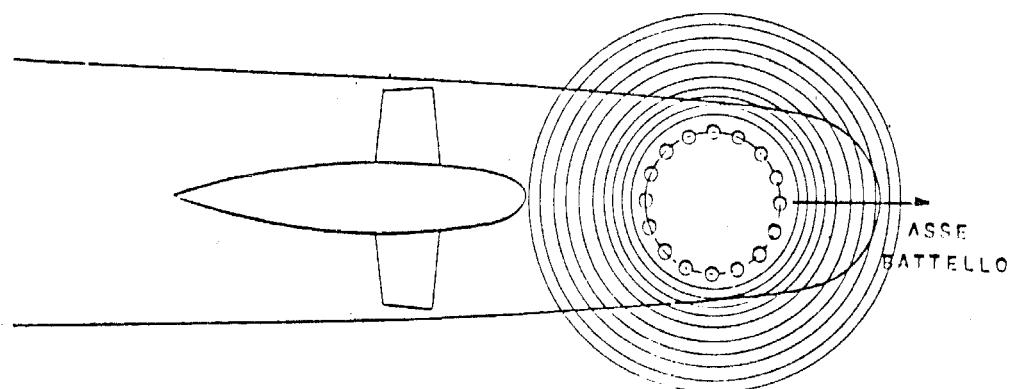


fig. 5.10 Geometria di emissione omnidirezionale.

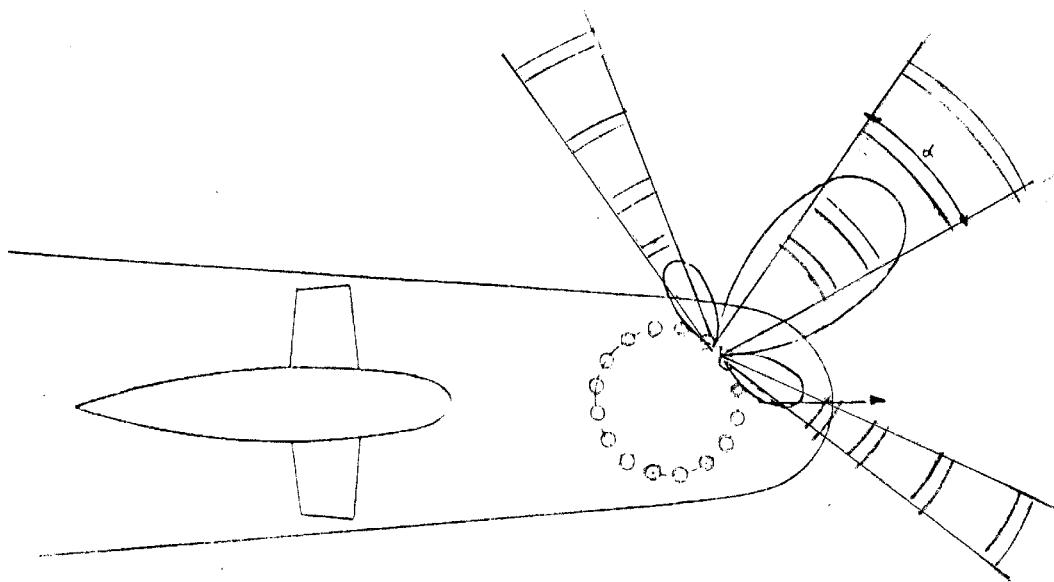


fig. 5.11 Geometria di emissione direzionale.

L'impulso elettrico applicato alle stecche è formato da una tensione sinusoidale e di conseguenza anche l'impulso che si propaga in acqua è formato da oscillazioni sinusoidali.

L'emissione direzionale si ottiene eccitando, tramite un adatto congegno detto selettore di trasmissione, un certo numero di stecche schierate verso la direzione nella quale deve essere emesso l'impulso acustico.

Se l'eccitazione di tutte le stecche prescelte fosse fatta con lo stesso impulso di tensione, l'energia acustica tenderebbe a propagarsi in un ampio settore e l'emissione non sarebbe concentrata in un fascio direttivo. Per ottenere la massima concentrazione di energia, in un piccolo settore angolare, si forma un fascio di emissione con la tecnica dei blocchi di ritardo (vedi fig. 5.12).

Nella figura è stato disegnato un settore di una base circolare della quale sono impiegate 4 stecche per la formazione del fascio, 2 delle quali sono collegate ai blocchi di ritardo. In questa disposizione circuitale non sono stati indicati, per semplicità, né gli amplificatori di potenza per la trasmissione nè il selettore delle stecche, lo schema pertanto è valido soltanto per la dimostrazione del principio della composizione del fascio direttivo. Per realizzare un fascio direttivo di emissione si devono introdurre, nelle tensioni impulsive che si applicano alle stecche, dei ritardi adatti a compensare la geometria circolare della base.

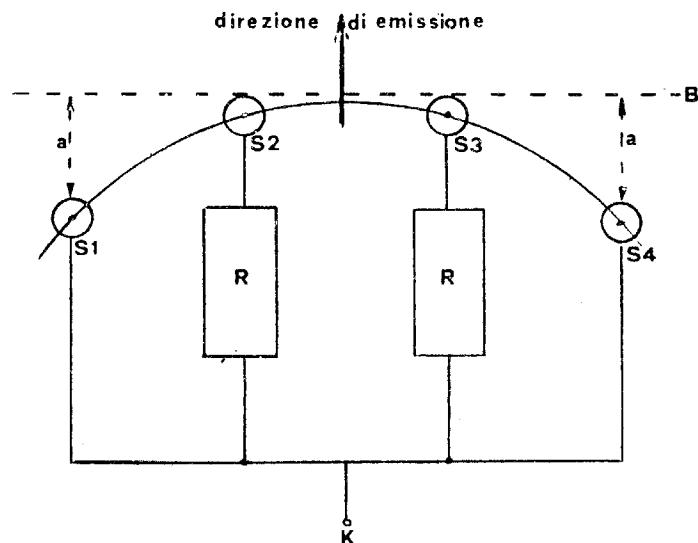


fig. 5.12 Circuito per la formazione del fascio direttivo in emissione.

In tal modo si rendono uguali, dalla parte più avanzata della base in poi, le fasi delle pressioni acustiche in acqua, in modo da avere, nella direzione voluta, la somma delle pressioni generate dalle stecche.

Il segmento AB, tracciato nella figura come tangente alla base, rappresenta il limite oltre il quale le pressioni generate dalle stecche devono essere in fase; vediamo come si ottiene questa condizione esaminando la geometria del disegno: la tensione impulsiva di eccitazione, applicata al punto K, raggiunge direttamente le stecche S1 e S4 dato che le loro pressioni per giungere al segmento AB subiscono un ritardo naturale in acqua pari al tempo t necessario per percorrere lo spazio (a). Le stecche S2 e S3 invece, essendo tangenti al segmento AB, devono essere eccitate con un ritardo R pari al tempo t , affinché le pressioni da loro emesse siano in fase con quelle delle stecche S1 e S4.

Con questa disposizione di ritardi si ottiene in acqua, dal segmento AB in poi, che le pressioni generate dalle stecche abbiano tutte, nel medesimo tempo, lo stesso senso di spostamento e si sommino con uniformità creando un'onda impulsiva di pressione, che si propaga con la maggior intensità secondo l'asse di AB. La pressione sonora decresce invece sensibilmente, secondo la caratteristica di direttività del fascio, per le direzioni che si scostano dalla normale di AB (dato che per tali direzioni non esiste più la concordanza temporale dei sensi di spostamento delle pressioni generate dalle stecche) e compaiono i lobi secondari.

Per ottenere fasci di direttività in trasmissione sufficientemente stretti, si impiegano molte più stecche e blocchi di ritardo di quanti ne sono stati in-

dicati nella descrizione, ma i principi di composizione del fascio restano gli stessi.

5.8) Configurazione della componente attiva del sonar.

Dopo la breve esposizione dei sistemi che costituiscono la componente attiva del sonar vediamo una struttura tipica, facendo riferimento allo schema a blocchi di fig. 5.13.

Nello schema è riportato l'insieme dei blocchi funzionali che costituiscono la componente attiva, essa è divisa nelle seguenti sezioni:

- A) Sezione per l'emissione degli impulsi e base dei tempi.
- B) Sezione per la scoperta e la misura della direzione e della distanza del bersaglio.
- C) Sezione per l'ascolto dell'eco.

D) Sezione per la misura della velocità relativa bersaglio - sommersibile.

Descriviamo le sezioni funzionali secondo un'ipotetica situazione che coinvolge l'operatore: quando egli inizia la ricerca attiva abilita, anzitutto, il trasmettitore (2) che normalmente, per ragioni prudenziali, onde evitare emissioni accidentali in fase di agguato, è bloccato con una speciale chiave. L'abilitazione pone il trasmettitore nel modo di funzionamento omnidirezionale, poco dopo che il trasmettitore è stato abilitato, la base tempi (3), automaticamente, invia due segnali di comando: uno al trasmettitore (2) l'altro al sistema a fasci preformati (6).

Il segnale di comando applicato al trasmettitore sblocca l'oscillatore interno che genera l'impulso di tensione per l'eccitazione di tutte le stecche della base (1), si ha così l'emissione in acqua di un impulso sonoro che si propaga su tutto l'orizzonte subacqueo.

Il segnale di comando applicato al sistema a fasci preformati (6) dà la partenza al sistema di scansione dei fasci che inizia, in concomitanza con l'emissione dell'impulso in acqua, ad una velocità di una scansione in 1/1000 di secondo, la ricerca degli echi in tutte le direzioni.

Supponiamo che siano presenti due bersagli passivi A e B, il bersaglio A nella direzione 50° e, alla distanza di 3500 mt, il bersaglio B nella direzione 270° e alla distanza di 10000 mt.

La prima eco che giunge alla base ricevente (4), base comune alla componente passiva del sonar, è quella del bersaglio A, che arriva dopo circa 4,6 sec. dall'emissione dell'impulso in acqua, la seconda eco è quella del bersaglio B che arriva dopo circa 13,6 sec. (questi tempi si ricavano, in base alle distanze, dalla fig. 5.5). I due echi sono captati dalla base (4) che li tra-

sforma in impulsi elettrici che sono applicati agli amplificatori selettivi (5). Gli amplificatori selettivi hanno il compito di elevare le tensioni gene-

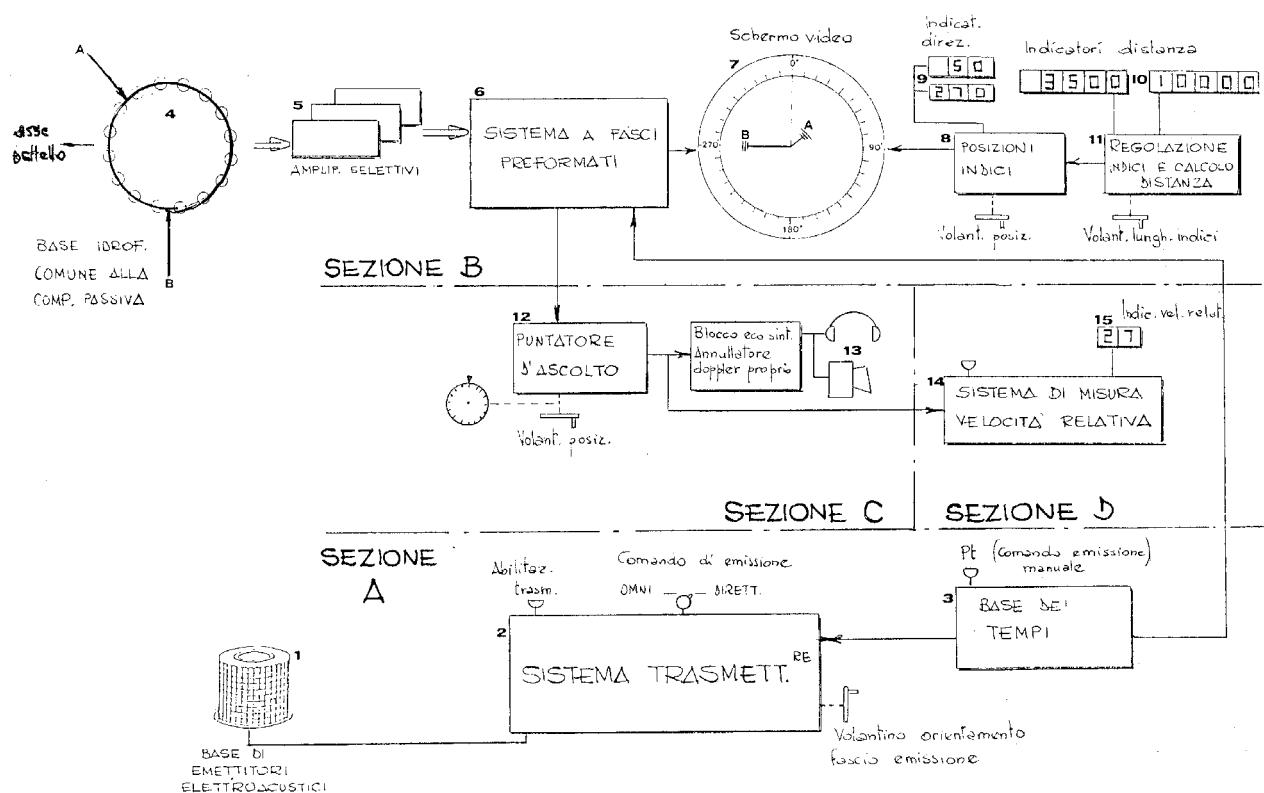


fig. 5.13 Schema a blocchi della componente attiva del sonar.

rate dalle stecche idrofoniche e di impedire il passaggio di tutte quelle frequenze che non essendo segnali distintivi del bersaglio disturberebbero l'elaborazione successiva. Le tensioni impulsive provenienti dagli amplificatori selettivi sono applicate al sistema a fasci preformati (6), il primo impulso d'eco viene individuato dal blocco di scansione dei fasci alla 4600^ scansione nella direzione 50°, il secondo viene individuato alla 13600^ scansione nella direzione 270°. Gli impulsi sono visualizzati come tracce luminose sullo schermo di presentazione (7) e l'operatore, agendo sul volantino di posizionamento degli indici del blocco (8), porta in coinci-

denza angolare con le tracce dei bersagli due raggi luminosi e legge sugli indicatori numerici (9) le direzioni dei due bersagli (50° e 270°).

L'operatore procede ora alla misura della distanza dei due bersagli agendo, tramite apposito volantino sul blocco (11) in modo da regolare, separatamente, le lunghezze dei due raggi luminosi con i quali in precedenza ha già bisecato le tracce dei bersagli; quando ciascun raggio ha la stessa distanza dal centro dello schermo che hanno le tracce corrispondenti degli echi le distanze dei due bersagli sono visualizzate sugli indicatori numerici (10).

L'operatore esegue questi rilievi tra l'emissione del primo impulso in acqua e l'emissione dei successivi, la cadenza di emissione è stabilita dal blocco (3) della base dei tempi. Ad ogni nuova emissione le tracce degli echi ricompaiono sullo schermo nelle direzioni e alle distanze che i bersagli hanno nel momento in cui vengono colpiti dall'impulso acustico.

Dopo i rilievi di distanza e direzione l'operatore si appresta all'ascolto dell'eco del bersaglio B per stabilire se esso è in fase di avvicinamento o di allontanamento. Per eseguire questa operazione agisce sul volantino del puntatore d'ascolto (12) indirizzandolo, con l'ausilio della sua scala graduata, sulla direzione 270° . Raggiunta la direzione del bersaglio procede all'ascolto della frequenza dell'eco sintetica attraverso le cuffie telefoniche o l'altoparlante (13). In questo modo l'operatore si rende conto che il bersaglio B è in allontanamento e lo ritiene inoffensivo, decide perciò di controllare il bersaglio A con lo stesso sistema d'ascolto e indirizza il puntatore nella direzione 50° .

Ascoltando l'eco del bersaglio A, si accorge che esso è in avvicinamento e decide di misurarne la velocità relativa mettendo in funzione il blocco di misura (14) e leggendo il valore calcolato di velocità sull'indicatore numerico (15).

Ragioni operative impongono a questo punto di silenziare il battello, proseguendo però la caccia al bersaglio A. Questa nuova situazione è affrontata dall'operatore bloccando l'emissione omnidirezionale e abilitando l'emissione direttiva, dopo di che, agendo sul volantino VD del blocco (2), dirige il fascio di emissione verso la direzione in cui si trova il bersaglio A. Da questo momento in poi l'emissione riprende soltanto ogniqualvolta l'operatore pigia il pulsante Pt della base tempi (3), con questo comando manuale l'impulso acustico viene inviato in acqua soltanto quando è necessario fare un nuovo rilievo della posizione del bersaglio. A seguito dell'emissione direttiva giunge alla base ricevente soltanto l'eco del bersaglio A e su di essa l'operatore esegue i rilievi per il mantenimento del contatto di sorveglianza.

CAPITOLO 6

Localizzazione dei bersagli con l'intercettatore

6.1) Prestazioni dell'intercettatore.

Alle componenti attiva e passiva del sonar si associa la componente di intercettazione o “intercettatore”. Con l’intercettatore si possono localizzare i mezzi navali nemici, siano essi navi, sommergibili o siluri, mentre emettono impulsi acustici a scopo di scoperta o attacco.

L’intercettatore consente la determinazione della direzione di provenienza degli impulsi acustici nonché la loro frequenza durata e ritmo di ripetizione; questi elementi aiutano l’operatore ad individuare il tipo di sonar che li ha emessi e quindi il tipo di mezzo sul quale è installato.

Le distanze di scoperta con l’intercettatore sono molto più elevate di quelle ottenibili con le altre componenti dei sonar, esso contribuisce pertanto alla sicurezza operativa del sommersibile.

Dato che le frequenze emesse dai sonar coprono una vasta gamma dello spettro acustico, l’intercettatore deve avere una banda di ricezione altrettanto vasta e basi idrofoniche adatte a questo tipo di funzionamento.

I principi sui quali si basa l’intercettazione sono gli stessi visti in precedenza per la localizzazione attiva; anche in questo caso infatti si deve determinare la direzione di provenienza di un impulso e valgono ancora i ragionamenti fatti nel paragrafo 5.2.

6.2) Configurazione della componente intercettatore.

La struttura dell’intercettatore, data la sua capacità di ricevere impulsi da tutte le direzioni, è impostata su sistemi a fasci preformati a scansione veloce, come quello della componente attiva del sonar.

Per la determinazione delle caratteristiche dell’impulso emesso da un bersaglio, scelto tra quelli scoperti, viene impiegato un sistema a puntatore, simile a quello descritto nel paragrafo 5.5.

Per la ricezione degli impulsi nel campo delle basse frequenze l’intercettatore si serve, generalmente, della base circolare della componente passiva del sonar, per la ricezione delle frequenze alte, invece, si avvale di una base propria.

Lo schema di massima della componente di intercettazione è riportato

nella Fig. 6.1, in essa sono indicate due sezioni funzionali:

A) Sezione per la scoperta e la misura della direzione di provenienza degli impulsi.

B) Sezione per il rilievo delle caratteristiche dell'impulso.

Descriviamo le sezioni funzionali secondo un'ipotetica situazione che coinvolge l'operatore.

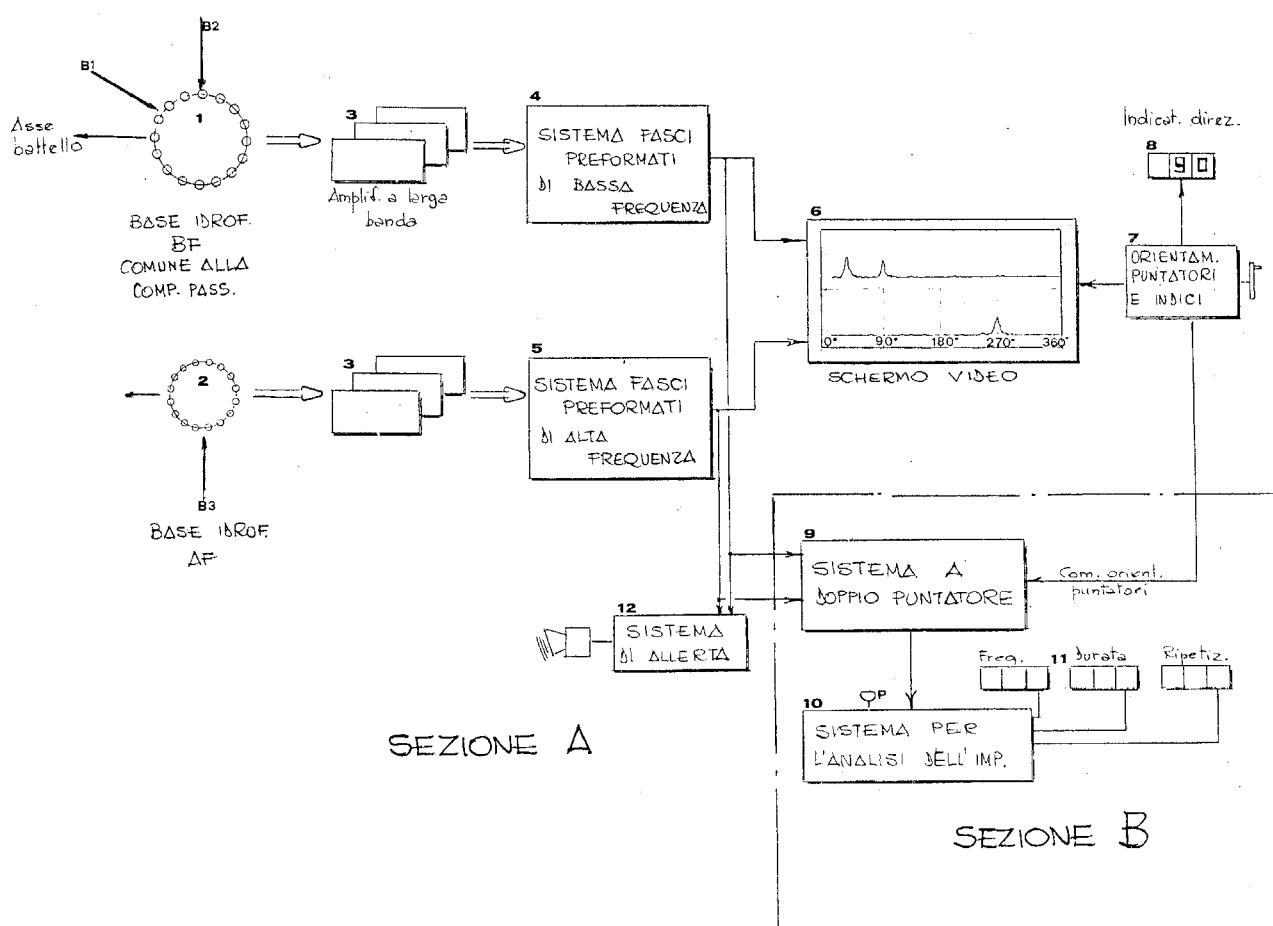


fig. 6.1 Schema a blocchi della componente intercettatore del sonar.

La base idrofonica circolare (1) riceve alcuni impulsi acustici a bassa frequenza emessi da due navi disposte a 30° e a 90° rispetto all'asse del battello, contemporaneamente la base (2) riceve alcuni impulsi acustici ad alta frequenza emessi da una sommergibile disposto a 270°.

Le tensioni impulsive generate dalle stecche delle due basi, tramite i due

gruppi di amplificatori a larga banda (3), raggiungono i due sistemi principali di elaborazione a fasci preformati (4) e (5).

Nel campo delle basse frequenze il sistema (4) effettua l'esplorazione dell'orizzonte per la ricerca degli impulsi ricevuti dalla base (1) e li individua per le direzioni 30° e 90°. Nel campo delle alte frequenze, il sistema (5) effettua l'esplorazione per la ricerca degli impulsi ricevuti dalla base (2) e ne individua uno nella direzione 270°.

I blocchi di scansioni dei due sistemi a fasci preformati esplorano in continuità l'orizzonte e la presenza degli impulsi viene individuata nell'ambito di alcune scansioni che si verificano nel tempo in cui essi sono presenti. Nell'istante in cui un blocco di scansione individua un impulso questo dà luogo, tramite il blocco di allarme (12), ad una nota di allerta che richiama l'attenzione dell'operatore.

Le tensioni a campana, all'uscita dei blocchi di interpolazione dei sistemi a fasci preformati, sono presentate su di uno schermo rettangolare (6), di tipo televisivo, in cui superiormente compaiono le scansioni della parte di bassa frequenza e inferiormente quelle della parte di alta frequenza. L'aspetto delle tracce sullo schermo ripete le forme delle tensioni a campana presenti all'uscita degli interpolatori.

Quando l'operatore, sentita la nota di allerta, guarda sullo schermo le tracce degli impulsi, può stimare immediatamente la loro direzione di provenienza, con una certa approssimazione, facendo un riscontro visivo tra la loro posizione e la scala graduata posta sui bordi superiore e inferiore dello schermo.

Una volta scoperte le emissioni nemiche l'operatore decide di determinare con precisione la direzione di provenienza e le caratteristiche di quella a 90°, per far ciò agisce sul volantino del blocco di comando puntatori e indice (7) e porta in coincidenza un puntino luminoso con il culmine della campana a 90°, in questo modo sull'indicatore numerico (8) è visibile il valore preciso della direzione di provenienza dell'impulso e inoltre il blocco puntatori (9) si trova orientato nella direzione 90°. Per procedere all'analisi dell'impulso l'operatore abilita con il pulsante P il blocco di elaborazione (10) e attende l'arrivo di un nuovo impulso, all'arrivo di questo compaiono sugli indicatori numerici (11) il valore della frequenza e la durata dell'impulso; per conoscere il ritmo di ripetizione l'operatore deve attendere l'arrivo di un altro impulso. Dato che gli impulsi hanno durata breve lo schermo video ha un'elevata persistenza nella tenuta delle tracce luminose per consentire all'operatore i rilievi di cui abbiamo accennato.

CAPITOLO 7

Riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo

7.1) Sui metodi di riconoscimento dei segnali.

Nei capitoli precedenti abbiamo appena accennato agli effetti che il disturbo dell'ambiente subacqueo ha sui segnali idrofonici: in questo capitolo esamineremo questo problema che è determinante ai fini della localizzazione dei bersagli, sia attivi che passivi.

I metodi tradizionali impiegati per il riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo sono tre:

- A) Ascolto diretto dell'operatore, tramite filtri e cuffie telefoniche, dei rumori irradiati dai bersagli (o degli echi di ritorno).
- B) Rivelazione e filtraggio delle tensioni idrofoniche per la sola presentazione di tipo strumentale (su indicatori elettromeccanici o elettronici).
- C) Correlazione delle tensioni idrofoniche per la sola presentazione strumentale.

Nell'applicazione del primo metodo ha un ruolo fondamentale l'operatore con le proprie caratteristiche uditive, negli altri il compito più importante è svolto dalla macchina che esegue il riconoscimento del segnale, mentre all'operatore sono affidate le interpretazioni e le decisioni finali sui risultati.

Tra i metodi B) e C) il primo è quello che consente, da un punto di vista teorico, a parità di condizioni con l'altro, una più facile identificazione dei segnali mascherati dal disturbo, nella pratica invece, e ne vedremo le ragioni, è preferibile il metodo di "correlazione", anche se è più costoso e sensibilmente meno efficace del precedente.

I metodi di ascolto e rivelazione si applicano, come abbiamo avuto modo di vedere, nel trattamento delle tensioni di uscita dei sommatori che compongono le caratteristiche di direttività delle basi idrofoniche, i metodi di correlazione richiedono invece che le tensioni da elaborare vengano presentate in modo diverso.

Con l'avvento del computer nel sonar, ai metodi tradizionali di riconoscimento del segnale si sono affiancati altri efficaci metodi che basano il loro funzionamento su elaborazioni matematiche molto complesse eseguite sui contenuti degli spettri delle frequenze che caratterizzano tanto i se-

gnali che i disturbi.

Nel prosieguo di questo capitolo descriveremo soltanto i metodi tradizionali di riconoscimento del segnale che tutt'oggi sono estensivamente impiegati nei sonar moderni.

7.2) Ascolto diretto dei rumori irradiati dai bersagli.

Come abbiamo visto nel paragrafo 4.4.3 un modo per stabilire quando il sistema a compensatore è orientato sul bersaglio consiste nell'ascoltare, con cuffie telefoniche, il suo rumore che, sotto forma di tensione elettrica, è presente all'uscita del sommatore. Questo metodo, pur nella sua semplicità, consente agli operatori esercitati di scoprire i bersagli a grandi distanze grazie alle caratteristiche di percezione dell'orecchio.

L'immunità al disturbo, in questo tipo di riconoscimento dei segnali idrofonici, è affidata in parte al sistema di filtri che sono interposti tra l'uscita del sommatore e il sistema di ascolto (vedi Fig. 7.1) e in parte alle caratteristiche dell'orecchio dell'operatore.

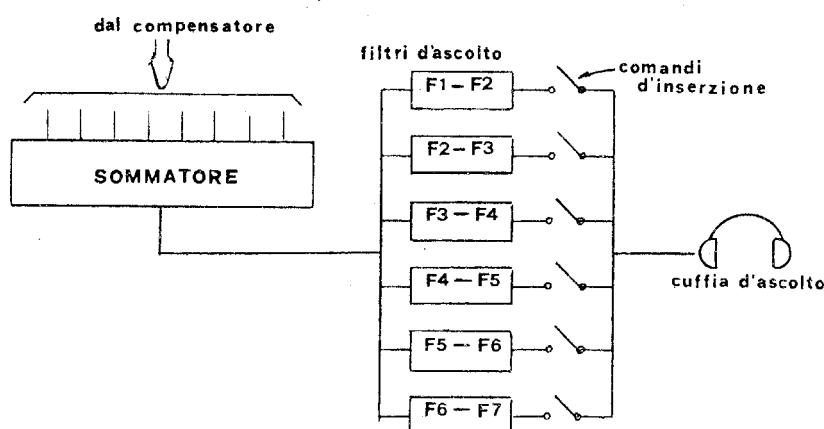


fig. 7.1 Circuito per la selezione delle bande d'ascolto dei bersagli.

Nella figura si osserva che sono disponibili, alla scelta dell'operatore, un certo numero di filtri che hanno la funzione di selezionare una o più bande di frequenze d'ascolto al di fuori delle quali il disturbo viene attenuato energicamente. In questo modo si agevola il riconoscimento del segnale che, se è concentrato nella banda del filtro selezionato, si trova depurato da tutte le frequenze inquinanti al di fuori della banda inserita. All'interno della banda del filtro resta il segnale e quella parte di disturbo am-

biente le cui frequenze sono comprese nella banda stessa.

I disturbi nella banda sono in parte filtrati, come vedremo, dall'orecchio dell'operatore. Alcune curve di risposta tipiche dei filtri d'ascolto sono riportate in Fig. 7.2.

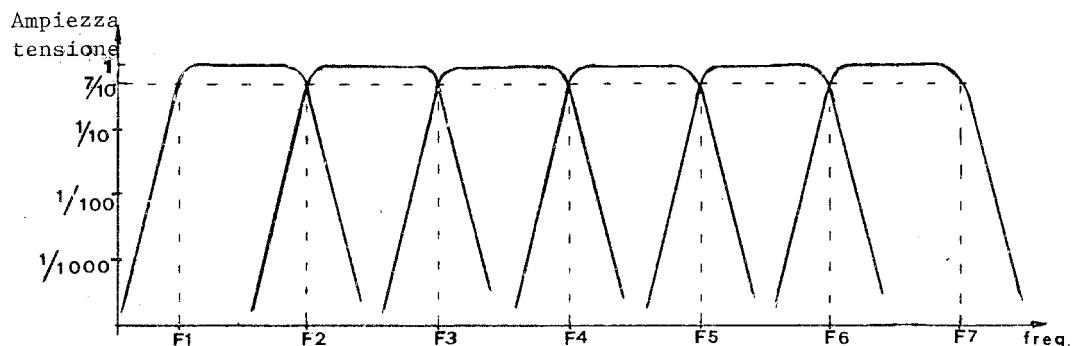


fig. 7.2 Curve di risposta dei filtri di ascolto.

Da esse si osserva che il campo di frequenze di ascolto è fissato tra F_1 e F_7 e che in tale intervallo l'operatore può scegliere una qualsiasi delle bande d'ascolto: (F_1-F_2), (F_2-F_3), (F_3-F_4), (F_4-F_5), (F_5-F_6), (F_6-F_7), o più combinazioni di bande a piacere quali, ad esempio, (F_1-F_3), (F_4-F_7), ecc. Nell'ambito della banda di un filtro compresa, ad esempio, tra F_4 e F_5 il segnale di ingresso non viene attenuato, al di fuori di questa, invece, le tensioni sono attenuate oltre 1000 volte rispetto ai valori d'ingresso.

I filtri vengono selezionati dall'operatore dopo aver ascoltato, con ciascuno di essi, il rumore del bersaglio e deciso, in base all'esperienza, su quale banda si trova concentrata la maggior quantità del segnale emesso o su quale banda si possono ascoltare con più facilità certe caratteristiche frequentiali distinctive quali, ad esempio, il timbro dovuto al tipo di propulsione.

Il secondo filtraggio che subisce il segnale idrofonico è affidato all'orecchio dell'operatore; questo si comporta in modo molto complesso e la sua azione di filtraggio, che viene poi tradotta come percezione dal cervello dell'uomo è dipendente dai valori delle frequenze ascoltate.

L'orecchio agisce come un filtro di banda la cui frequenza centrale si adatta automaticamente a quella del segnale che si sta ascoltando.

La banda di ascolto non è costante, ma varia con la frequenza ricevuta come è indicato nel grafico di Fig. 7.3.

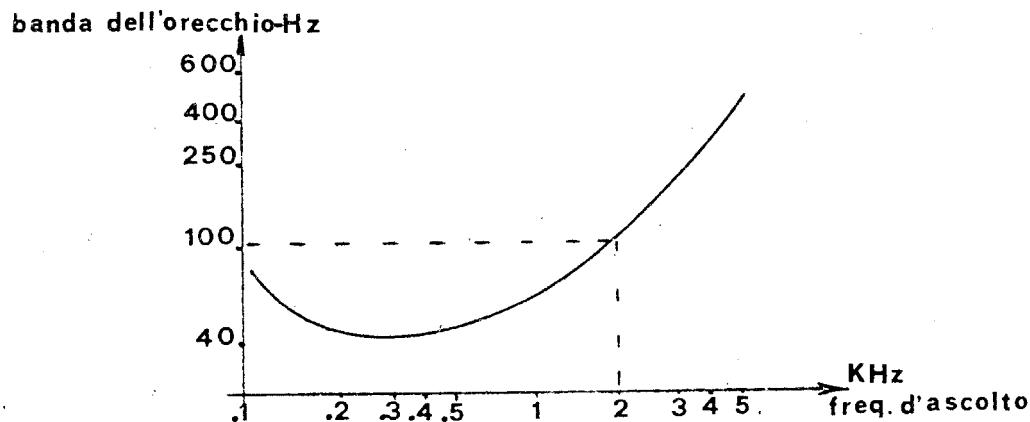


fig. 7.3 Caratteristica di ricezione dell'orecchio.

Dalla curva emerge chiaramente la capacità dell'orecchio a filtrare i disturbi che si scostano di poco dalla frequenza del segnale.

Esaminiamo ad esempio la caratteristica di filtraggio che si ottiene alla frequenza di 2000 Hz: si vede che, per tale frequenza, la larghezza di banda dell'orecchio diventa circa 100 Hz e la percezione dell'operatore si limita al campo di frequenze ampio un centinaio di Hertz attorno alla frequenza del segnale. Questa caratteristica dell'orecchio è utile tanto nella scoperta dei bersagli attivi che di quelli passivi; nel primo caso consente all'operatore di discriminare, in mezzo al disturbo, eventuali frequenze distintive emesse dal bersaglio, nel secondo caso consente di centrare, naturalmente, una ulteriore banda passante attorno alla frequenza dell'eco di ritorno.

7.3) Sistemi di rivelazione e filtraggio.

Il processo di rivelazione e filtraggio è uno dei mezzi con i quali si possono riconoscere, per via strumentale, i segnali idrofonici in mezzo al disturbo dell'ambiente subacqueo.

Con questo trattamento le tensioni idrofoniche subiscono una radicale trasformazione passando dalla forma a polarità casuale, positiva e negativa, alla forma a polarità determinata, sempre positiva, che consente, come ve-

dremo, una notevole riduzione degli inconvenienti provocati dal disturbo. Prima di procedere alla descrizione del processo di rivelazione è opportuno esaminare l'aspetto della tensione idrofonica presente all'uscita di un sommatore, quale ad esempio quello facente parte del sistema a compensatore descritto nel paragrafo 4.4.3; supponiamo di visualizzare, per un breve intervallo di tempo, su di un oscilloscopio, l'andamento di questa tensione: essa si presenta come indicato in Fig. 7.4.

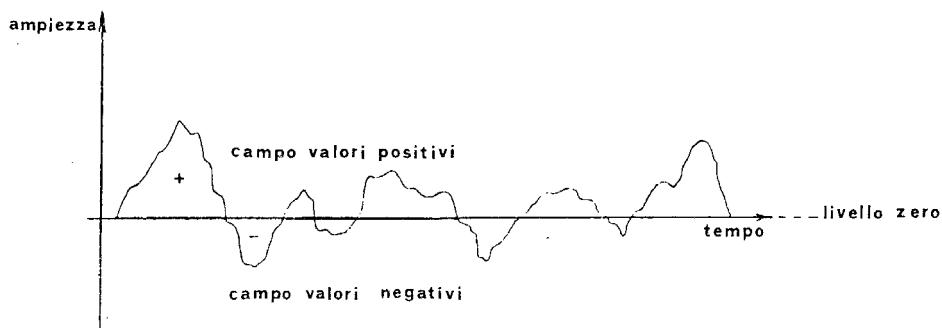


fig. 7.4 Generica forma d'onda all'uscita di un sommatore.

In tutti i casi di pratico impiego in questa tensione non è presente soltanto il segnale idrofonico, ma anche il disturbo inquinante, entrambi contenuti nella banda delle frequenze del sonar che è determinata dai filtri degli amplificatori collegati alla base ricevente. Questo tipo di tensione non è applicabile direttamente ad uno strumento indicatore dato che le ondulazioni dovute al cambiamento continuo di polarità producono una vibrazione abnorme nell'indice dello strumento; la lettura strumentale è resa possibile dopo il trattamento di rivelazione e filtraggio.

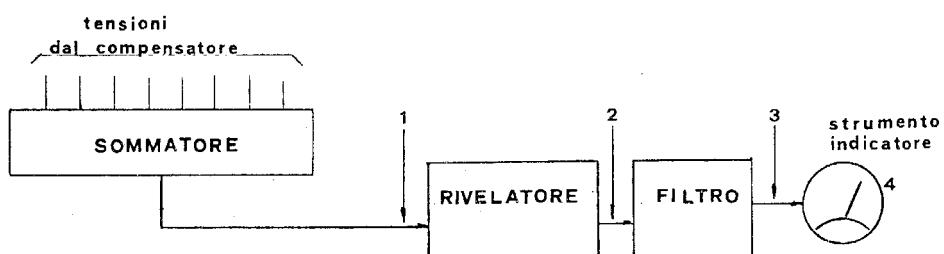


fig. 7.5 Circuito per la rivelazione visiva, con il compensatore, della presenza di un bersaglio attivo.

Descriviamo ora il sistema di rivelazione con l'aiuto della Fig. 7.5, in essa vediamo il sommatore collegato ad un blocco rivelatore seguito da un filtro e da uno strumento indicatore ad indice.

Se nella struttura mostrata effettuiamo dei rilievi oscilloscopici di breve durata nei punti indicati con i numeri 1, 2, 3, vediamo la trasformazione del segnale del sommatore, punto 1, nei segnali all'uscita del rivelatore, punto 2, e in quelli all'uscita del filtro, punto 3. Questi segnali sono tracciati in Fig. 7.6 e sono incolonnati per meglio evidenziarne le modificazioni.

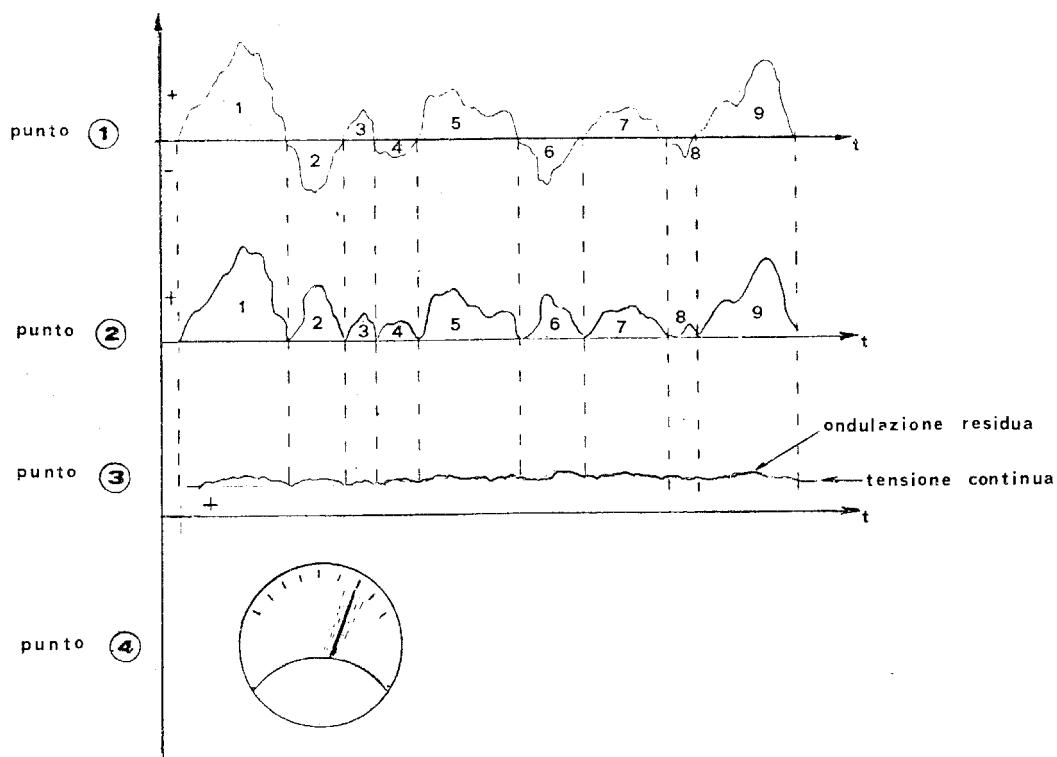


fig. 7.6 Funzionamento del rivelatore.

Dalla figura si osserva la trasformazione del segnale attraverso i successivi passaggi:

(punto 1) è indicata la tensione in uscita dal sommatore che ripete quella di figura 7.4. Questa tensione è applicata all'ingresso del rivelatore;
 (punto 2) è indicata la tensione in uscita dal rivelatore che è sempre a polarità positiva grazie al "ribaltamento", effettuato dal meccanismo di rivelazione, delle parti negative del segnale nel campo di quelle positive. Questa

tensione a picchi, se applicata ad un filtro adatto, è in grado di produrre alla sua uscita una tensione continua proporzionale all'ampiezza della tensione di ingresso al rivelatore;

(punto 3) è indicata la tensione in uscita dal filtro che è applicata allo strumento indicatore; questa è prodotta dal rivelatore ed è priva delle componenti oscillanti più marcate bloccate dall'azione del filtro, essa è formata da una tensione continua sopra la quale è presente un'ondulazione perturbante che dipende oltre che dal disturbo, anche dal segnale e dalle caratteristiche del filtro;

(punto 4) è indicato il posizionamento dell'indice dello strumento indicatore, dipendente dall'ampiezza della componente continua, con le oscillazioni dovute all'ondulazione residua.

La tensione all'uscita del filtro è formata da tre componenti; una componente continua dovuta al segnale, una componente continua dovuta al disturbo, una componente oscillante dovuta al segnale e al disturbo. Dimensionando opportunamente il filtro si può ottenere, alla sua uscita, una tensione continua praticamente priva delle componenti oscillanti, con la conseguente attenuazione della perturbazione che rende instabile la posizione dell'indice dello strumento indicatore.

Questa azione non elimina però la componente continua dovuta al disturbo, che è sempre presente assieme a quella dovuta al segnale.

Vediamo quali inconvenienti sono provocati dalla tensione continua dovuta al disturbo osservando il funzionamento complessivo del sistema compensatore, a cui è collegato il sommatore.

Supponiamo di dover determinare la direzione di un bersaglio posto a 45° con il metodo della massimizzazione della tensione di uscita del sommatore, cioè della tensione all'uscita del filtro, a cui deve corrispondere la massima elongazione dell'indice dello strumento indicatore.

Consideriamo due casi:

- 1) Caso ideale in assenza del disturbo: si osserva che all'uscita del filtro si ha, ruotando il compensatore, un massimo netto in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio e valori decrescenti molto piccoli per direzioni diverse da quelle del bersaglio (vedi Fig. 7.7/a).

L'indice dello strumento segue naturalmente l'andamento della tensione all'uscita del filtro che, non avendo la componente continua dovuta al disturbo, riproduce perfettamente l'andamento della caratteristica di direttività del sistema a compensatore. Dobbiamo notare infatti

che il grafico di Fig. 7.7/a altro non è che il lobo principale della caratteristica di direttività del sistema tracciato, per un breve settore angolare, su di una coppia di assi cartesiani, invece che nella consueta rappresentazione polare.

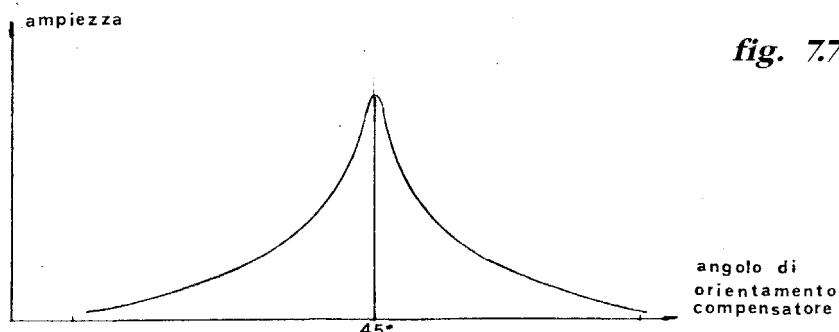


fig. 7.7/a Andamento della tensione all'uscita del filtro in assenza di disturbo.

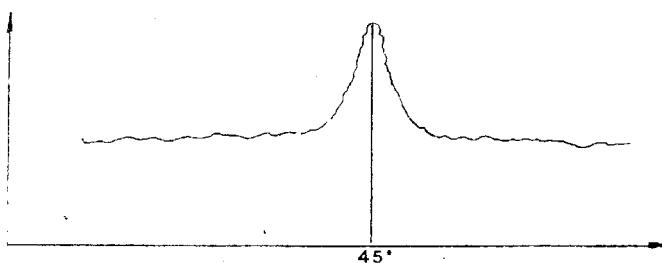


fig. 7.7/b Andamento della tensione all'uscita del filtro in presenza di disturbo

- 2) Caso di pratico impiego in presenza di disturbo: si osserva che all'uscita del filtro si ha, ruotando il compensatore, un massimo in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio e valori decrescenti, non più molto piccoli a causa della presenza della componente continua dovuta al disturbo (vedi Fig. 7.7/b). Infatti mentre la componente continua dovuta al segnale, in virtù della caratteristica di direttività, tende a ridursi a valori molto piccoli per le direzioni distanti dal bersaglio, la componente continua dovuta al disturbo resta inalterata e maschera la diminuzione dell'ampiezza della componente del segnale.

Dall'esempio fatto abbiamo visto qual è l'effetto del disturbo nel rivelatore, esso tende a comprimere le differenze tra il massimo e i minimi delle tensioni indicative dell'orientamento del compensatore, con l'aumento del disturbo queste differenze possono ulteriormente diminuire rendendo incerta l'operazione di orientamento.

Il rivelatore consente una buona indicazione strumentale per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo in tutti quei casi in cui quest'ultimo non sia eccessivo.

L'azione del filtro riduce drasticamente le oscillazioni dell'indice dell'indicatore e consente un ottimo apprezzamento dei massimi per l'orientamento del compensatore. Il rivelatore può essere applicato anche per l'indicazione strumentale nel procedimento di orientamento del compensatore con il metodo della differenza (vedi paragrafo 4.4.4): in questo caso è l'uscita del blocco differenza che viene collegata al rivelatore, i principi di funzionamento e i problemi relativi al disturbo restano quelli ora indicati. Il funzionamento dei rivelatori si presta in egual modo, vedi paragrafo 4.5, al riconoscimento dei segnali in mezzo al disturbo nei sistemi a fasci preformati e alla successiva presentazione sugli schermi video. In questo tipo di applicazione il funzionamento è identico a quello ora descritto e gli effetti del disturbo sono analoghi, essi si riflettono sull'aspetto delle tensioni a campana all'uscita degli interpolatori; anche in questo caso il disturbo provoca la riduzione del dislivello tra le cuspidi delle campane e le loro basi fino al punto, per disturbi molto elevati, di mascherare completamente la campana, in modo tale da rendere impossibile l'apprezzamento del suo massimo (vedi Fig. 7.8).

Nella figura sono mostrate le uscite di un sistema a fasci preformati che individua un bersaglio nella direzione 80°; nella scansione (a) è dato il caso ideale in cui il disturbo sia assente, si vede che la tensione a campana ha un notevole dislivello tra culmine e base, nella scansione (b) è dato il caso di pratico impiego in presenza di un disturbo accettabile, si vede che il dislivello tra culmine e base è ridotto, ma ancora sufficiente per consentire la determinazione della posizione del culmine stesso. Nella scansione (c) è dato il caso di pratico impiego in cui il disturbo è molto forte e tale da ridurre, a limiti non più accettabili, le differenze tra culmine e base della campana.

I sistemi a rivelatore consentono comunque di riconoscere un segnale in mezzo al disturbo anche quando il segnale è sensibilmente più piccolo del disturbo.

È dimostrato che la capacità di riconoscimento dipende dalle caratteristiche del filtro in rapporto con la banda delle frequenze ricevute dal sonar, dipende inoltre dalla bontà dei circuiti elettronici che formano il sistema di rivelazione.

Il funzionamento dei rivelatori si presta ottimamente, nei sistemi a fasci preformati, al riconoscimento in mezzo al disturbo tanto degli echi dei bersagli, quando il sonar è in funzionamento attivo, quanto degli impulsi ricevuti dalla componente intercettatore.

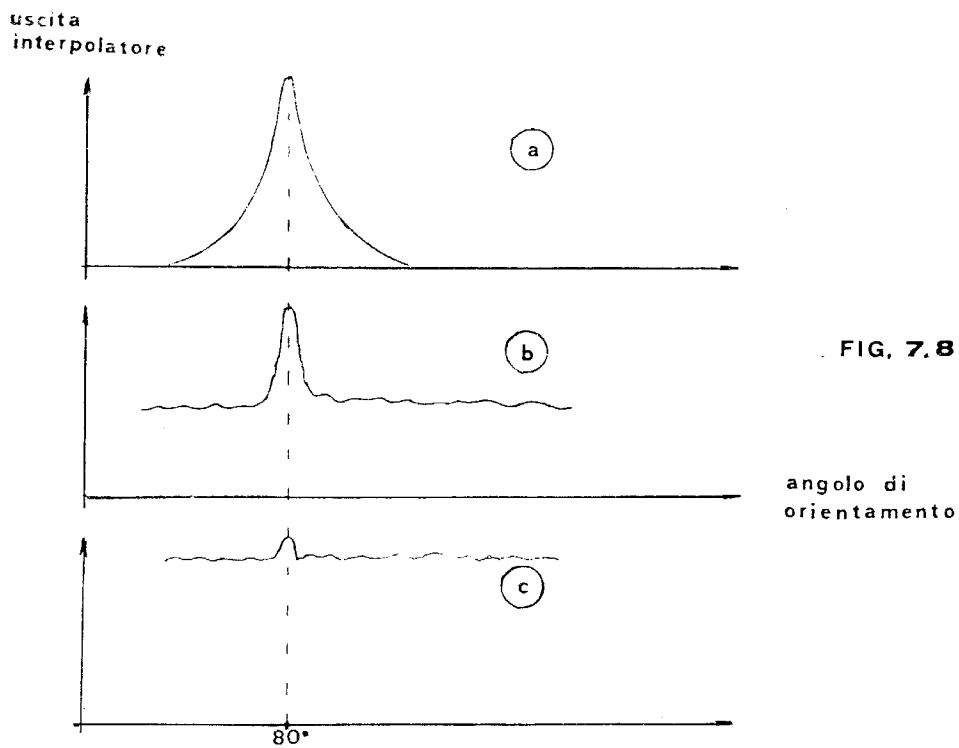


FIG. 7.8

fig. 7.8 Tensione d'uscita interpolatore fasci preformati per tre diverse condizioni del disturbo.

7.4) Sistemi di correlazione.

7.4.1.) Principi basilari.

Il processo di correlazione è un mezzo molto valido di riconoscimento, per via strumentale, dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo dell'ambiente subacqueo. Con la correlazione le tensioni idrofoniche vengono trasformate dalla forma a polarità casuale, positiva e negativa, nella forma a polarità determinata, a volte positiva, a volte negativa, in dipendenza dalla "correlazione" esistente tra le tensioni.

A questo punto è opportuno spendere due parole per chiarire il concetto di correlazione, prima di iniziare la descrizione dei meccanismi che presiedono al riconoscimento del segnale.

La correlazione esprime il legame esistente fra due tensioni a polarità casuale, cioè la coincidenza, protratta nel tempo, delle polarità positive o negative dell'una con le polarità positive o negative dell'altra. Se la coincidenza delle

polarità delle due tensioni si verifica sempre, il grado di correlazione fra le tensioni è il massimo “positivo”, ciò indica che esse sono intimamente legate fra loro. Se la coincidenza delle polarità delle due tensioni non si verifica mai il grado di correlazione è il massimo “negativo”, ciò indica che due tensioni sono ancora legate tra loro ma attraverso uno spostamento nel tempo. Se la coincidenza delle polarità delle due tensioni si verifica per la metà del tempo e non si verifica per l'altra metà del tempo il grado di correlazione è nullo (si dice che le due tensioni sono incoerenti).

Naturalmente esistono dei gradi intermedi di correlazione tra le due tensioni dovuti a condizioni di parziali coincidenze di polarità tra esse.

Questi concetti mettono in luce un fatto molto importante; i segnali idrofonici provenienti dai vari sistemi di compensazione temporale (sistema a compensatore, sistema a fasci preformati) sono, per le direzioni orientate sul bersaglio, in coincidenza di polarità e hanno pertanto il massimo grado di correlazione. I disturbi dell'ambiente invece generano tensioni che hanno polarità non sempre coincidenti e hanno, nel tempo, correlazione bassa. Ciò significa che, se siamo in condizioni di poter valutare la correlazione esistente tra le tensioni idrofoniche inquinate dal disturbo, possiamo riconoscere il segnale dal disturbo in quanto il primo emerge sul secondo per il suo grado di correlazione.

7.4.2) Confronto tra i metodi di rivelazione e di correlazione.

Il confronto tra i due metodi di trattamento del segnale è necessario perché con esso si evidenziano le differenze circuituali che devono essere predisposte per il collegamento di un correlatore.

Il rivelatore è in grado di riconoscere il segnale dal disturbo nella tensione idrofonica presente all'uscita del sommatore, dato che il suo funzionamento non implica confronti delle polarità del segnale e quindi la singola uscita del sommatore è sufficiente allo scopo. Il correlatore invece ha bisogno di due tensioni sulle quali fare la valutazione delle coincidenze di polarità e pertanto non può essere collegato ad un singolo sommatore come nel caso del rivelatore. A questa situazione viene in aiuto il sistema dei sommatori parziali illustrato nel paragrafo 4.4.4.

Il sistema, riportato in figura 4.15/b, presenta le tensioni S e D alle due uscite dei sommatori parziali che per le loro caratteristiche si adattano perfettamente ad essere applicate ad un correlatore (vedi Fig. 7.9).

In figura sono disegnati entrambi i sistemi per il riconoscimento del segnale, rivelatore-filtro e correlatore, ciascuno di essi è collegato ad uno

strumento indicatore per l'orientamento del compensatore.

In condizioni di pratico impiego le due tensioni S e D dei sommatori parziali di figura 7.9 sono composte da segnale e da disturbo e possono essere così analizzate: le parti delle due tensioni dovute al segnale, quando il compensatore è orientato sul bersaglio, sono coincidenti in polarità e il correlatore evidenzia sullo strumento indicatore il loro grado di correlazione (massimo). Quando il compensatore viene ruotato a sinistra o a destra, rispetto al bersaglio, non si ha più la coincidenza totale delle polarità tra i due segnali e per conseguenza il loro grado di correlazione, evidenziato dal correlatore, non è più massimo e si riduce tanto più quanto più l'orientamento del compensatore si allontana dal bersaglio.

Il grado di correlazione del disturbo, facente parte delle tensioni S e D, valutato dal correlatore, risulta nullo se l'osservazione è protratta nel tempo.

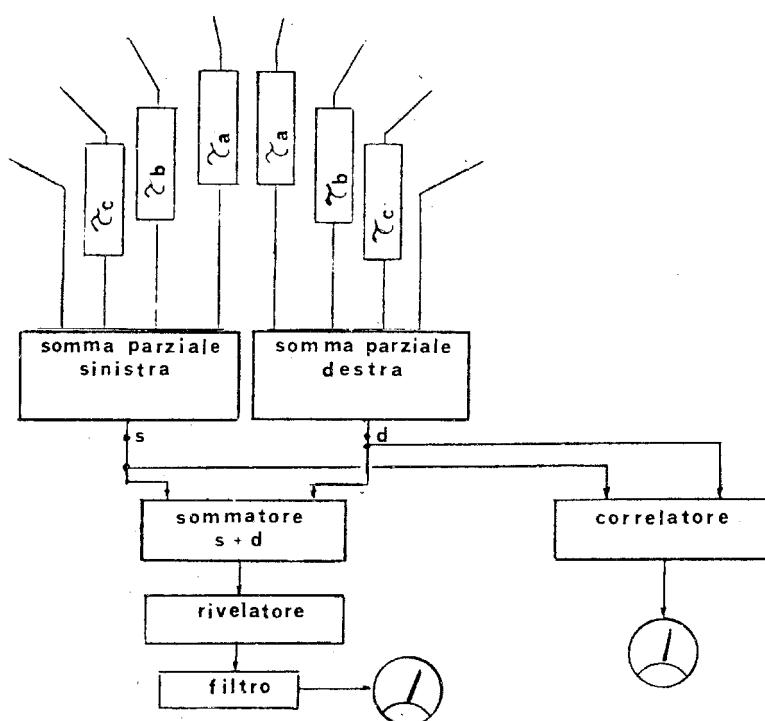


fig. 7.9 Circuito per la scoperta dei bersagli per correlazione.

7.4.3) Il correlatore analogico.

Il correlatore analogico è un dispositivo che effettua il calcolo del grado di correlazione tra due tensioni idrofoniche con operazioni di tipo algebrico. La struttura di un correlatore analogico, collegata ad uno strumento indicatore, è disegnata in Fig. 7.10, in essa si osserva un'apparente semplicità del sistema che è formato soltanto da due blocchi circuitali: il moltiplicatore e il filtro di uscita.

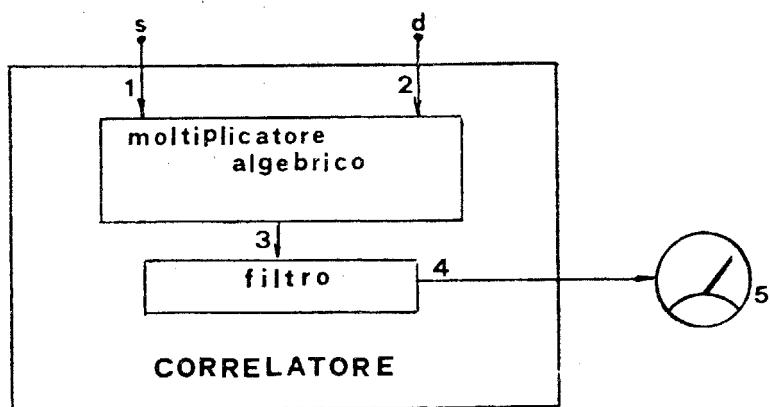


fig. 7.10 Circuito correlatore analogico.

In realtà il correlatore è tutt'altro che semplice perché la funzione espli-
cata dal blocco di moltiplicazione è una tra le più complesse e costose da
realizzare con l'elettronica di tipo tradizionale; questo problema, però,
non riguarda il funzionamento di insieme che ora ci accingiamo a descri-
vere.

Descriviamo il sistema di correlazione con l'aiuto della Fig. 7.10; su di esso
ipotizziamo un certo numero di rilievi oscilloscopici, di breve durata, nei
punti indicati con i numeri da 1 a 4. Le tensioni rilevate sono riportate
nella serie dei grafici di Fig. 7.11 e sono relative a due segnali di ingresso S
e D uguali tra loro (compensatore orientato sul bersaglio) e poco inqui-
nati dal disturbo.

Dalla figura si osserva la trasformazione dei due segnali di ingresso attra-
verso i successivi passaggi:

(punti 1 e 2) sono indicate le due tensioni di ingresso, uguali, a polarità ca-
suale positiva e negativa. Queste tensioni sono applicate al moltiplicatore;
(punto 3) è indicata la tensione all'uscita del moltiplicatore che è, in que-

sto caso, sempre a polarità positiva a causa del prodotto algebrico tra tensioni che, nello stesso istante, hanno sempre identica polarità sia positiva che negativa. Questa tensione a picchi, se applicata ad un filtro adatto, è in grado di produrre, alla sua uscita, una tensione continua dipendente dalla correlazione esistente tra i due segnali all'ingresso del moltiplicatore;

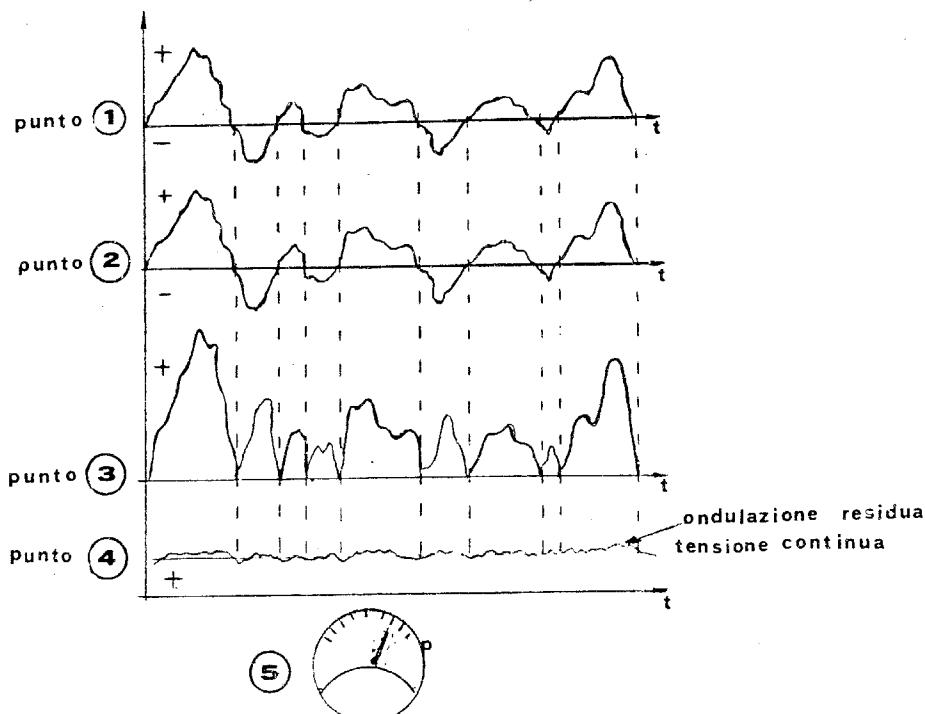


fig. 7.11 Funzionamento del correlatore analogico.

(punto 4) è indicata la tensione in uscita dal filtro che è applicata allo strumento indicatore, questa è prodotta dal moltiplicatore ed è priva delle componenti oscillanti più marcate, bloccate dall'azione del filtro; essa è formata da una componente continua sopra la quale è presente una ondulazione perturbante che dipende, oltre che dal segnale e dal disturbo, anche dalle caratteristiche del filtro;

(punto 5) è indicato il posizionamento dell'indice dello strumento indicatore, dipendente dall'ampiezza della componente continua con le oscillazioni dovute all'ondulazione residua.

In uscita dal filtro la componente continua è dovuta al grado di correla-

zione dei segnali di ingresso, quella oscillante al segnale e al disturbo. Dimensionando opportunamente il filtro si può ottenere, alla sua uscita, una tensione continua poco affetta dall'ondulazione perturbante che rende instabile l'indice dello strumento indicatore.

Il correlatore, diversamente dal rivelatore, non produce tensione continua dipendente dal disturbo se questo è incoerente, ed è per ciò che è ritenuto un mezzo più valido del rivelatore. In quest'ultimo infatti la tensione continua dovuta al disturbo rende più incerto l'orientamento del compensatore.

Se i segnali di ingresso al correlatore non sono perfettamente uguali in ampiezza e polarità istantanee, caso del compensatore non orientato sul bersaglio, si ha un diverso aspetto dei prodotti delle due tensioni. Questi non sono più tutti positivi, ma possono essere anche negativi, con la conseguenza che la tensione all'uscita del filtro assume valori inferiori al caso precedente.

Vediamo qual è l'inconveniente causato dall'ondulazione dovuta al disturbo, osservando il funzionamento complessivo del correlatore collegato, tramite i sommatori parziali, al compensatore. Supponiamo di dover determinare la direzione di un bersaglio posto a 60° mediante l'osservazione del grado di correlazione dei segnali indicato dallo strumento ad indice. Consideriamo due casi:

- 1) Caso ideale in assenza di disturbo: si osserva che all'uscita del correlatore si ha, ruotando il compensatore, un massimo netto in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio: cioè le polarità delle tensioni all'uscita dei sommatori parziali coincidono e si ha il massimo grado di correlazione. Per direzioni che a mano a mano si scostano da quella del bersaglio si hanno valori di uscita decrescenti, cioè le polarità delle tensioni all'uscita dei sommatori parziali non coincidono più in grande numero ed il grado di correlazione diminuisce; questo andamento è mostrato in Fig. 7.12/a.
- 2) Caso di pratico impiego in presenza di disturbo: si osserva che all'uscita del correlatore si ha, ruotando il compensatore, un massimo con ondulazioni perturbanti in corrispondenza della direzione del bersaglio e valori decrescenti, simili al primo caso, ma affetti da sensibili ondulazioni dovute al disturbo; questo andamento è mostrato in Fig. 7.12/b.

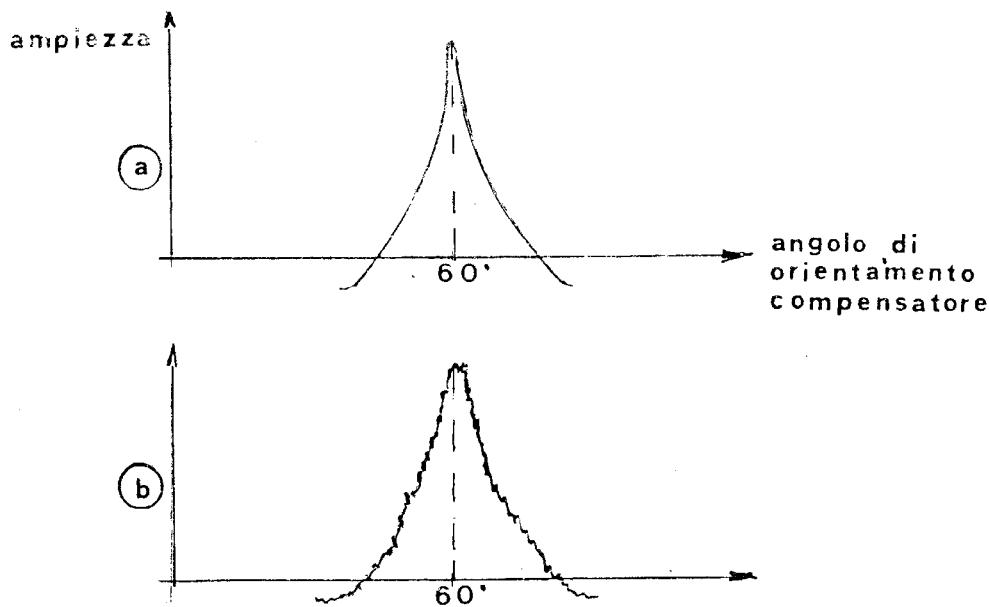


fig. 7.12 Andamento della tensione all'uscita di un correlatore analogico.

Se il disturbo aumenta aumentano le ondulazioni sovrapposte alla tensione continua che indica il grado di correlazione dei due segnali idrofonici. L'aumento delle ondulazioni tende a mascherare la correlazione rendendo incerta l'operazione di orientamento del compensatore.

Tuttavia il correlatore consente un'ottima indicazione strumentale per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo, anche in condizioni di disturbo molto elevato.

Il funzionamento dei correlatori si presta anche al riconoscimento dei segnali in mezzo al disturbo nei sistemi a fasci preformati e alla successiva presentazione sugli schermi video.

Questo tipo di applicazione rende necessario lo sdoppiamento di ciascun sommatore del sistema a fasci; vedi paragrafo 4.5. Ad ogni sommatore vengono sostituiti due sommatori parziali per ottenere, su ciascun fascio preformato, le due tensioni idrofoniche per il collegamento con il correlatore. In questo tipo di applicazione il funzionamento dei correlatori è identico a quello poc'anzi descritto e gli effetti del disturbo sono analoghi e si ripercuotono sulle forme delle tensioni a campana all'uscita degli interpolatori. I correlatori consentono di riconoscere un segnale in mezzo al disturbo anche quando il segnale è molto più piccolo del disturbo.

È dimostrato che la capacità di riconoscimento dipende dalle caratteristi-

che del filtro di uscita del correlatore in rapporto con la banda delle frequenze ricevute dal sonar.

7.4.4) Il correlatore digitale.

Il correlatore digitale è un ottimo sostituto del correlatore analogico ed ha su quest'ultimo vantaggiosi rapporti efficacia/costo ed efficacia/ingombro. Il problema del costo e dell'ingombro è molto importante nella realizzazione di sistemi a fasci preformati che in alcuni casi, per apparecchiature molto sofisticate, richiedono centinaia di correlatori.

La ragione del basso costo e del modesto ingombro risiede nel fatto che il correlatore digitale è realizzabile con componenti elettronici digitali molto piccoli ed estremamente economici.

Le prestazioni del correlatore digitale sono leggermente inferiori a quelle di un correlatore analogico, ma la sua semplicità lo rende competitivo. La struttura di un correlatore di questo tipo è mostrata in Fig. 7.13, essa è formata da due blocchi di limitazione dei segnali di ingresso, da un moltiplicatore logico e da un filtro di uscita.

Le tensioni di ingresso S e D si suppongono provenienti dai sommatori parziali collegati al compensatore come in Figura 7.9.

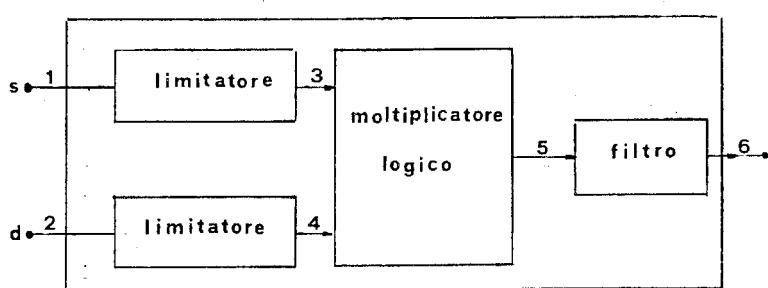


fig. 7.13 Circuito correlatore digitale.

Descriviamone il funzionamento con l'aiuto della figura 7.14 in cui sono indicate le forme d'onda presenti nei punti indicati da 1 a 6 nel caso in cui il compensatore non sia ben orientato sul bersaglio.

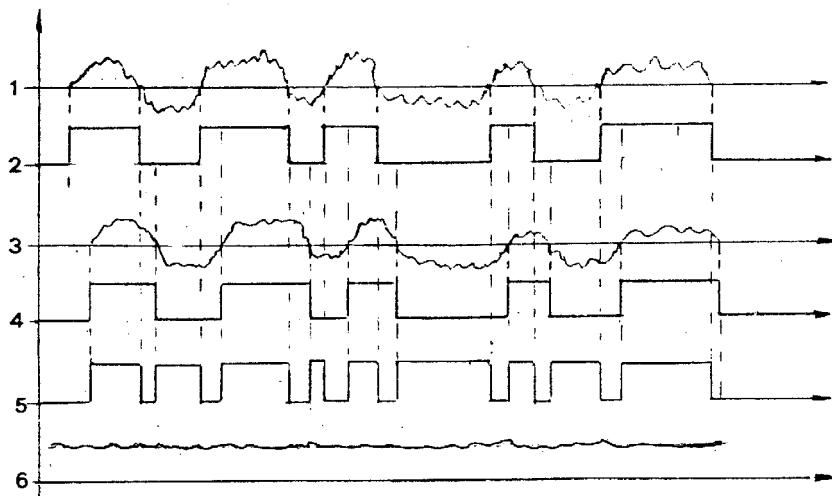


fig. 7.14 Funzionamento del correlatore digitale.

Dalla figura 7.14 si osserva la trasformazione dei segnali di ingresso attraverso i successivi passaggi:

(punti 1 e 2) sono indicate le due tensioni di ingresso a polarità casuale inquinata dal disturbo ambiente. Queste tensioni sono applicate ai due limitatori;

(punti 3 e 4) sono indicate le tensioni presenti all'uscita dei due limitatori, esse sono a polarità casuale e ripetono la polarità dei segnali di ingresso, ma non ripetono l'ampiezza originale che viene modificata con dei livelli costanti positivi in corrispondenza delle polarità positive, con dei livelli costanti nulli in corrispondenza delle polarità negative;

(punto 5) è indicata la tensione impulsiva all'uscita del moltiplicatore logico; questa tensione è positiva in corrispondenza della coincidenza della polarità delle tensioni dei limitatori ed è zero quando le polarità non coincidono.

La sequenza degli impulsi, se applicata all'apposito filtro, produce alla sua uscita una tensione continua dipendente dalla correlazione esistente tra i due segnali di ingresso al moltiplicatore digitale;

(punto 6) è indicata la tensione in uscita dal filtro, questa è il risultato dell'azione di blocco del filtro sulla sequenza degli impulsi di uscita del moltiplicatore, è formata da una componente continua, dovuta al grado di cor-

relazione dei segnali, sopra la quale è sovrapposta una ondulazione perturbante che dipende, oltre che dal segnale e dal disturbo, anche dalle caratteristiche del filtro (in questo caso la tensione in uscita dal filtro non raggiunge il massimo valore).

Se il compensatore è orientato perfettamente sul bersaglio e il disturbo è modesto, la tensione impulsiva, in uscita dal correlatore, è quasi sempre positiva a meno di alcuni brevi istanti in cui cade a livello zero a causa del disturbo. In questo caso la tensione continua all'uscita del filtro (punto 6) è praticamente massima. Per quanto visto possiamo dire che il comportamento del correlatore digitale, al variare della posizione del compensatore rispetto al bersaglio, è simile a quello del correlatore analogico. Il disturbo produce invece un effetto diverso da quello prodotto nel correlatore analogico a causa della mancata coincidenza di polarità tra le due tensioni anche quando il compensatore è orientato perfettamente sul bersaglio. In conseguenza di ciò la tensione all'uscita del filtro tende a diminuire in ampiezza, vedi Fig. 7.15 e al limite, per valori elevati del disturbo, si ha il suo annullamento in mezzo ad esso.

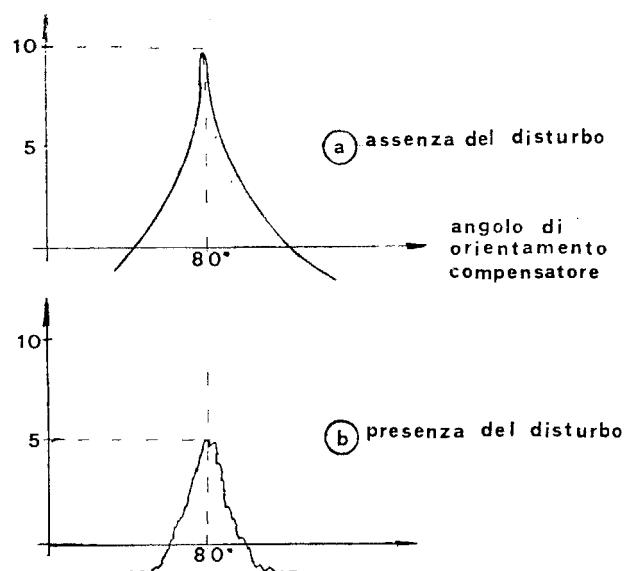


fig. 7.15 Andamento della tensione all'uscita di un correlatore digitale.

7.4.5) L'anticorrelatore.

Con questo termine si definisce uno speciale correlatore che valuta il grado di massima correlazione tra due segnali fornendo in uscita una tensione nulla, invece che una tensione massima come nel correlatore normale.

Questa caratteristica, di cui vedremo l'importanza, è ottenuta con la disposizione circuitale di fig. 7.16.

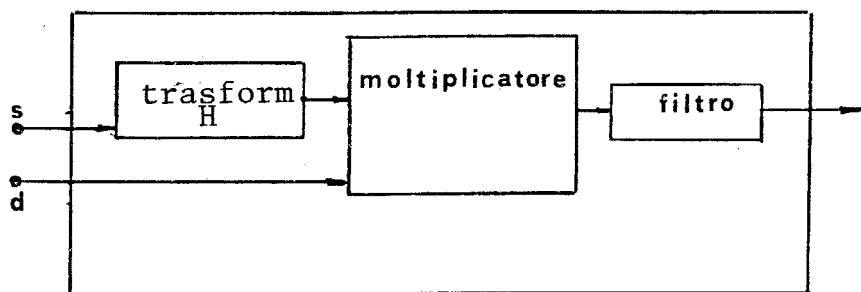


fig. 7.16 Circuito dell'anticorrelatore

Nella figura si vede lo schema a blocchi di un correlatore analogico, che ha in serie ad uno dei due ingressi uno speciale dispositivo in grado di provare, su tutte le frequenze che compongono il segnale di ingresso, una particolare trasformazione (H).

Il funzionamento di questo dispositivo, nel contesto di tutto il circuito, è complesso e non è utile descriverlo; è interessante invece esaminare l'applicazione che ha una notevole importanza operativa nel funzionamento del sonar.

L'anticorrelatore, come il correlatore, deve essere adattato alle caratteristiche dei segnali di ingresso; questi possono essere o tensioni idrofoniche o tensioni dovute all'eco del bersaglio. Per ottimizzare il circuito al tipo del segnale si deve dimensionare opportunamente il filtro d'uscita; per le tensioni idrofoniche è richiesto un filtro la cui struttura consente di attenuare notevolmente l'effetto del disturbo, per le tensioni d'eco è richiesto un filtro che invece ha poca efficacia nell'attenuazione del disturbo.

La capacità di detezione del sistema è perciò meglio utilizzabile nella localizzazione dei bersagli attivi.

L'anticorrelatore è collegato al sistema a compensatore nello stesso modo in cui è collegato il correlatore (vedi Fig. 7.17).

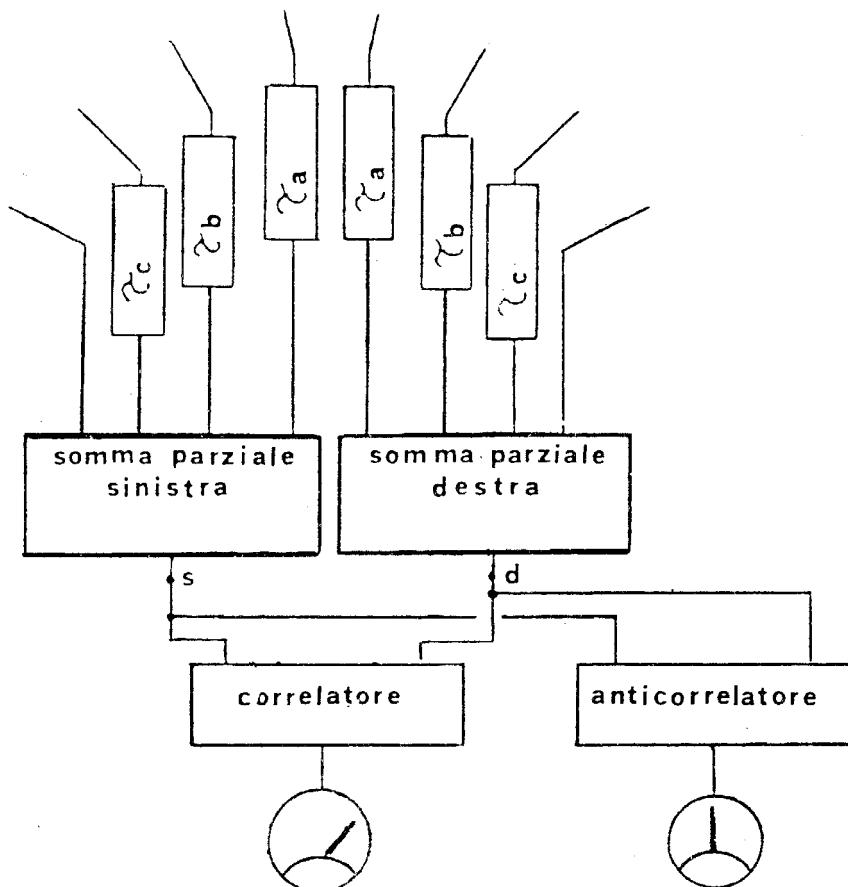


fig. 7.17 Impiego del correlatore e dell'anticorrelatore nel sistema di puntamento a compensatore.

Esso manifesta la sua utilità in virtù dell'andamento della tensione d'uscita che, come abbiamo detto, è nulla quando quella del correlatore è massima. In Fig. 7.18 sono riportate le curve che mostrano come variano le tensioni all'uscita del correlatore e dell'anticorrelatore quando l'orientamento del compensatore varia da una parte all'altra rispetto alla direzione del bersaglio.

La curva a) mostra che la tensione del correlatore è massima quando il compensatore è orientato sul bersaglio, essa decresce per orientamenti diversi.

Nella curva b) si vede che la tensione dell'anticorrelatore è nulla quando il compensatore è orientato sul bersaglio; essa cresce verso i valori positivi quando l'orientamento del compensatore si sposta a sinistra del bersaglio, mentre decresce verso i valori negativi quando il compensatore si sposta a destra del bersaglio.

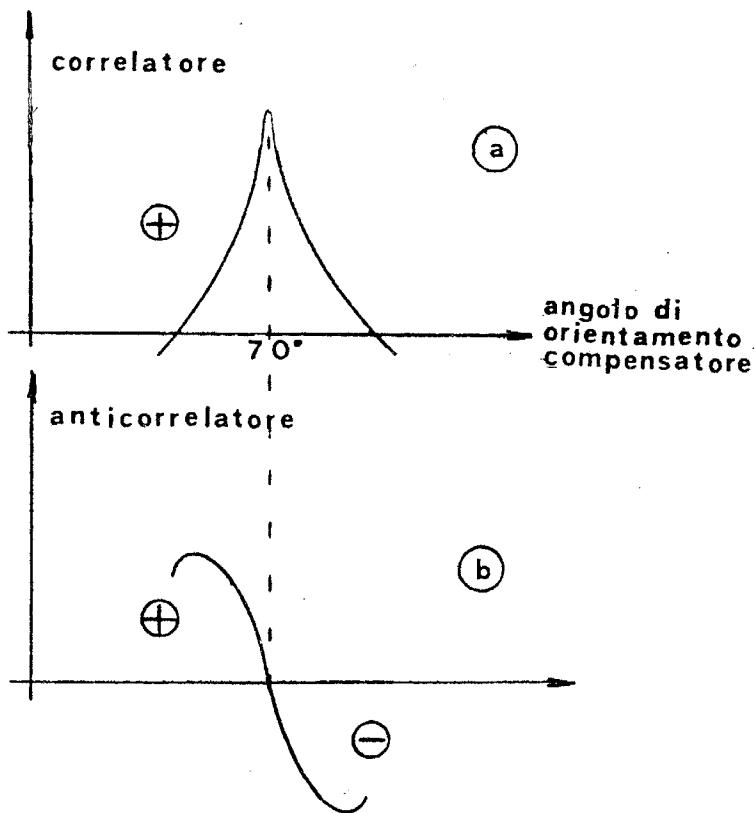


fig. 7.18 Andamento delle tensioni d'uscita del correlatore e dell'anticorrelatore.

Se quando il compensatore è orientato sul bersaglio, questo varia la sua direzione a destra o a sinistra, la tensione del correlatore decresce nello stesso modo tanto che lo spostamento sia a destra che a sinistra e non fornisce indicazione del senso di spostamento. La tensione dell'anticorrelatore invece, quando il bersaglio si sposta a destra, va verso i valori positivi, mentre quando si sposta verso sinistra, va verso i valori negativi. Questa caratteristica fornisce all'operatore un'indicazione immediata delle inversioni di direzione del bersaglio.

L'anticorrelatore consente il riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo come il correlatore, ma non è preposto a sostituirlo, ne rappresenta invece un ausilio in fase di misura della direzione e di controllo del comportamento del bersaglio.

7.4.6) Osservazioni sull'impiego dei metodi di correlazione.

I metodi di correlazione che sono stati esaminati possono essere applicati con successo anche nel funzionamento della componente attiva e dell'in-

tercettatore del sonar. Naturalmente, nel caso di riconoscimento di impulsi, l'indicazione strumentale delle tensioni di correlazione non può essere eseguita con indicatori ad indice, dato che la loro inerzia non consente di seguire gli impulsi di tensione di breve durata.

La correlazione viene impiegata nei sistemi a fasci preformati della componente attiva e dell'intercettatore; i correlatori impiegati per questi scopi hanno particolari filtri di uscita che si adattano alle caratteristiche degli impulsi ricevuti. Anche in questo caso sono necessari gli sdoppiamenti dei sommatori dei fasci per consentire il collegamento dei correlatori.

Con un sistema a compensatore collegato ad un anticorrelatore si possono visualizzare su di un piccolo schermo di tipo televisivo gli impulsi ricevuti dal sonar, tanto l'eco dei bersagli quanto gli impulsi intercettati, per seguire i movimenti del bersaglio e stabilire rapidamente, come nel caso citato nel paragrafo 7.4.5, se esso cambia direzione.

Per illustrare questa tecnica nella Fig. 7.19 (a, b, c) sono mostrati, sull'apposito schermo, i diversi casi che si possono presentare all'operatore dopo aver orientato il compensatore sul bersaglio:

- a) Se il bersaglio resta fermo l'ampiezza dell'impulso presentato sullo schermo è nulla.
- b) Se il bersaglio si sposta sulla destra rispetto alla direzione puntata dal compensatore, si ha la comparsa di un impulso sulla parte destra, rispetto alla mezzeria dello schermo.
- c) Se il bersaglio si sposta sulla sinistra, rispetto alla direzione puntata dal compensatore, si ha la comparsa di un impulso sulla parte sinistra dello schermo.

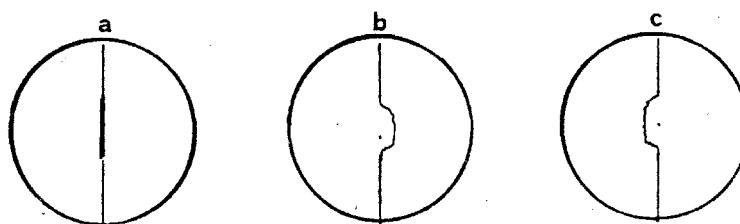


fig. 7.19 Presentazione degli impulsi d'eco elaborati da un anticorrelatore.

È interessante osservare che con questo metodo si possono rilevare pic-

coli scostamenti angolari del bersaglio rispetto ad un rilevamento effettuato in precedenza.

7.4.7) Il Differenziale di riconoscimento

La capacità di detezione di tutti i sistemi per la rivelazione dei segnali idrofonici o degli echi dei bersagli va sotto la dizione di “Differenziale di Riconoscimento”.

Questo termine viene comunemente impiegato per definire la “bontà” dei vari dispositivi delegati alla scoperta del segnale, siano essi caratterizzati da mezzi di ascolto diretto dei rumori o degli echi dei bersagli che da più complessi dispositivi di elaborazione del segnale.

Il Differenziale di Riconoscimento è espresso mediante un numero che è tanto più piccolo quanto sono migliori le caratteristiche del dispositivo di rivelazione del segnale; esso esprime infatti il rapporto tra il minimo segnale che può essere rivelato dal dispositivo e il rumore perturbante che tende a mascherare il segnale stesso.

Un esempio può servire a chiarire preliminarmente il concetto: si supponga che agli ingressi del correlatore digitale descritto al paragrafo 7.4.4 sia presente un segnale idrofonico di ampiezza 1 ed un rumore perturbante di ampiezza 5 quando il compensatore è perfettamente orientato sul bersaglio; si supponga altresì che in questa condizione la tensione continua all’uscita del filtro sia nettamente evidenziata anche se resa un poco ondulante a causa del rumore; in questo caso si potrà dire che il Differenziale di Riconoscimento è uguale ad 1/5, cioè 0,2.

Se il correlatore fosse in grado di discriminare con la stessa facilità un segnale di livello inferiore al precedente, supponiamo 0,5 a parità di livello di rumore di 5, il Differenziale di Riconoscimento sarebbe 0,5/5 cioè 0,1. I concetti sopra esposti devono però essere ampliati per poter esprimere più correttamente il vero significato della dizione Differenziale di Riconoscimento; infatti il numero che lo esprime, dipendente dal rapporto tra il livello del segnale e del disturbo, è inoltre intimamente legato, sia alla “probabilità” che il bersaglio possa essere realmente scoperto orientando il compensatore, sia alla “probabilità” che a causa del rumore venga visto un bersaglio dove in realtà non c’è.

In altri termini, quando viene definito il valore numerico del Differenziale di Riconoscimento devono essere fissate, sia la percentuale di probabilità con cui si vuole scoprire il bersaglio, sia la percentuale di probabilità che le ondulazioni della tensione d’uscita del correlatore possano ingannare

l'operatore facendogli vedere un bersaglio quando questo non è presente. Un nuovo esempio può infine chiarire la globalità del concetto: se supponiamo che all'ingresso del correlatore digitale il segnale idrofonico sia a livello 1 e il rumore perturbante a livello 5 e che in tali condizioni si possa scoprire il bersaglio per l'80% del tempo di osservazione e che in tale tempo la percentuale delle false indicazioni di bersaglio sia del 5% si dirà che il dispositivo di rivelazione ha un Differenziale di Riconoscimento di 0,2 sotto condizione dell'80% di scoperta e del 5% di false acquisizioni. Condizione che implica che per il restante 15% del tempo il correlatore non consente né la scoperta né le false acquisizioni.

La caratteristica dei sistemi di rivelazione che abbiamo ora definito rappresenta uno dei fattori fondamentali che determinano la capacità operativa del sonar.

Capitolo 8

Il Disturbo

8.1) Origini e caratteristiche dei disturbi dell'ambiente subacqueo.

8.1.1) La natura dei disturbi.

I disturbi subacquei sono la causa principale che ostacola il riconoscimento dei segnali idrofonici irradiati dai bersagli. La loro pressione acustica può variare in un'ampia gamma di valori in dipendenza da molti fattori, non tutti ponderabili, che saranno esaminati in seguito. Nessuna parte del sommersibile ne è immune, questi sono presenti in tutto lo spazio circostante, l'unica difesa del sonar contro di essi è costituita dall'impiego di basi idrofoniche riceventi dotate di buone caratteristiche di direttività, tali da porre in massima evidenza i segnali rispetto al disturbo. La distribuzione delle frequenze che compongono i disturbi si estende in tutto il campo di quelle impiegate dai sonar, penalizzando il loro funzionamento quale che sia la banda di ricezione dei segnali.

I disturbi subacquei sono la risultante di molte cause indipendenti che si possono così elencare:

- agitazione termica dell'acqua;
- moto ondoso di superficie;
- organismi marini;
- traffico marittimo e attività industriali.

Fra queste cause la più determinante è il moto ondoso di superficie, che può raggiungere ampiezze molto critiche per il sonar.

Nei paragrafi seguenti saranno esaminate le caratteristiche dei vari tipi di disturbo, mettendo in evidenza i rapporti tra le pressioni acustiche da essi generate e quelle provocate dai rumori emessi dai bersagli.

Queste ultime sono dette "pressione del segnale".

8.1.2) Il disturbo termico.

Il disturbo da agitazione termica è provocato dalle oscillazioni delle molecole dell'acqua e dipende dalla sua temperatura. Esso si genera in ogni punto dello spazio subacqueo e la sua pressione acustica è così bassa che la si può collocare al primo scalino dei valori del disturbo, per questa ra-

gione la si assume come minimo assoluto del disturbo nell'ambiente subacqueo.

8.1.3) Il disturbo dovuto alle onde.

Questo disturbo è il più sentito e si manifesta a seguito del moto ondoso della superficie del mare. Data la sua presenza costante rappresenta l'ostacolo principale al riconoscimento dei segnali idrofonici da parte del sonar. Le frequenze che compongono questo tipo di disturbo coprono una vasta gamma che va da circa 5 Hz a 50 KHz.

La pressione acustica del disturbo dipende naturalmente dalle ampiezze delle onde, cioè dallo "stato del mare". Secondo questa definizione è stata compilata la tabella di Fig. 8.1 che fissa, per certi valori dello "stato del mare", dei numeri distintivi che di seguito saranno impiegati per le osservazioni quantitative del fenomeno.

Stato del mare	Condizioni del mare
0	molto calmo
1	calmo
2	increspato
3	moderato
4	agitato
5	molto agitato
6	molto forte

fig. 8.1.

Secondo i numeri distintivi dello stato del mare (SM) sono costruiti dei diagrammi che sono alla base di tutti i calcoli per la previsione delle massime distanze di scoperta dei sonar. I diagrammi indicano, in funzione dello stato del mare (SM) e della frequenza, la pressione acustica del disturbo presente attorno al sommersibile. Ora, per dare un'idea tangibile del livello dei disturbi, i diagrammi non sono tracciati in valori assoluti di pressione, ma in grandezze relative rispetto ad una curva di riferimento, che rappresenta, in funzione della frequenza, la variazione del livello della pressione del segnale irradiato da un bersaglio. Il segnale, che raggiunge il sonar, si suppone irradiato da un cacciatorpediniere navigante a distanza e velocità conosciuta e pertanto presenta un valore noto.

In Fig. 8.2 sono tracciati i diagrammi oggetto della descrizione, esaminiamoli osservando anzitutto che:

- a) il sistema di assi cartesiani, a cui i diagrammi si riferiscono, ha in ascisse le frequenze e in ordinate dei numeri adimensionali indicativi del livello relativo della pressione generata dal disturbo e dal segnale;
- b) i diagrammi sono formati da 7 rette parallele, ogni retta indica, per un dato stato del mare (SM da 0 a 6), che livello di disturbo ci si può aspettare alle diverse frequenze. Tra queste si possono individuare quelle di ricezione del sonar;
- c) le rette parallele mostrano, in tutte le condizioni del mare, che il disturbo è più elevato alle frequenze basse e decresce rapidamente verso le alte e che la distribuzione delle frequenze in tutta la banda è continua;
- d) la curva S, che taglia le rette parallele, rappresenta la variazione della pressione acustica proveniente dal bersaglio in funzione della frequenza e indica, in valori relativi, la pressione acustica del segnale ricevuto dal sonar. Il bersaglio è rappresentato da un cacciatorpediniere navigante alla distanza di 10 Km ed alla velocità di 40 Km/h.

Il confronto tra i livelli del disturbo e quelli del segnale idrofonico del bersaglio devono essere fatti supponendo di riceverli entrambi, con il sonar, in una banda di frequenze relativamente stretta centrata intorno ad un ben determinato valore.

Facciamo un esempio: supponiamo che il sonar abbia una banda di ricezione da 5000 a 7000 Hz e che lo stato del mare sia (SM=2), vogliamo stabilire che livello relativo di disturbo, rispetto al segnale proveniente dal bersaglio, ci possiamo aspettare. Dato che la frequenza media della banda di ricezione è 6000 Hz andiamo a vedere, nei grafici di figura 8.2, per tale valore di frequenza quali sono i corrispondenti valori del disturbo sulla retta (SM=2) e quali valori del segnale sulla curva S.

Si vede che a 6000 Hz sulla retta del disturbo si ha una pressione relativa di 3 e sulla curva del segnale una pressione relativa di 1,5; ciò significa che la pressione del disturbo dovuto al moto ondoso è il doppio di quella del segnale proveniente dal bersaglio. Quanto sopra è molto significativo perché mette in evidenza qual è il livello del disturbo paragonato ad un ipotetico segnale che per le sue caratteristiche rappresenta un caso tipico di pratico impiego. La situazione presa ad esempio non è tra le più sfavorevoli dato che lo stato del mare 2, che abbiamo assunto, non è dei peggiori. Essa cambia radicalmente se si suppone che lo stato del mare aumenti e che si giunga a (SM=6), in questo caso il diagramma indica, a 6000 Hz, un livello

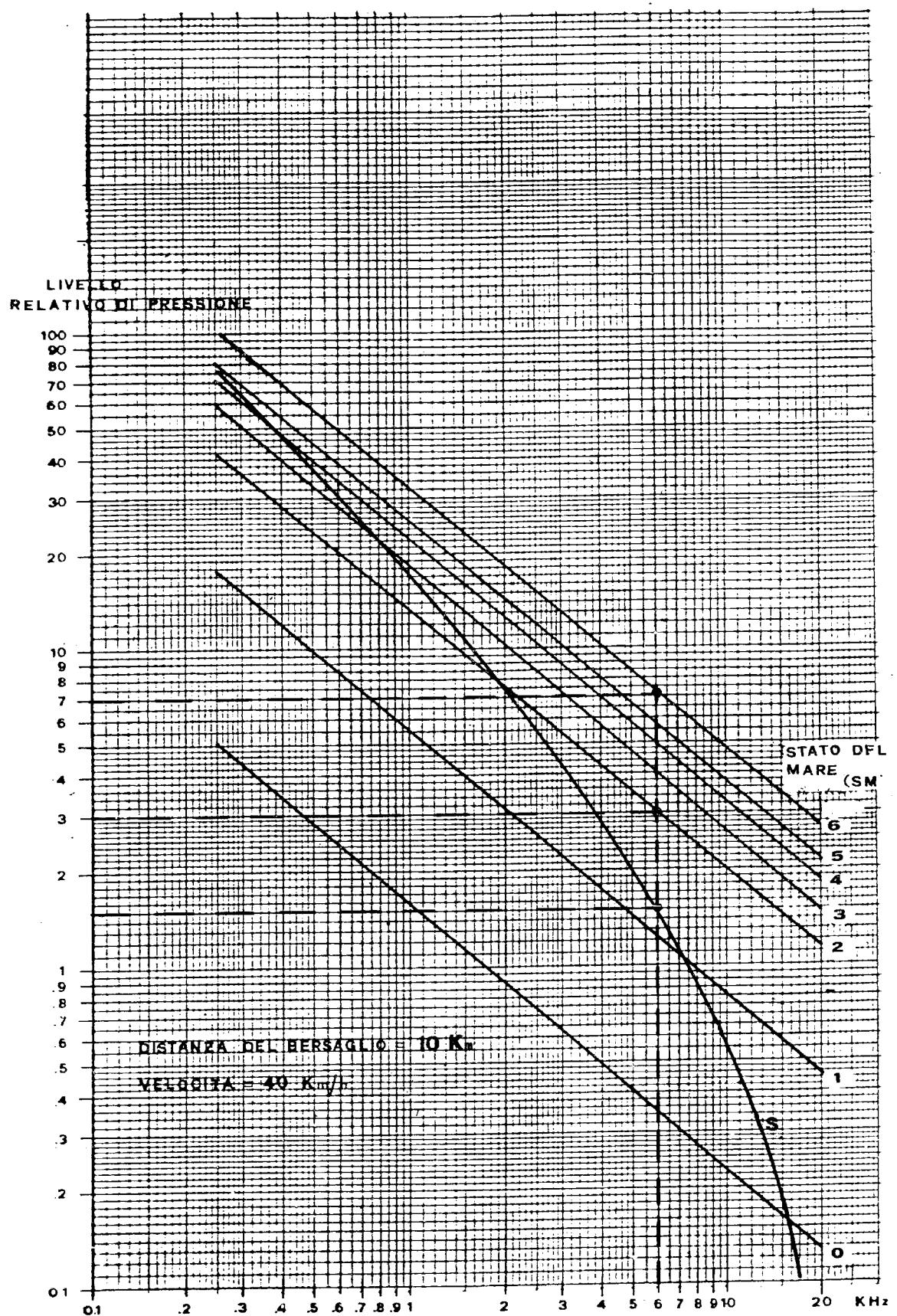


fig. 8.2 Diagrammi del rumore del mare e di un bersaglio (S) a 10 Km.

relativo di disturbo di 7 che è ben superiore a quello del segnale.

Se si tiene conto inoltre del fatto che il livello di riferimento, curva S, è dovuto ad un bersaglio a soli 10 Km di distanza e che frequentemente la distanza del bersaglio può essere molto superiore, con conseguente riduzione del segnale ricevuto dal sonar, si comprende con quali difficoltà viene fatta la scoperta dei bersagli in mezzo al disturbo.

Nella Fig. 8.3 sono riportati i grafici del disturbo dovuto allo stato del mare con riferimento ad una diversa curva di segnale S1, relativa ad un cacciatorpediniere navigante alla velocità di 40 Km/h alla distanza di 30 Km. Per ($SM=2$), in corrispondenza della stessa frequenza di ricezione dell'esempio precedente, si osserva che il segnale irradiato dal bersaglio e ricevuto dal sonar è inferiore al disturbo di ben 15 volte.

8.1.4) Il disturbo causato da organismi marini.

Questo tipo di disturbo è provocato da certe specie di animali presenti in particolari zone ambientali.

Tra questi citiamo una varietà del pesce tamburo, un piccolo pesce che vive in colonie di milioni di individui che producono, mediante il movimento di muscoli del corpo, disturbi di ampiezza superiore a quelli provochati dalle onde del mare. I disturbi sono distribuiti in un campo di frequenze che va da un centinaio a qualche migliaio di Hertz. Il loro andamento è mostrato nel grafico di Fig. 8.4, esso è relativo ad un rilievo effettuato in via sperimentale in un particolare ambiente ed è utile soltanto a scopo dimostrativo.

Nel grafico è riportata la curva D che indica i valori relativi del livello di pressione del disturbo in funzione della frequenza e la curva S che indica il livello di riferimento del segnale, come nel caso di figura 8.2. Dal confronto tra le due curve, valido soltanto se si suppone il sonar nelle immediate vicinanze della colonia dei pesci, si osserva che questo particolare disturbo è molto superiore al livello del segnale preso come riferimento. Altri animali, causa di notevoli disturbi, sono un genere di crostacei che hanno il loro habitat nelle zone comprese tra 35° di latitudine Nord e 40° di latitudine Sud. L'andamento del disturbo da essi provocato è riportato in Fig. 8.5, curva D1, assieme alla solita curva di riferimento S.

Dalla figura si nota che questo tipo di disturbo è sensibilmente inferiore a quello prodotto dai pesci tamburo, ma non è trascurabile in special modo alle frequenze alte.

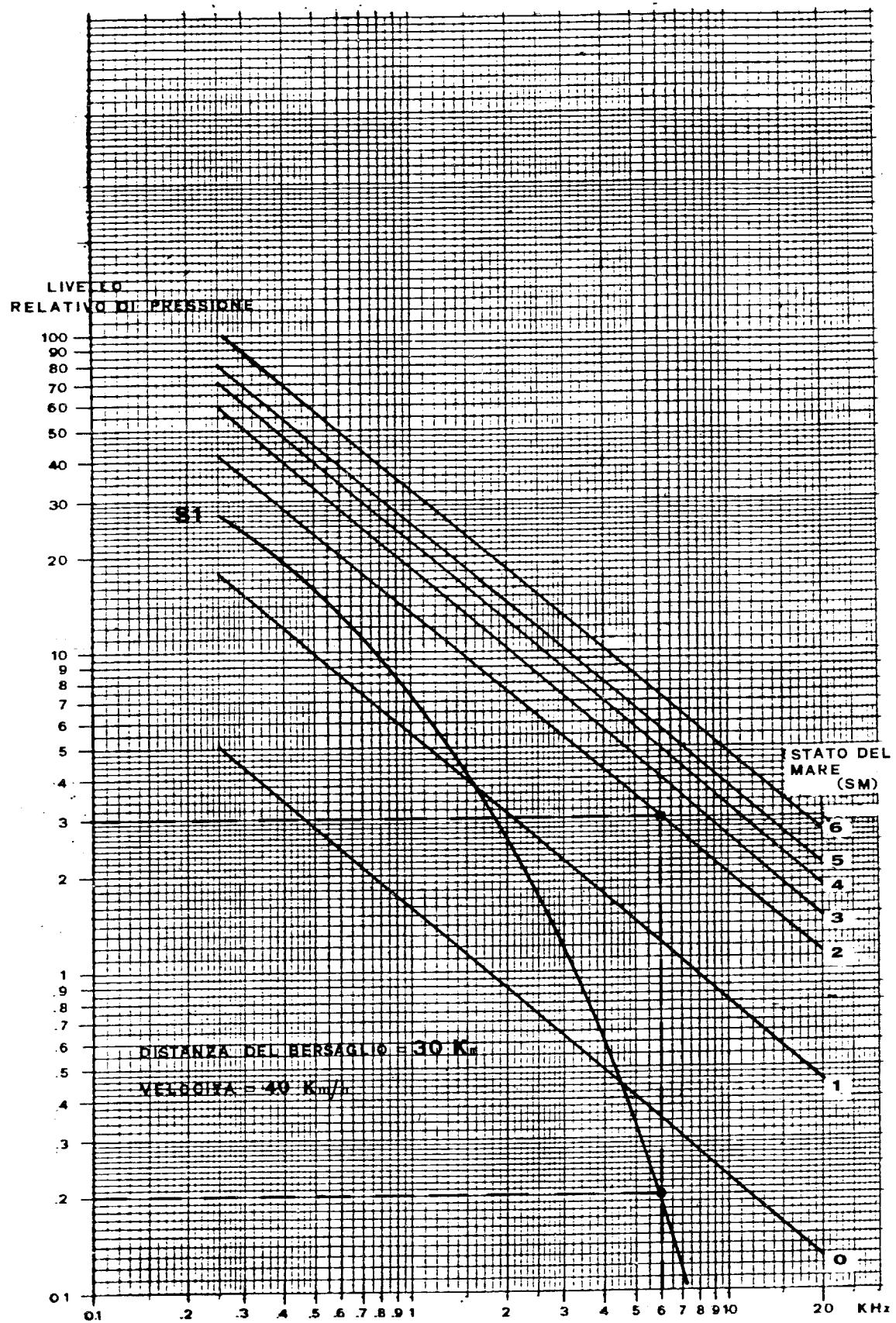


fig. 8.3 Diagrammi del rumore del mare e di un bersaglio (s_1) a 30 Km.

LIVELLO
RELATIVO DI PRESSIONE

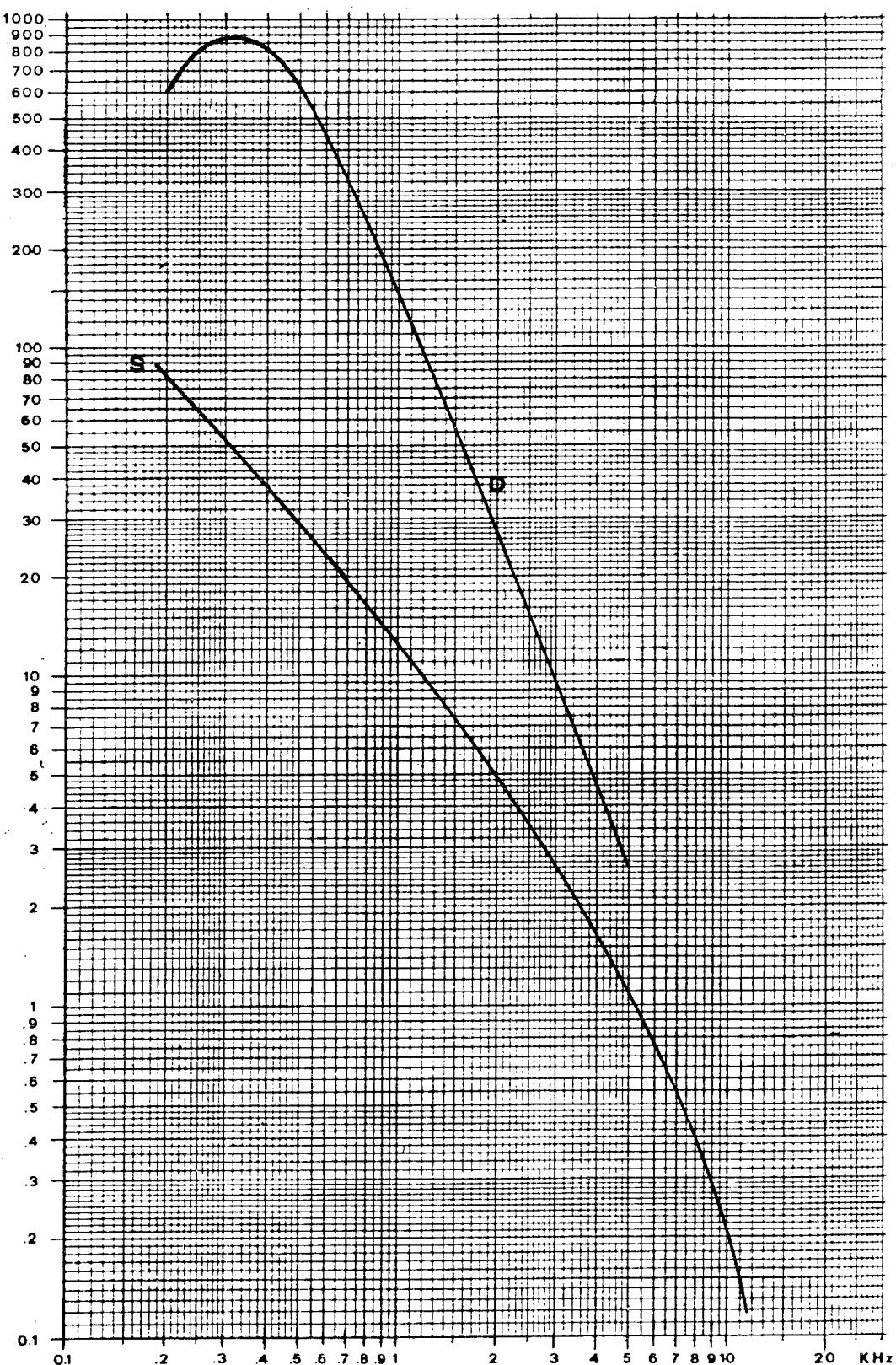


fig. 8.4 Diagramma del rumore di organismi marini (D) comparato con il rumore di un bersaglio (S)

LIVELLO
RELATIVO DI PRESSIONE

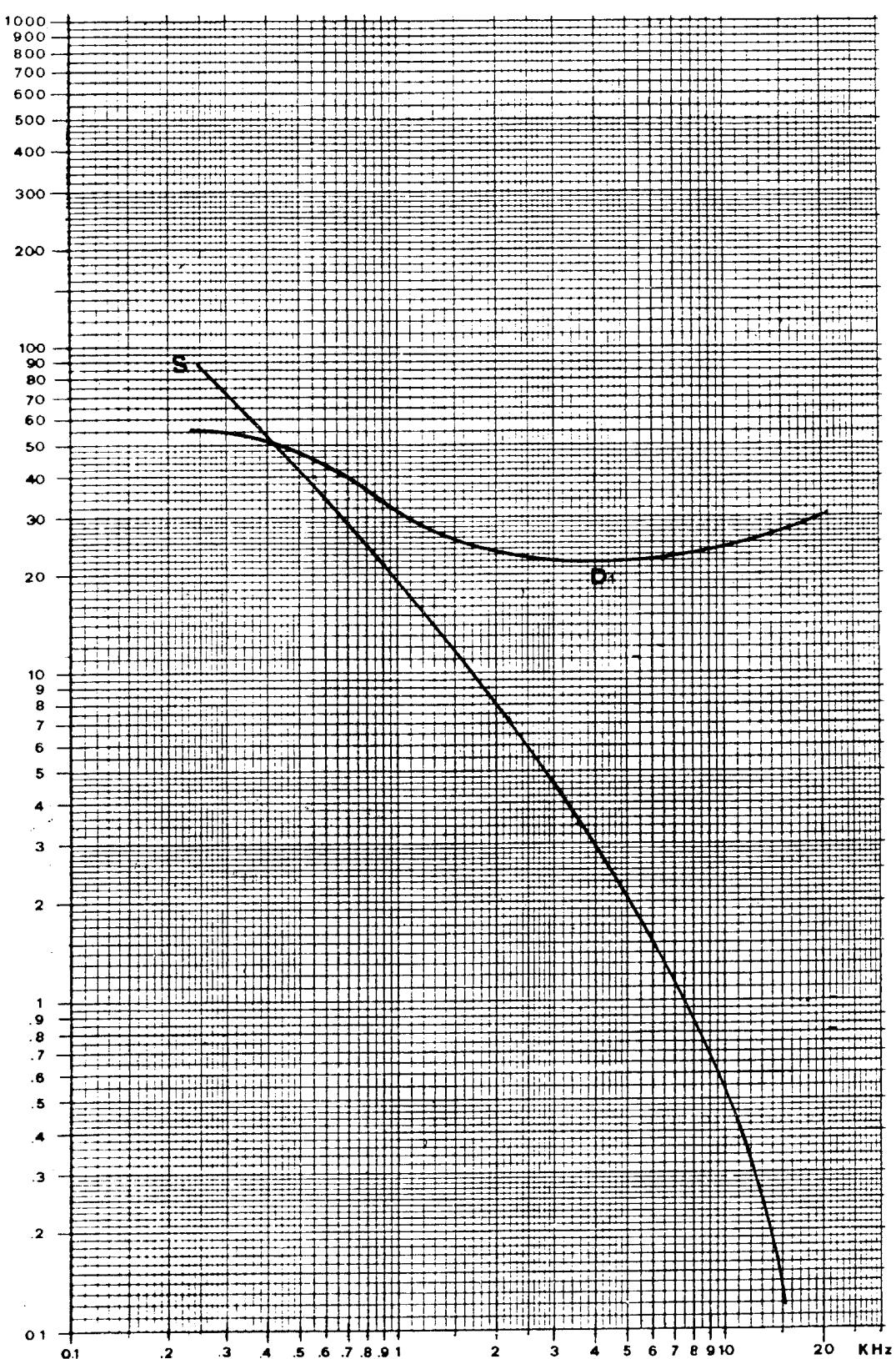


fig. 8.5 Diagramma del rumore di organismi marini (D_1) comparato con il rumore di un bersaglio (S).

8.1.5) Il disturbo del traffico marittimo e delle attività industriali.

Il disturbo causato dal traffico marittimo o dalle attività industriali è presente nelle acque prospicienti i porti mercantili o i grandi insediamenti industriali. Esso rappresenta una notevole limitazione all'impiego del sonar per la sorveglianza di quello spazio subacqueo. Misure eseguite in zone di mare con intenso traffico portuale hanno denunciato livelli di rumore paragonabili a quello del moto ondoso avente un SM compreso fra 4 e 5. Questo tipo di disturbo è distribuito, nel campo delle frequenze, in modo simile a quello generato dal moto ondoso.

Misure eseguite in zone di mare prospicienti i grandi insediamenti industriali hanno messo in evidenza livelli di disturbo altrettanto elevati, ma aventi una distribuzione, in frequenza, sensibilmente uniforme, da pochi Hertz a 20 KHz, questa distribuzione è di gran lunga più inquinante di quella del moto ondoso, che invece decresce notevolmente alle frequenze più alte.

Se ad una delle cause di disturbo ora esaminate si associa una condizione del mare poco favorevole, la combinazione dei due disturbi è tale che la scoperta dei bersagli diventa problematica.

8.2) Caratteristiche dei disturbi generati dal battello.

8.2.1) I disturbi provocati dalle macchine.

Le basi idrofoniche riceventi, installate sui sommersibili, sono colpite dai disturbi provocati dalle macchine adibite alla propulsione e ai vari servizi di bordo. Questi disturbi hanno una distribuzione, nel campo delle frequenze, molto diversa da quella dipendente dall'ambiente subacqueo dato che sono generati, prevalentemente, da organi meccanici rotanti. Il loro spettro è costituito da un insieme discontinuo di frequenze dipendenti dalle velocità di rotazione. Le vibrazioni delle macchine si propagano alle basi idrofoniche attraverso la struttura dello scafo.

Le misure prese dai costruttori per limitare al massimo questo inconveniente sono indirizzate all'isolamento dei locali macchine con pannelli acustico-assorbenti e alla sospensione, con supporti elastici, dei basamenti che alloggiano le macchine.

Questi disturbi possono limitare la scoperta dei bersagli quando, in casi particolarmente favorevoli delle condizioni ambientali, il disturbo dovuto al moto ondoso è inferiore a quello del battello. Per tale ragione sovente, se è necessario effettuare operazioni di scoperta a grande distanza, si ese-

gue un'azione di silenziamento contingente del battello riducendo al minimo indispensabile l'azione delle macchine di bordo.

8.2.2) I disturbi elettrici.

Questa classe di disturbi dipende da fenomeni di interferenza che nascono tra i cavi elettrici che collegano le basi idrofoniche e i cavi del battello adibiti ad altri servizi. La natura di essi dipende dal disturbo interferente che riesce ad insinuarsi per via elettromagnetica o per via elettrostatica nei punti più sensibili del sonar. Le interferenze sono praticamente inesistenti se l'installazione del sonar è fatta con l'attenzione dovuta in concerto con i costruttori dei diversi sistemi elettrici del battello. Esse possono insorgere in un secondo tempo, dopo la navigazione, a causa di sopravvenute anomalie tra certi contatti elettrici delle apparecchiature di bordo.

8.2.3) I disturbi di natura elettronica.

Questi disturbi, che sono dovuti al sonar, vengono elencati tra quelli del battello, perché si ritiene che il primo sia parte integrante del secondo. Essi sono generati prevalentemente dagli amplificatori che ricevono le tensioni idrofoniche dalle stecche della base. Il fenomeno è dovuto all'agitazione elettronica prodotta dalla temperatura, che sviluppa, nei componenti degli amplificatori delle tensioni ad andamento casuale che inquinano i segnali applicati.

Nel progetto del sonar il problema del disturbo degli amplificatori è tra i più impegnativi da affrontare.

Nell'ipotesi che il sonar si trovi ad operare in condizioni ambientali molto favorevoli, quali ad esempio uno stato del mare compreso tra $SM = 0$ e $SM = 1$, è necessario che gli amplificatori abbiano un disturbo proprio molto inferiore a quello prodotto dall'ambiente subacqueo per non mascherare eventuali segnali aventi livelli inferiori ad esso.

Quanto detto è mostrato nell'esempio tracciato nel grafico di Fig. 8.6, in esso sono riportate, in valori relativi di ampiezza all'ingresso degli amplificatori, le tensioni dovute al disturbo del mare per $SM=0-1$ (curva M) e le tensioni del disturbo elettronico (curva C). La curva M è rappresentata in tutto il campo delle frequenze che interessano il fenomeno, come in figura 8.2, la curva C è rappresentata soltanto nel campo delle frequenze di ricezione del sonar, che, in questo esempio, è ipotizzato da 1000 a 4000 Hz.

Entrambe le curve hanno lo spettro delle frequenze continuo, la curva C

LIVELLO
RELATIVO DI TENSIONE

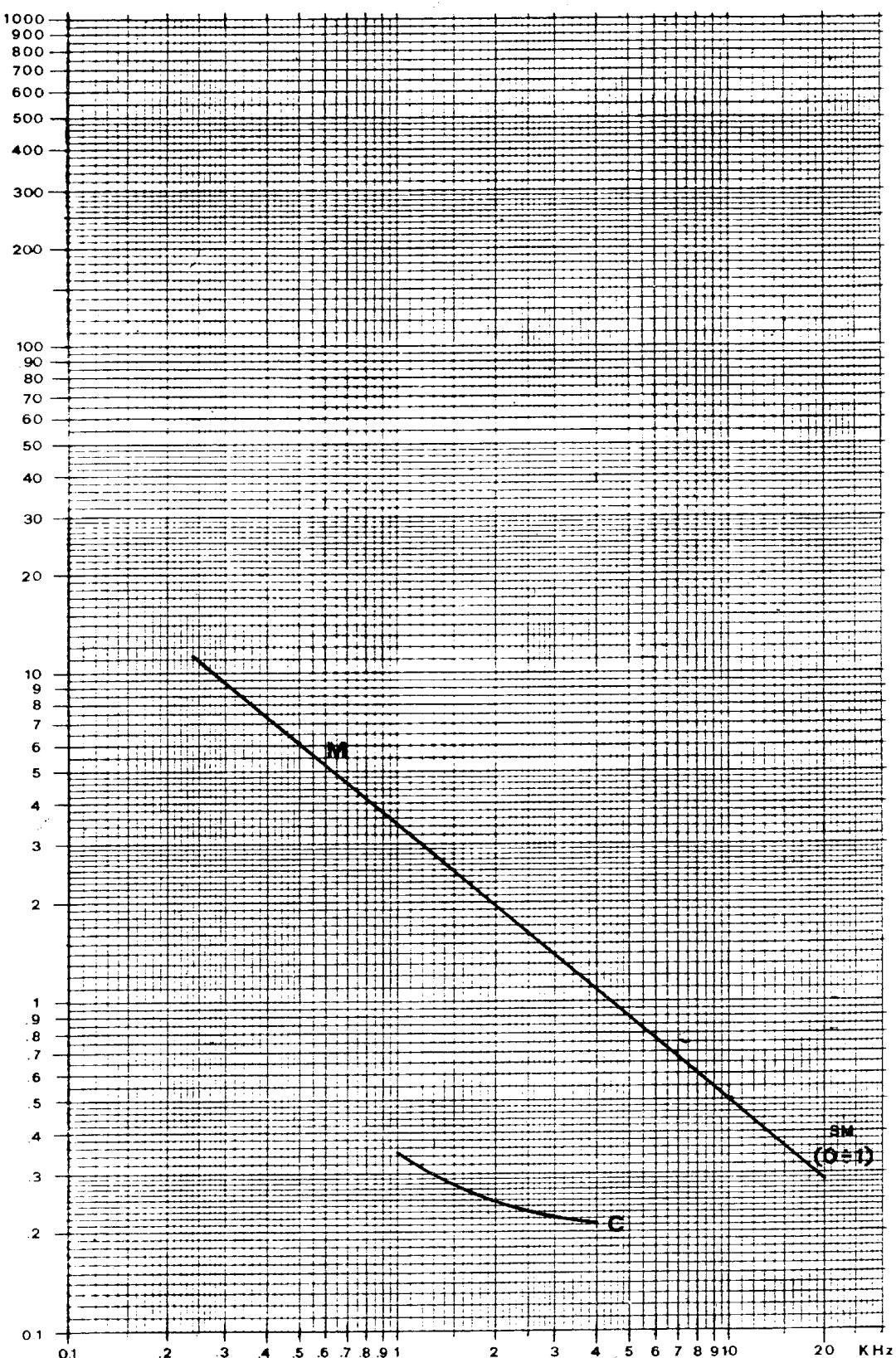


fig. 8.6 Diagramma del rumore degli amplificatori del sonar (C) comparato con il minimo rumore del mare (M).

indica che il livello del disturbo elettronico è, per tutti i valori delle frequenze che lo compongono, almeno 1/5 del livello dovuto al moto ondoso. Questa è una condizione soddisfacente per un buon sonar.

8.2.4) I disturbi generati dal movimento del battello.

Quando il sommersibile si muove velocemente nell'acqua tutte le sue parti esterne possono provocare disturbi. Questo fenomeno, detto di cavitazione, si verifica quando un mezzo si muove nell'acqua ad una velocità tale da provocare, dietro di sé, una riduzione della pressione del liquido sufficiente per creare l'aggregazione delle molecole dei gas discolti che si concentrano in tante piccole bolle. Poco dopo la loro formazione, quando si ripristina la pressione normale, a seguito dello spostamento del mezzo, le bolle si disgregano e generano energia acustica che si propaga nell'acqua.

La cavitazione provoca disturbi acustici, la cui distribuzione, nel campo delle frequenze, è continua e si estende da alcune centinaia a qualche decina di migliaia di Hertz. L'ampiezza delle pressioni generate non è costante a tutte le frequenze, ma varia con il variare della velocità e della profondità del sommersibile. Uno dei più dannosi effetti della cavitazione si verifica attorno alla struttura della base ricevente del sonar che è disposta a prua del battello e fende l'acqua direttamente. In questo caso l'entità del disturbo di cavitazione può rappresentare una seria limitazione alla ricezione dei segnali idrofonici dei bersagli lontani. L'inconveniente è parzialmente eliminato con l'impiego di particolari "cuffie di avviamento idrodinamico" che coprono le basi idrofoniche. Le cuffie, vedi Fig. 8.7, sono delle strutture cave con profili studiati per ridurre al minimo la cavitazione sulla loro superficie, sono costruite con materiali speciali, trasparenti alle onde acustiche, per non rappresentare un ostacolo alla ricezione del suono da parte della base sottostante.

La cuffia è collocata sopra la base in modo che l'acqua, riempiendo completamente tutto il volume tra le due strutture, continui ad essere il veicolo di trasmissione delle onde acustiche che colpiscono la base attraverso le pareti della cuffia stessa. Essa oltre a ridurre il fenomeno della cavitazione in virtù del suo profilo, è dimensionata in modo che la parte anteriore, rivolta verso la prua del battello, si trovi a notevole distanza dalla base per allontanare al massimo le superfici che, fendendo l'acqua, sono le più soggette a produrre il disturbo.

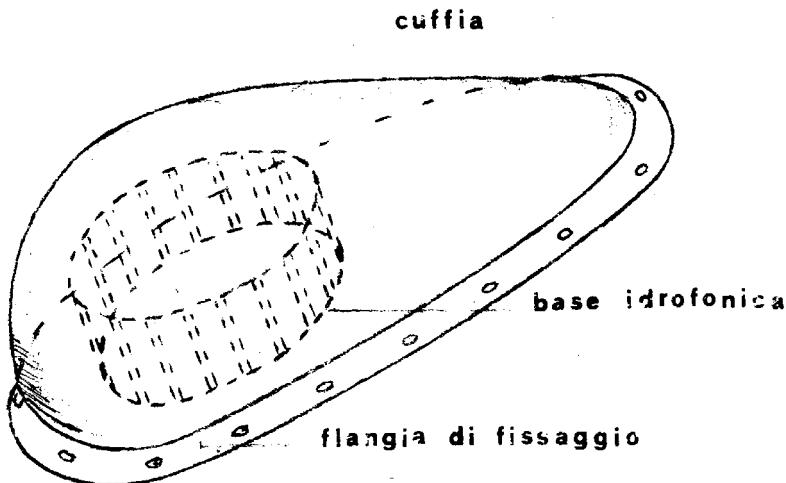


fig. 8.7 Cuffia di avviamento idrodinamico per base circolare

La cavitazione dello scafo, che dipende dalla velocità e dalla profondità di navigazione, viene ridotta studiando opportune soluzioni idrodinamiche e curando che le sue superfici non abbiano asperità.

La cavitazione delle eliche, provocata dalla rotazione delle pale durante la propulsione, è molto intensa e provoca nella zona di poppa del sommersibile notevoli disturbi che impediscono alla base di ricevere i segnali in tale direzione; questo tipo di cavitazione si riduce impiegando delle eliche opportunamente progettate.

8.3) Osservazioni sul rapporto tra il segnale e il disturbo.

Dall'esame condotto nel presente capitolo si è visto che il disturbo in acqua è, nella maggior parte dei casi, uguale o superiore al segnale preso come riferimento. Questa situazione viene notevolmente modificata, a favore del segnale, nella fase di ricezione per effetto delle caratteristiche di direttività. Il rapporto tra le pressioni del segnale e quelle del disturbo, che si riscontra in acqua, non corrisponde al rapporto tra le tensioni da esse prodotte ai capi delle stecche idrofoniche. Il rapporto tra le tensioni è a favore del segnale in virtù dell'azione riduttiva, esercitata dalla caratteristica di direttività verticale sul disturbo (vedi paragrafi 3.1 e 3.2).

Quando, successivamente, le tensioni delle stecche vengono applicate con i dovuti ritardi al sommatore, per la formazione della caratteristica di direttività orizzontale, si ha un'ulteriore modifica del rapporto segnale/disturbo sempre a favore del segnale. Il miglioramento si ottiene, all'uscita

del sommatore, grazie alla riduzione del disturbo esercitata dal processo per la formazione della caratteristica di direttività orizzontale (vedi paragrafo 3.7). Questa spiegazione è molto semplicistica, ma abbastanza aderente alla realtà.

Gli incrementi complessivi del segnale sul disturbo dipendono dalla "bontà" delle caratteristiche di direttività verticale e orizzontale della base idrofonica, essi sono definiti globalmente come "guadagno di direttività della base".

Guadagni di direttività dell'ordine di 10 o 20 volte sono normalmente ottenibili, essi conferiscono al sonar quelle capacità di scoperta che gli sono proprie.

Concludiamo l'argomento con un semplice esempio:

un sonar, che ha una base ricevente con un guadagno di direttività di 10, riceve un segnale idrofonico avente una pressione acustica uguale ad 1 (valore relativo), in mezzo al disturbo ambientale la cui pressione è uguale a 7 (valore relativo). Il rapporto tra il segnale e il disturbo, in acqua, è 1/7, invece il rapporto tra la tensione di segnale e quella di disturbo, all'uscita del sommatore, è $10 \times 1/7 = 10/7$ con un miglioramento di 10 volte, tanto quanto è il guadagno di direttività.

8.4) Come si presenta il disturbo all'operatore del sonar.

L'effetto inquinante dei disturbi si manifesta, come già visto nel capitolo 7, su tutti i canali di elaborazione dei segnali ricevuti dal sonar.

L'operatore percepisce l'azione del disturbo in modo diverso a seconda del tipo di attività che sta svolgendo con il sonar:

- 1) se egli è intento all'ascolto, tramite il sistema a compensatore, i disturbi provocano del fruscio che ostacola la scoperta, l'inseguimento o la determinazione delle caratteristiche distintive dei bersagli;
- 2) se l'operatore si dispone alla collimazione di un bersaglio sempre con il sistema a compensatore, ma utilizzando gli strumenti indicatori per il puntamento, secondo i metodi della massima o della minima elongazione dell'indice, il disturbo ne provoca notevoli oscillazioni che rendono l'operazione difficoltosa;
- 3) se invece l'operatore sta osservando gli schermi video collegati ai vari sistemi di fasci preformati, sia passivi che attivi, il disturbo compare sugli schermi come un insieme di piccole tracce luminose che, in base all'intensità del disturbo stesso, tendono ad "imbiancare" lo schermo mascherando la presenza delle tracce dei bersagli.

Capitolo 9

I segnali ricevuti dal sonar

9.1) Il segnale idrofonico.

9.1.1) Le sorgenti del segnale.

I segnali idrofonici utilizzati dal sonar per la localizzazione dei bersagli sono irradiati da questi sotto forma di onde acustiche che si propagano nell'acqua in tutte le direzioni.

I rumori emessi dai mezzi naviganti sono generati da diverse sorgenti dislocate in particolari punti della nave.

La sorgente che genera la maggior quantità di rumore è il sistema di propulsione, questo rumore è dovuto sia alle vibrazioni meccaniche delle eliche che alla cavitazione da esse provocata.

Le vibrazioni hanno luogo per trasmissione diretta da parte dell'apparato motore agli assi delle eliche e per lo sforzo tra le pale e l'acqua. La cavitazione, che si origina come già visto nel paragrafo 8.2.4, produce un rumore che è modulato dalla rotazione delle eliche; questo rumore, ascoltato a distanza dall'operatore del sonar, fornisce utili indicazioni sulla velocità e sulla classe di appartenenza del bersaglio (nave da guerra, trasporto, sommergibile, ecc.). Il rumore di cavitazione è distribuito in bande di frequenze molto ampie, contrariamente a quello dovuto alle vibrazioni che è contenuto in bande relativamente strette.

Un'altra sorgente di rumore è costituita dalle macchine di propulsione: esse trasmettono le loro vibrazioni nell'acqua attraverso lo scafo della nave. Altre cause di rumore meno importanti, ma che contribuiscono ad ampliare lo spettro delle frequenze generate dal bersaglio, sono dovute alle innumerevoli macchine di uso generale e alle attività ordinarie dell'equipaggio.

9.1.2) Caratteristiche di radiazione del bersaglio.

Il rumore irradiato dal bersaglio non ha la stessa pressione in tutte le direzioni, infatti, data la posizione delle eliche che ne rappresentano la sorgente principale, è concentrato nella zona di poppa della nave. In Fig. 9.1 è mostrata una curva indicativa dell'andamento del rumore irradiato da un bersaglio in funzione della direzione; il diagramma è tracciato in coordi-

nate polari al centro delle quali è idealmente collocato il bersaglio. Dalla curva si osserva che i livelli più elevati di pressione si riscontrano nelle direzioni di poppa; questo fatto ci fa capire che le probabilità di scoperta di un bersaglio variano al variare della sua inclinazione rispetto alla retta congiungente bersaglio-sommergibile. Una nave che si presenta verso il sommersibile con la prua è più difficilmente localizzabile della stessa che si presenta con il fianco o con le due zone di poppa. Infatti sono presenti due minimi nel diagramma: uno in corrispondenza della prua, a causa dell'effetto schermante dello scafo sui rumori emessi da poppa, l'altro sull'asse, a poppa, a causa dell'effetto schermante prodotto dalla scia della nave.

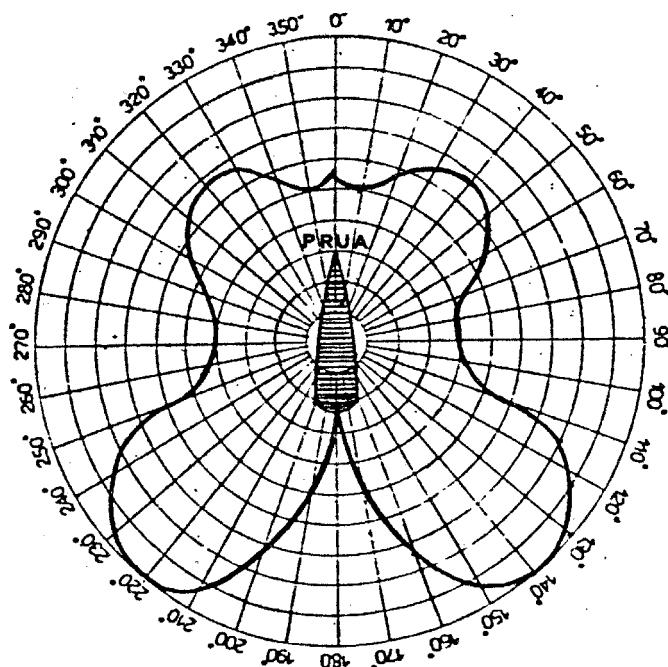


fig. 9.1 Diagramma polare del livello di rumore emesso da una nave.

9.1.3) I livelli dei segnali idrofonici.

I livelli dei segnali idrofonici ricevuti dal sonar dipendono dal tipo di bersaglio che li emette e da diverse caratteristiche ambientali che saranno oggetto di trattazione dei capitoli successivi. I bersagli emettono livelli di pressione di rumore in dipendenza dalla stazza e dalla velocità di navigazione. Un bersaglio tipico, preso a base di gran parte delle osservazioni teo-

riche nel campo della localizzazione subacquea, è il cacciatorpediniere (caccia).

La distribuzione del rumore irradiato da questo tipo di nave, nel campo delle frequenze, è continua e copre una vasta gamma di valori compresa tra 100 e 30000 Hz. I livelli del rumore sono più elevati alle basse che alle alte frequenze.

In Fig. 9.2 sono riportate una serie di curve, R1 - R4, che rappresentano i livelli di pressione, in funzione della frequenza, generati da un caccia nelle sue immediate vicinanze.

Le curve non sono tracciate in livelli assoluti di pressione, ma in livelli relativi per poterli più facilmente paragonare con la retta M, indicativa del disturbo dovuto al mare ($SM=2$), presa come riferimento. Dalle curve R osserviamo anzitutto che i livelli del rumore irradiato sono tanto più elevati quanto più è elevata la velocità della nave, alla variazione di velocità compresa tra 20 e 50 Km/h corrisponde un incremento del rumore di circa 16 volte. I livelli di pressione generati alla frequenza più bassa (500 Hz) sono circa 100 volte superiori a quelli generati alla frequenza più alta (30 KHz), come si vede nella curva R1.

Se paragoniamo le curve R con la curva di riferimento M vediamo che le pressioni di rumore generate dal caccia sono da 2000 a 30000 volte superiori a quelle prodotte dal moto ondoso.

Ciò può far pensare ad un errore commesso nel paragrafo 8.1.3 dove si è mostrato che la pressione del rumore di un caccia, ricevuta dal sonar a 10 Km di distanza, è dell'ordine di quella provocata dal moto ondoso. Purtroppo non è così: le onde acustiche di rumore emesse dal caccia nel percorrere la distanza di 10 Km che lo separa dal sommergibile subiscono attenuazioni e alterazioni dello spettro delle frequenze tali da trasformare le curve R1 - R4 nelle curve S1 – S4, tracciate nella parte bassa di figura 9.2, secondo le seguenti corrispondenze:

- * Nave a 50 Km/h
 - R1 si trasforma in S1
- * Nave a 40 Km/h
 - R2 si trasforma in S2
- * Nave a 30 Km/h
 - R3 si trasforma in S3
- * Nave a 20 Km/h
 - R4 si trasforma in S4

LIVELLO
RELATIVO DI PRESSIONE

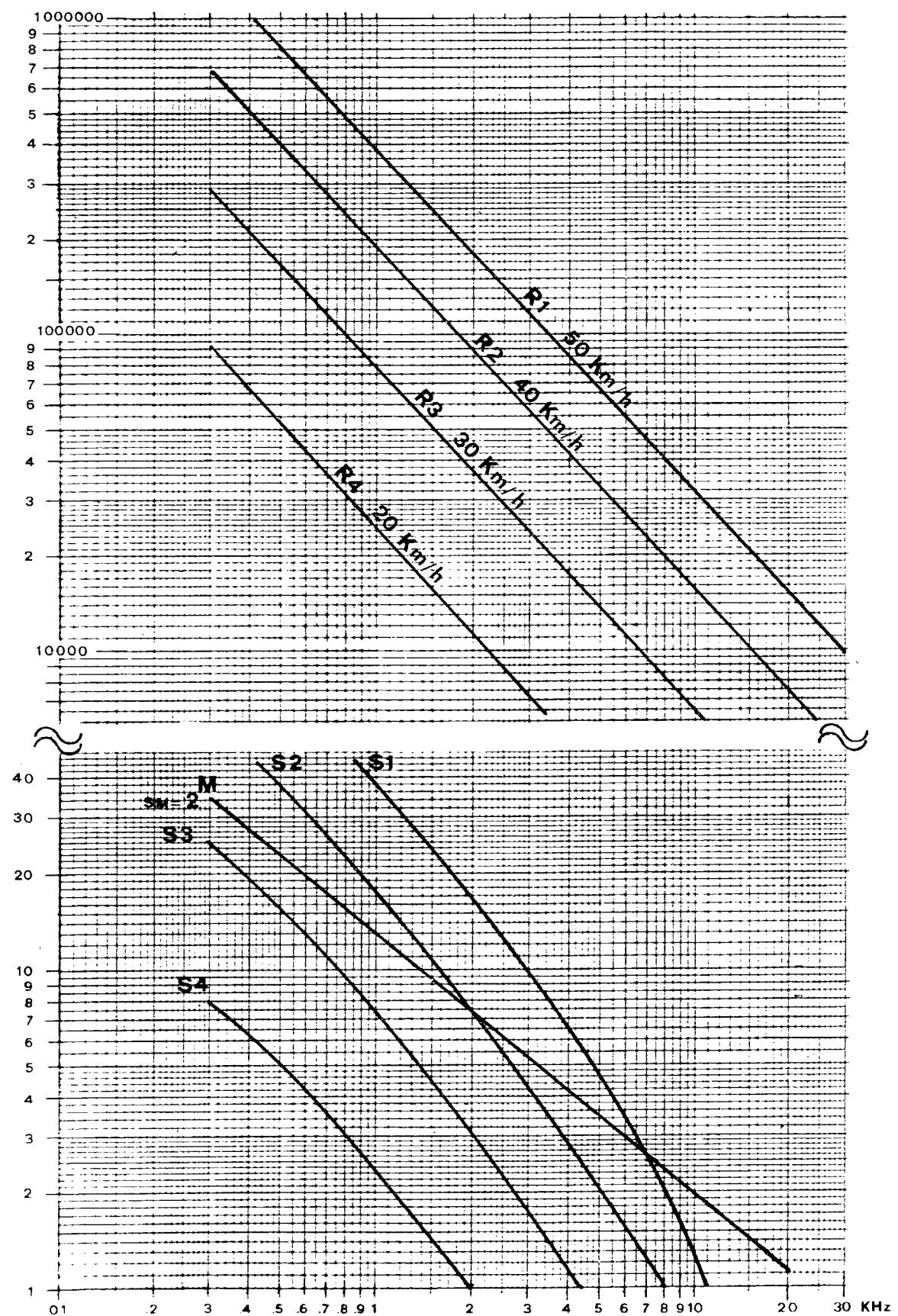


fig. 9.2 Livelli di rumore (R) generati da un cacciatorpediniere e ricevuti dal sonar (S).

Le curve mostrano a 2000 Hz, ad esempio, una riduzione del livello della pressione originale dell'ordine di 10000 volte ed in generale un'attenuazione molto più accentuata alle alte frequenze che non alle basse.

Le cause di questo fenomeno, che è tra i più limitativi nella scoperta sonar, saranno esaminate in seguito nel capitolo dedicato alla propagazione del suono in mare.

9.2) Il segnale eco.

9.2.1) Caratteristiche dell'eco.

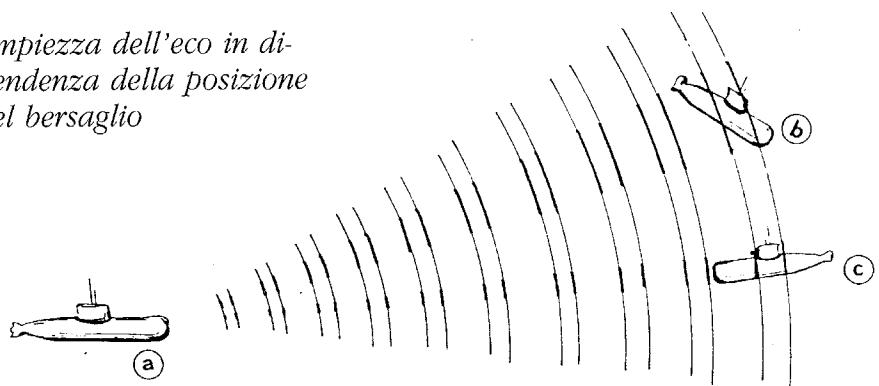
Il segnale ricevuto dal sonar con la componente attiva è dovuto al ritorno di una piccolissima parte dell'energia acustica emessa nella fase di trasmissione. La pressione acustica dell'eco dipende da quattro fattori:

- a) dalla quantità di energia impulsiva emessa dal sonar;
- b) dall'attenuazione dell'energia in acqua nel percorso di andata e ritorno: sommergibile-bersaglio e viceversa;
- c) dalle dimensioni del bersaglio e dalla sua inclinazione rispetto alla congiungente bersaglio-sommergibile;
- d) dalla durata dell'impulso emesso.

Sul problema relativo alla quantità di energia emessa abbiamo già accennato nel paragrafo 1.7.2, sull'attenuazione dell'energia lungo il percorso tratteremo nel capitolo 10; in questo paragrafo ci occuperemo delle caratteristiche dell'eco dipendenti dalle dimensioni e dall'inclinazione del bersaglio, nonché dalla durata dell'impulso.

La pressione dell'eco del bersaglio aumenta con le dimensioni di questo, dato che la quantità di energia captata dallo scafo e successivamente riflessa è tanto maggiore quanto più è ampia la superficie esposta all'onda acustica emessa dal sonar. Il livello dell'eco varia pertanto in dipendenza dalla stazza del bersaglio (portaerei, caccia, sommergibile, ecc.) e dalla zona dello scafo che viene investita dall'impulso; ben diversa è infatti la superficie presentata dal fianco della nave rispetto a quella della poppa o della prora. Il livello dell'eco varia quindi in dipendenza dell'angolo che l'asse del bersaglio forma con la congiungente bersaglio-sommergibile come è mostrato nella Fig. 9.3; in essa il sommergibile (a) emette con il sonar gli impulsi di localizzazione verso i bersagli (b) e (c) che, supposti uguali ed alla medesima distanza, ne riflettono l'eco. Il bersaglio (b) viene colpito dagli impulsi sul fianco, il bersaglio (c) viene colpito di prua, pertanto il primo riflette un'eco di livello molto più elevato del secondo.

fig. 9.3 Ampiezza dell'eco in dipendenza della posizione del bersaglio



La differenza del livello dell'eco in dipendenza dal settore colpito dall'impulso è mostrata in Fig. 9.4 nel caso che il bersaglio sia un sommersibile.

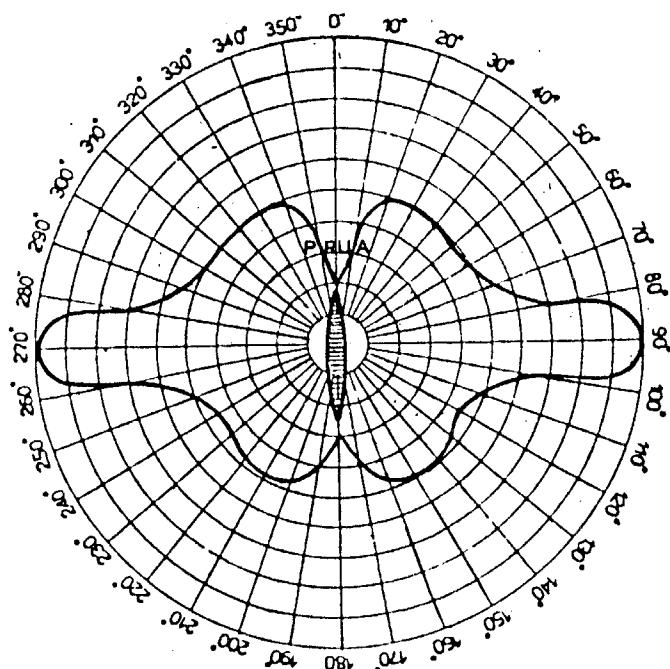


fig. 9.4 Diagramma polare dell'intensità dell'eco in funzione del settore colpito dall'impulso.

La figura rappresenta in coordinate polari, al centro delle quali è posto idealmente il bersaglio, l'andamento del livello dell'eco in funzione dell'angolo di provenienza dell'impulso sonar.

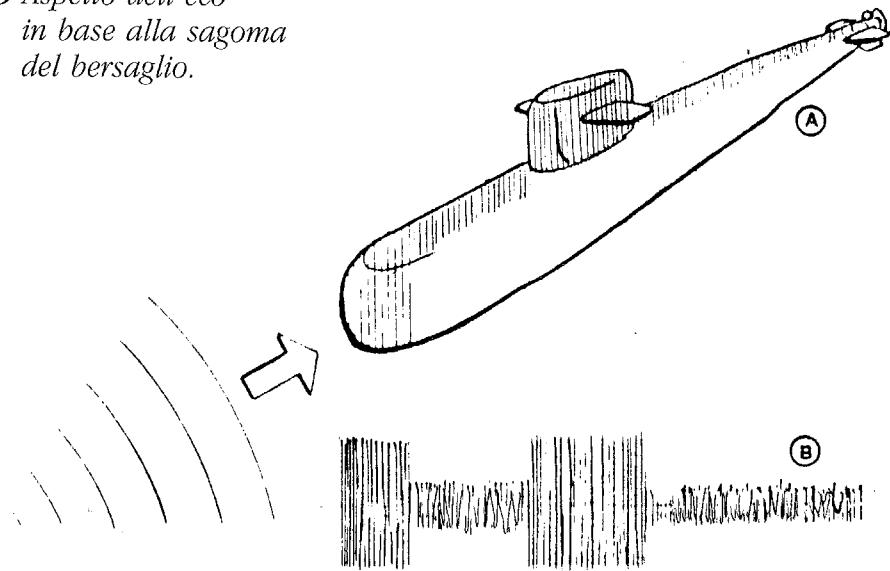
I massimi livelli dell'eco si hanno in corrispondenza dei fianchi del bersaglio ($90^\circ - 270^\circ$) e i minimi in corrispondenza dell'asse ($0^\circ - 180^\circ$).

Un altro fattore che caratterizza l'eco del bersaglio è il suo allungamento ri-

spetto all'impulso emesso, in dipendenza del settore da esso investito. Se il bersaglio si presenta con il fianco inclinato rispetto alla direzione di provenienza dell'impulso, più parti dello scafo, colpite in tempi successivi, riflettono energia e l'eco si forma con la sequenza di queste riflessioni che durano un tempo superiore alla durata dell'impulso.

Questo fenomeno, utilizzato a volte dall'operatore per classificare il bersaglio in base al suo "aspetto", è mostrato in Fig. 9.5.

fig. 9.5 Aspetto dell'eco
in base alla sagoma
del bersaglio.



Nella figura 9.5/a è mostrato un sommersibile che viene investito, in una direzione un poco sguardata rispetto all'asse longitudinale, da un impulso acustico, la cui durata è opportunamente stabilita per evidenziare il fenomeno. Nella figura 9.5/b è tracciato il caratteristico aspetto della successione degli echi di ritorno. Da quest'ultimo si osserva che in corrispondenza delle zone del battello a maggior superficie, indicate con tratteggio in figura 9.5/a, si hanno delle riflessioni più intense degli echi e che la successione di questi proviene da tutta l'estensione dello scafo.

Mediante opportuna presentazione degli echi su di uno schermo video l'operatore individua la silhouette del bersaglio, quindi, in base alla misura della durata degli impulsi ricevuti, con un semplice calcolo, ne valuta la lunghezza, nonché le posizioni delle sovrastrutture, che contribuiscono alla sua classificazione.

La pressione dell'eco proveniente da un bersaglio dipende, entro certi limiti, dalla durata dell'impulso emesso dal sonar. Un impulso troppo corto

non riesce ad investire tutta la superficie dello scafo e per conseguenza l'energia acustica riflessa, nel tempo della sua azione, è inferiore a quella che si avrebbe se un impulso più lungo investisse completamente il battello. Esiste pertanto una lunghezza ottimale dell'impulso che consente di sfruttare al massimo le capacità riflettenti del bersaglio senza peraltro emettere più energia del necessario.

Quanto ora detto è in apparente contrasto con quanto affermato a proposito della durata dell'impulso per la determinazione dell'aspetto del bersaglio. I due casi devono essere valutati separatamente: quando c'è l'esigenza di classificare il bersaglio devono essere emessi impulsi corti per individuarne le caratteristiche, in questo caso si rinuncia ad avere la massima pressione dell'eco. Quando si deve effettuare la scoperta attiva a grande distanza, sfruttando al massimo le doti riflettenti del bersaglio, si devono emettere impulsi più lunghi.

Per queste ragioni ed altre che vedremo in seguito, il sonar è dotato di un apposito comando, che, azionato dall'operatore, consente di scegliere, secondo i casi, la durata più adatta dell'impulso di emissione.

9.2.2) Livelli del segnale d'eco.

Gli echi dei bersagli, che colpiscono la base ricevente del sonar, hanno livelli di pressione molto piccoli, sebbene gli impulsi generati nella fase di trasmissione abbiano livelli di pressione elevatissimi. La ragione risiede nel fatto che il percorso dell'impulso è il doppio della distanza che separa il sommersibile dal bersaglio (l'impulso colpisce il bersaglio dopo il percorso di andata, raggiunge quindi la base, come eco, dopo il percorso di ritorno).

Per avere un'idea dei livelli dell'eco è opportuno ricorrere al solito confronto con i valori relativi del disturbo dovuto al moto ondoso; consideriamo un caso tipico di pratico impiego, un sonar con un trasmettitore di media potenza emette impulsi verso un sommersibile a 20 Km di distanza, la frequenza degli impulsi è di 6000 Hz e il bersaglio è posto nella condizione più sfavorevole per la riflessione dell'eco.

Il livello della pressione dell'eco di ritorno, in valore relativo, è indicato con un cerchietto nel grafico di Fig. 9.6, in esso è riportata, come riferimento, la retta che indica l'andamento del disturbo provocato dal moto ondoso nel caso dello stato del mare ($SM=3$). Nel grafico, in corrispondenza della frequenza di 6000 Hz, si vede il cerchietto che indica il livello relativo dell'eco, circa 6; in corrispondenza della stessa frequenza il livello

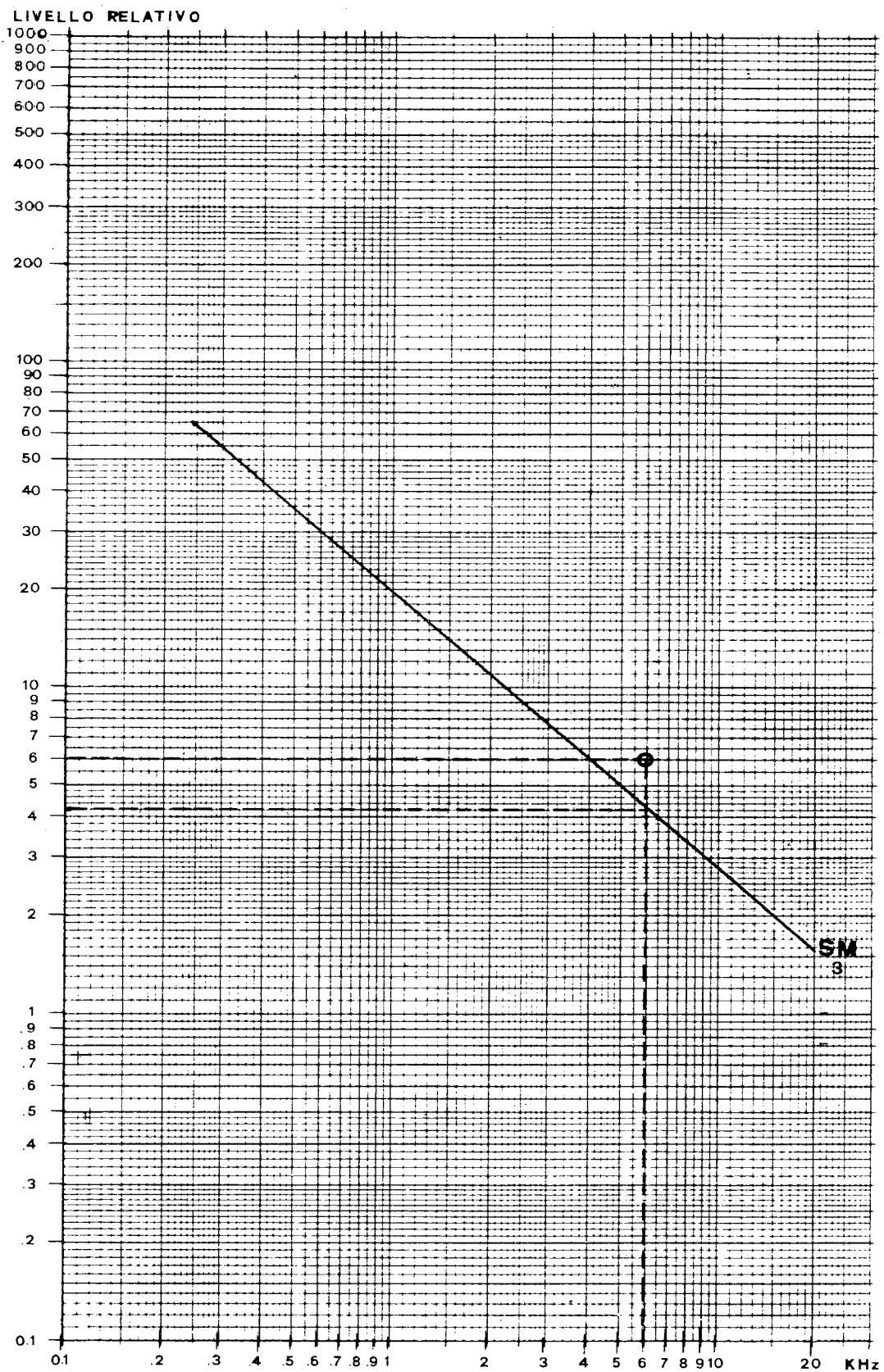


fig. 9.6 Pressione dell'eco comparata con il rumore del mare.

relativo del disturbo è 4 con un vantaggio di sole 1,5 volte a favore dell'eco.

Anche in questo caso, come nella ricezione dei segnali idrofonici, il livello del segnale d'eco è molto basso e si fa conto sul guadagno di direttività della base per migliorare il rapporto eco/disturbo (vedi paragrafo 8.3).

Capitolo 10

Propagazione del suono in mare

10.1) Le forme normali di propagazione.

Iniziamo questo capitolo accennando alle forme “normali” di propagazione del suono in mare, esse sono i fenomeni mediante i quali il sonar può localizzare i bersagli nello spazio subacqueo.

Una sorgente sonora immersa nell’acqua genera delle onde acustiche che si propagano secondo successive superfici sferiche: questo tipo di spostamento dell’energia acustica è detto appunto “propagazione sferica”.

Il percorso dei raggi sonori può avvenire, oltre che per onde sferiche, anche per onde cilindriche, quando, in acque poco profonde, esso subisce l’effetto riflettente del fondo e della superficie del mare. Se il suono, che lascia la sorgente con onde sferiche, colpendo il fondo e la superficie, viene riflesso, si formano onde che contribuiscono a rinforzare quelle che proseguono il cammino orizzontalmente e che sviluppano onde cilindriche. In acque medio-profonde si ha una combinazione dei due modi di propagazione; nel primo tratto del percorso dalla sorgente, per circa 1000 metri, si verifica lo spostamento dell’energia acustica secondo onde sferiche, dopo si stabilisce, per effetto delle riflessioni dal fondo e dalla superficie, il modo cilindrico. A causa di questi tipi di propagazione dell’energia sonora i rumori irradiati dai bersagli o gli echi di questi, giungono al sonar attenuati diversamente, secondo i casi; maggiore attenuazione si ha con la propagazione sferica, minore con la propagazione sferico-cilindrica.

Una caratteristica fondamentale relativa allo spostamento dell’energia acustica in mare è costituita dalla sua velocità, mediamente compresa tra 1430 m/sec e 1530 m/sec.

In precedenza abbiamo visto che la conoscenza della velocità del suono in acqua consente particolari rilievi operativi; vedremo in questo capitolo quale ruolo determinante ha questo parametro nelle forme di propagazione dei raggi sonori e quali conseguenze produce sul sonar.

10.2) Le cause dell’attenuazione per propagazione.

Se l’acqua del mare fosse idealmente elastica ed omogenea le onde sonore emesse da una sorgente acustica immersa subirebbero, durante la loro pro-

pagazione, un'attenuazione della pressione di una metà per ogni raddoppiamento della distanza dalla sorgente.

Questo tipo di attenuazione è dovuto alla divergenza sferica dei raggi sonori che si allontanano dalla sorgente, così come divergono i raggi luminosi emessi da una comune lampada ad incandescenza per cui la luce percepita dall'occhio diminuisce con la distanza. Purtroppo l'acqua del mare non è né perfettamente elastica, né perfettamente omogenea e all'attenuazione dovuta alla divergenza dei raggi se ne aggiungono altre notevoli dovute a cause diverse. Una delle cause di attenuazione che più facilmente può essere prevista e quindi il suo effetto calcolato è dovuta al parziale assorbimento dell'energia acustica da parte dell'acqua che, secondo diversi processi, la converte in calore.

Mentre la riduzione della pressione per divergenza non dipende dalla frequenza dell'onda acustica, quella dovuta all'assorbimento è dipendente da essa; questa dipendenza è valutata da alcune espressioni matematiche che si diversificano in base al campo delle frequenze operative del sonar.

La diminuzione del livello acustico dovuta all'assorbimento aumenta con l'aumentare della distanza con una legge diversa da quella che governa il fenomeno della divergenza.

Per dare un'idea dell'entità delle attenuazioni che subiscono i segnali dei bersagli attivi durante la loro propagazione nell'acqua, a causa dell'azione contemporanea dei fenomeni di divergenza sferica e di assorbimento, sono riportate in Fig. 10.1 le curve dell'attenuazione in funzione della distanza dal bersaglio, che funge da sorgente acustica.

Il diagramma ha in ascisse le distanze dal bersaglio, in ordinate le ampiezze relative della pressione del segnale. Il valore massimo che compare indica un ipotetico livello relativo di pressione nelle immediate vicinanze della sorgente, a mano a mano che la distanza da essa cresce i valori relativi di pressione decrescono secondo l'andamento indicato dalle curve. Queste sono tracciate per 4 valori di frequenza diversi (1-5-10-20) KHz per mostrare con più evidenza quale ruolo gioca il fenomeno dell'assorbimento. Si osserva infatti che alla frequenza più bassa (1 KHz) l'attenuazione, a 10 Km di distanza, è molto inferiore a quella che si riscontra alla frequenza più alta (20KHz), perché il fenomeno dell'assorbimento è molto più marcato alle alte frequenze. Le curve mostrano che le attenuazioni dei segnali, a qualche chilometro di distanza dal bersaglio, sono già molto elevate e ciò spiega le difficoltà che incontra il sonar a localizzare i bersagli lontani. Alla distanza di 5000 m, ad esempio, la pressione sonora

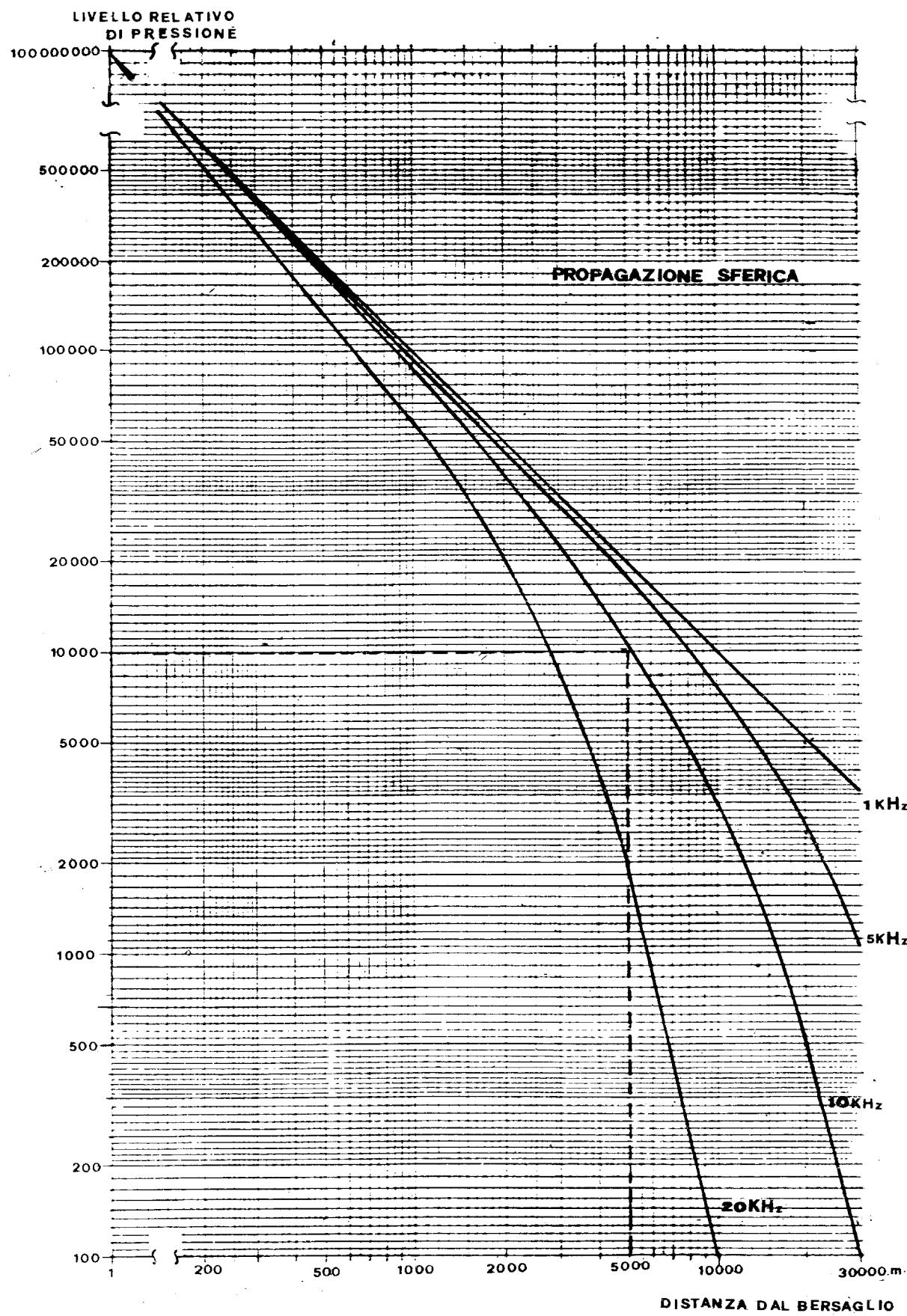


fig. 10.1 Diagramma di attenuazione dei rumori emessi dai bersagli nel caso di propagazione sferica.

emessa alla frequenza di 10 KHz risulta attenuata di ben 10000 volte. In figura 10.1 si vede infatti che alla distanza di 1 metro dal bersaglio il livello relativo della pressione è 100.000.000 mentre a 5000 m esso scende a 10000 attenuandosi di quanto detto.

Una situazione migliore si verifica quando la propagazione è sferico-cilindrica, in questo caso l'attenuazione per divergenza sferica incide pesantemente sul segnale per i primi mille metri, dopo di che la divergenza diventa cilindrica e l'attenuazione è meno rilevante.

Nella Fig. 10.2 sono riportate, per un confronto diretto, le curve di attenuazione di un segnale a 5KHz, che si propaga nell'acqua secondo i due modi che abbiamo preso in esame; nelle curve è sempre compreso l'effetto dovuto al fenomeno dell'assorbimento. Alla distanza di 10000 m dal bersaglio, ad esempio, le attenuazioni del suono risultano: propagazione sferico-cil. 5000 volte propagazione sferica 12000 volte.

Per avere un'idea delle limitazioni dipendenti dal modo di propagazione, che si hanno durante la scoperta passiva, basta osservare con attenzione la figura 10.2, facendo le seguenti considerazioni: supponiamo che il segnale di un bersaglio attivo giunga al sonar tramite propagazione sferica con l'attenuazione indicata nel punto di ordinata 01, corrispondente ad una distanza di 10000 m. (ascissa A1), supponiamo altresì che il rapporto tra il segnale ricevuto e il disturbo ambiente sia il minimo indispensabile affinchè il sonar possa effettuare la scoperta, dalla figura vediamo che se la propagazione fosse sferico - cilindrica si avrebbe la stessa attenuazione del segnale (ordinata 01) con il bersaglio posto alla distanza di 24000 m (ascissa A2). In queste condizioni il rapporto tra il segnale e il disturbo resterebbe invariato e la scoperta risulterebbe sempre possibile, ma con un incremento di portata di ben 14000 m.

Le stesse leggi sulla propagazione interessano anche l'emissione degli impulsi per la localizzazione attiva e la conseguente ricezione dell'eco dai bersagli. In questo modo operativo del sonar l'attenuazione dovuta alla propagazione incide tanto nella fase di emissione dell'impulso, quanto nella fase di ritorno dell'eco. Per questa ragione i suoi effetti sono talmente sentiti che impongono al sonar l'emissione di notevoli quantità di energia per ricevere un livello di pressione dell'eco appena sufficiente a localizzare i bersagli a qualche decina di chilometri.

Nella Fig. 10.3 sono riportate le curve che mostrano l'attenuazione che subisce la pressione di un impulso emesso dal sonar, nel percorso di andata e ritorno, in funzione della distanza del bersaglio passivo.

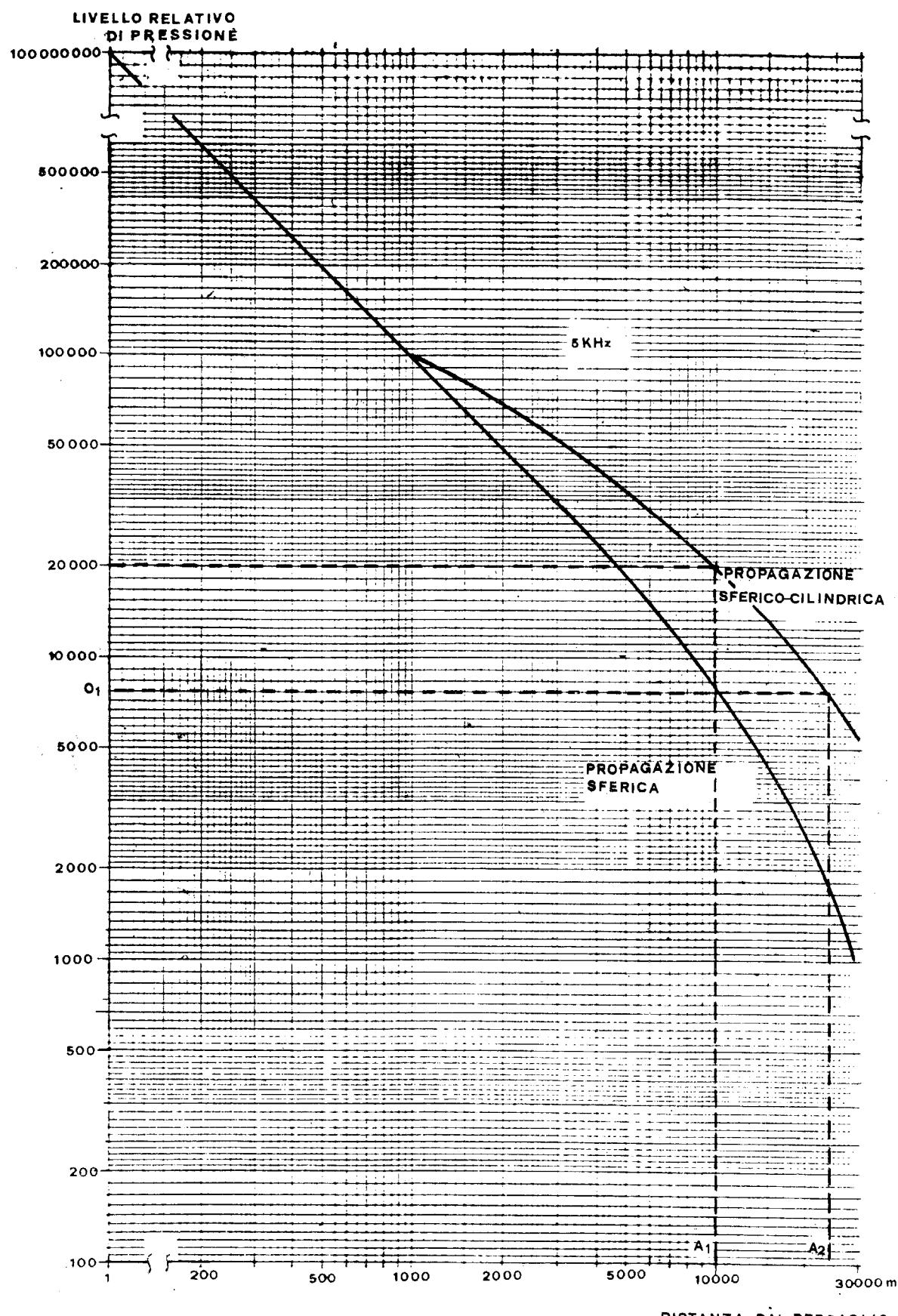


fig. 10.2 Diagrammi di attenuazione dei rumori emessi dai bersagli nel caso di propagazione sfericocilindrica e sferica.

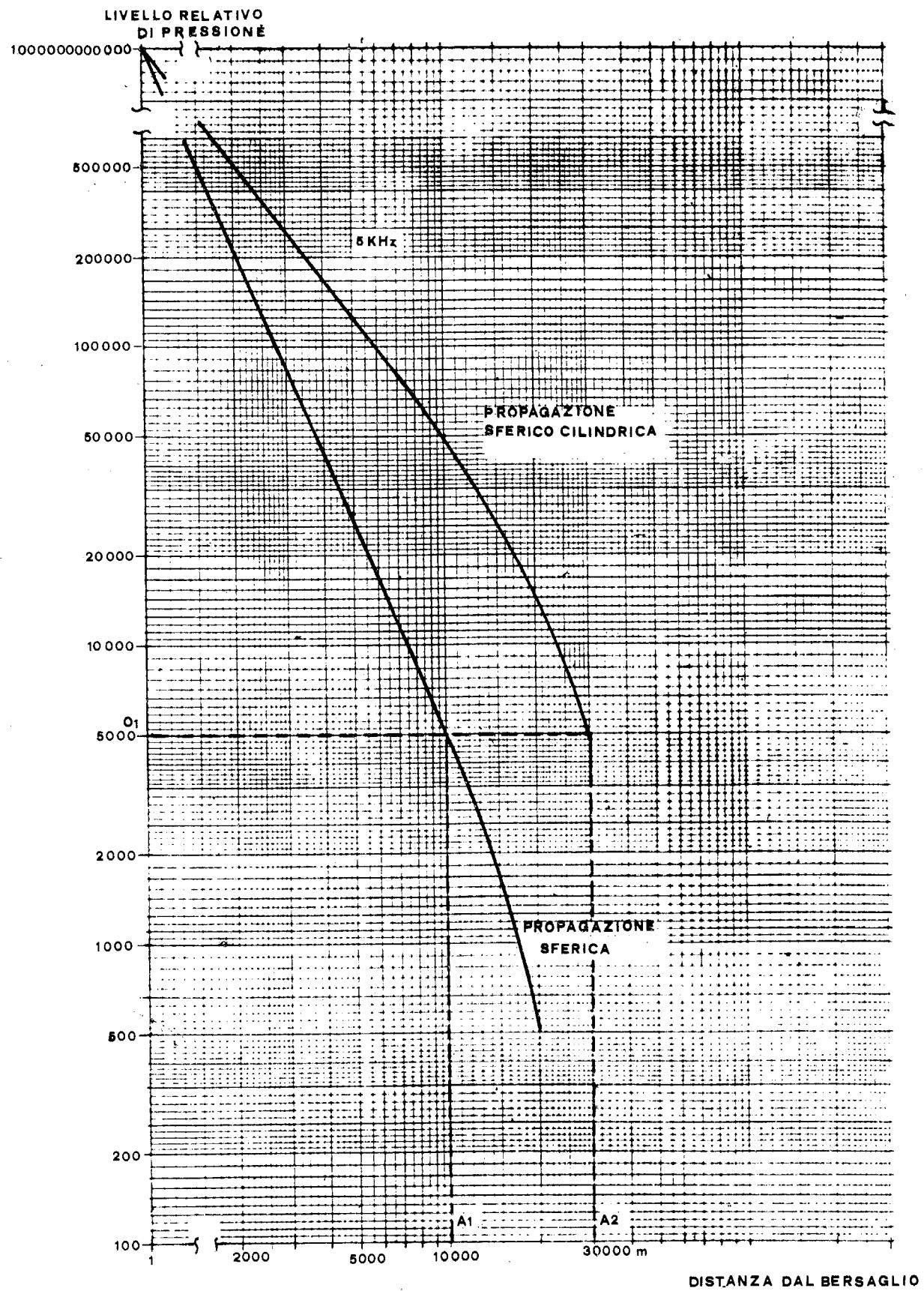


fig. 10.3 Diagrammi di attenuazione dell'impulso sonar nel percorso di andata e ritorno (eco).

Le curve sono relative ai due modi di propagazione del suono per un sonar che emette impulsi alla frequenza di 5000 Hz. Alla distanza di 10000 m dal bersaglio, nel caso di propagazione sferica l'impulso emesso dal sonar viene attenuato di 200.000.000 di volte! Dall'esame delle curve si vede che nella localizzazione attiva la differenza tra i due modi di propagazione è ancora più evidente che nella ricerca passiva a causa del doppio percorso che deve esser superato dall'impulso.

Dai grafici possiamo valutare le differenze nelle distanze di scoperta attiva che dipendono dai modi di propagazione. Consideriamo il caso dell'eco di un bersaglio che giunge al sonar tramite propagazione sferica con l'attenuazione indicata nel punto di ordinata 01 corrispondente ad una distanza di 10000 m (ascissa A1). Ipotizziamo che il rapporto tra il livello dell'eco e il disturbo ambiente sia il minimo sufficiente per la scoperta del bersaglio. Dal grafico di figura 10.3 si vede che allo stesso livello di pressione dell'eco corrisponde, nell'altro modo di propagazione, una distanza di scoperta molto più elevata. Si hanno infatti 30.000 m (ascissa A2) contro 10.000 m (ascissa A1) per la propagazione sferica.

10.3) Propagazione anomala del suono.

I modi di propagazione del suono che abbiamo esaminato nel precedente paragrafo sono detti normali, essi si verificano quando l'ambiente subacqueo presenta caratteristiche di uniformità nella velocità di spostamento del suono a tutte le profondità.

Se questo parametro non è uniforme provoca notevoli modificazioni delle traiettorie dei raggi sonori a causa del fenomeno di "rifrazione". Il fenomeno si verifica quando un raggio sonoro passa da uno strato d'acqua S1, che gli consente la velocità V1, ad uno strato S2, che gli consente la velocità V2. Se V1 è maggiore di V2 il raggio subisce un'inclinazione verso lo strato S2, se V1 è minore di V2 il raggio si inclina verso S1.

Quando, a seguito di certe cause, si verificano variazioni della velocità del suono, la propagazione non segue più i modi normali e diventa "anomala". Questo tipo di propagazione è molto frequente e crea, salvo in alcuni casi speciali, gravissimi problemi alla localizzazione subacquea. Esso si manifesta prevalentemente nel piano verticale, cioè al variare della quota.

Il fenomeno si verifica con molta facilità in quanto la velocità di propagazione del suono è subordinata a diversi fattori molto variabili: la temperatura dell'acqua, la sua salinità e la profondità alla quale avviene lo spostamento dell'energia.

Si comprende come, tra i diversi fattori, la temperatura in particolare possa essere un elemento estremamente variabile in dipendenza dalle stagioni, dalle zone e dall'alternarsi del giorno e della notte che creano diverse condizioni termiche alle varie profondità del mare. La velocità del suono aumenta se aumenta la temperatura dell'acqua, diminuisce se la temperatura diminuisce.

Accurati studi sono stati fatti durante la seconda guerra mondiale, per indagare su questo importante aspetto della fisica subacquea; essi hanno portato allo sviluppo di una teoria che consente di calcolare e tracciare le traiettorie dei raggi sonori che subiscono l'effetto della propagazione anomala.

Per fare un esempio di uno dei molteplici effetti provocati da questa propagazione vediamo i due tracciati riportati nelle Fig. 10.4/a e 10.4/b.

Nel tracciato a) si vede il sommergibile S che, in condizioni di propagazione normale, riceve le onde acustiche emesse dal bersaglio attivo B disposto ad una quota superiore; il sommergibile localizza il bersaglio nel piano verticale secondo l'angolo di sito β . Nel tracciato b) si vede che il percorso delle onde acustiche, a seguito della propagazione anomala, non segue più una traiettoria rettilinea, ma una linea curva. In questo caso il sommergibile determina l'angolo di sito β_0 della direzione di arrivo dei

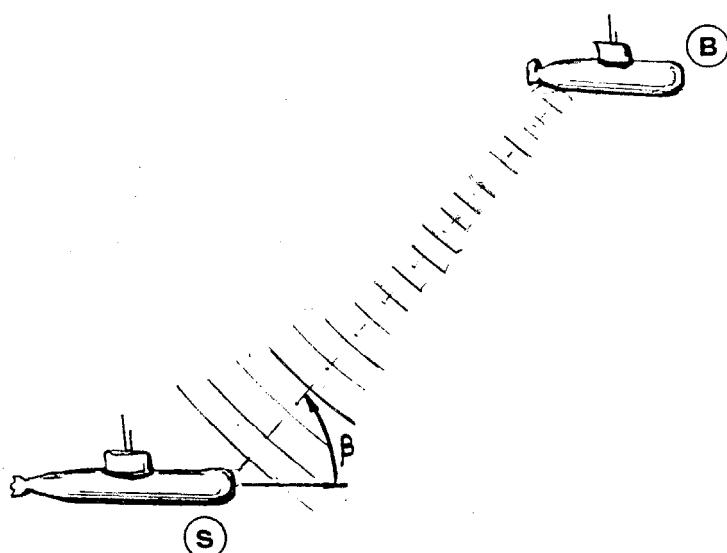


fig. 10.4/a Propagazione ideale del suono

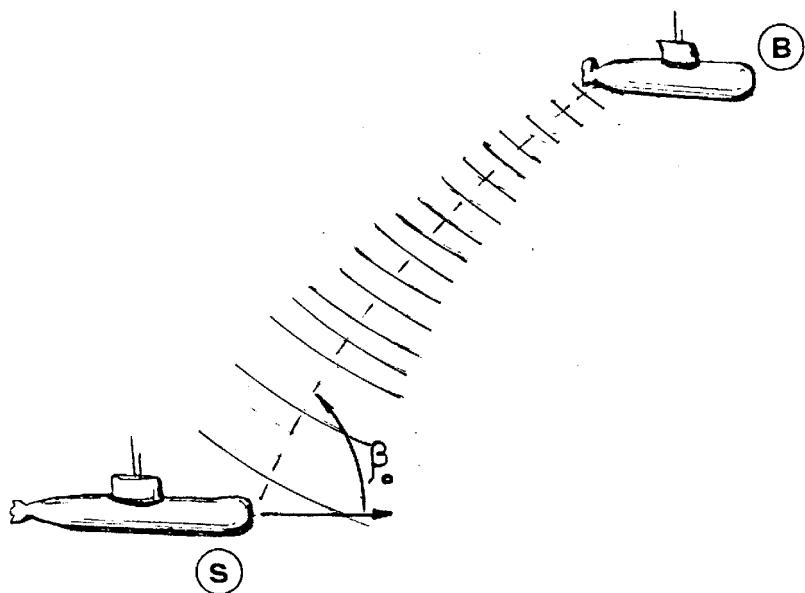


fig. 10.4/b Propagazione anomala del suono

raggi sonori, che non corrisponde a quello reale. L'inconveniente ora mostrato è uno dei più modesti che il sonar subisce a causa della propagazione anomala.

10.4) Le traiettorie dei raggi sonori.

Dalla conoscenza della velocità del suono alle diverse profondità del mare è possibile calcolare e tracciare il percorso dei raggi sonori per consentire all'operatore del sonar di conoscere quali sono, in una certa zona di mare e in un particolare momento, le possibilità operative del sistema di localizzazione.

Il calcolo delle traiettorie dei raggi sonori ed il loro tracciamento viene eseguito automaticamente da speciali apparecchiature elettroniche che ricevono, in modo opportuno, o il valore della velocità del suono o le variabili da cui essa dipende.

La velocità del suono viene misurata con appositi strumenti detti "bativelocigrafi", ai quali sono collegati speciali sensori, sistemati all'esterno del sommergibile, che consentono di effettuare la misura a diverse profondità. La velocità del suono può esser inoltre calcolata dopo aver misurato la temperatura e la salinità del mare alle diverse quote. Il rilievo della temperatura dell'acqua viene eseguito con un dispositivo chiamato "batitermo-

grafo”, al quale è collegato un sensore sistemato all'esterno dello scafo; il batitermografo consente di registrare direttamente la temperatura dell'acqua in funzione della profondità.

A questo punto ci si può chiedere in che modo varino le traiettorie dei raggi sonori quando varia la loro velocità di propagazione; una semplice dimostrazione è data in Fig. 10.5.

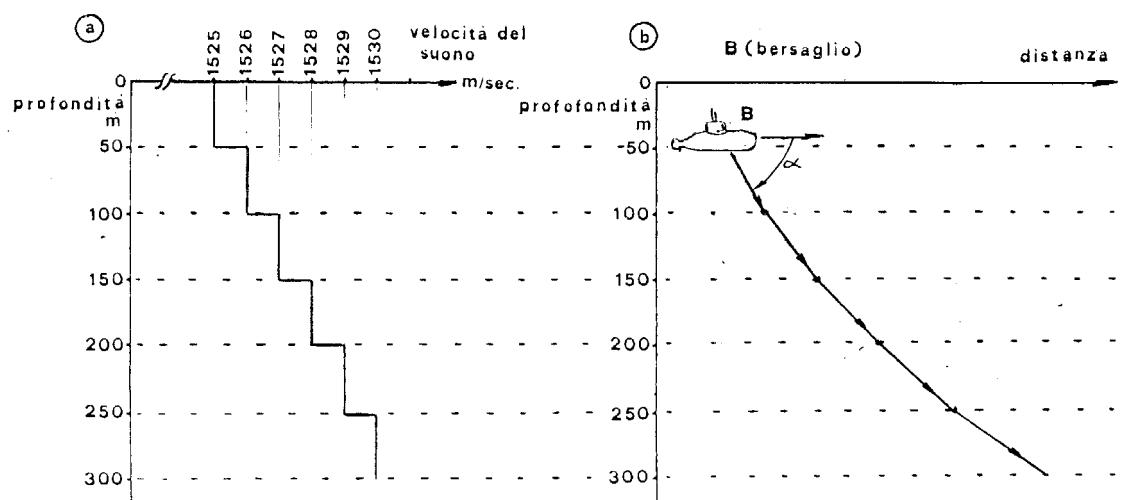


fig. 10.5 Propagazione anomala del suono - 1° modello.

Nella parte a) è riportato un ipotetico andamento della velocità del suono in funzione della profondità, nella parte b) la corrispondente variazione della traiettoria calcolata, che subisce un raggio sonoro a causa della differenza di velocità a cui è sottoposto durante il percorso.

Per chiarire il comportamento del fenomeno si suppone che la velocità del suono subisca delle variazioni discontinue (a scalini) figura 10.5/a, passando da 1525 m/sec a quota 0, a 1530 m/sec a quota 250 m con un incremento costante di velocità di 1 m/sec ogni 50 m di profondità. Consideriamo il bersaglio attivo, posto a 50 m di profondità, di figura 10.5/b. Esso irradia il suo rumore secondo infiniti raggi sonori che si staccano per propagarsi in tutte le direzioni; esaminiamo ora il comportamento di uno di questi, il cui tracciato è mostrato in figura 10.5/b.

Il raggio lascia il bersaglio con un'angolazione α che resta costante nel

tratto di mare che va da 50 a 100 m dato che in esso la velocità del suono è costante (1526 m/sec). Quando il raggio entra nella fascia di mare che va da 100 a 150 m la velocità di propagazione aumenta (1527 m/sec) ed esso subisce una modificazione della sua inclinazione verso l'alto; in questo tratto l'angolo α subisce una prima riduzione di valore. Successivamente, nel passare nella zona tra 150 e 200 m, il raggio assume un nuovo valore della velocità, superiore al precedente, diventando 1528 m/sec e subisce un'ulteriore inclinazione verso l'alto e il valore di α decresce ancora. Il fenomeno si ripete per gli strati successivi, in cui la velocità assume valori sempre maggiori (1529 e 1530 m/sec) e l'inclinazione del raggio si sposta ancora sensibilmente verso l'alto.

Dall'esempio fatto si può concludere che il percorso del raggio sonoro è una spezzata, perché la variazione della velocità di propagazione è a scalini: se questa fosse continua, come nei casi pratici, la traiettoria sarebbe una curva. Inoltre tutti i raggi sonori emessi dal bersaglio attivo subiscono l'effetto indicato per il singolo raggio, con la conseguenza che tutta l'energia acustica emessa segue una modifica di traiettoria nel senso indicato dall'esempio. Se la legge di variazione della velocità di spostamento cambia, subiscono un corrispondente cambiamento anche le traiettorie dei raggi come è indicato in Fig. 10.6.

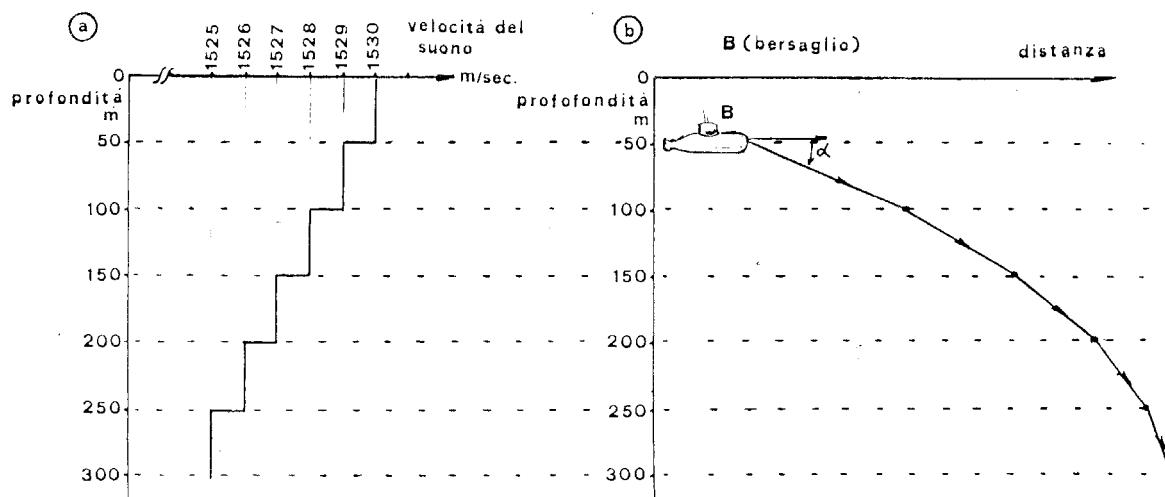


fig. 10.6 Propagazione anomala del suono - 2^o modello.

La nuova figura mostra che la velocità di propagazione varia in modo diverso rispetto all'esempio precedente; essa è 1530 m/sec a quota 0 e decrese fino a 1525 m/sec. a quota 250 m. Il raggio sonoro, dopo aver percorso con l'inclinazione α lo strato da 50 a 100 m alla velocità di 1529 m/sec, entra nello strato adiacente dove la velocità di spostamento diviene 1528 m/sec e per conseguenza subisce una variazione dell'inclinazione verso il basso. Dato che le velocità assunte dal raggio negli strati successivi sono decrescenti, la sua inclinazione si sposta sempre più verso il basso, dando luogo alla spezzata tracciata in figura 10.6.

Se il bersaglio è posizionato a quote più profonde le traiettorie dei raggi sonori indicate nelle figure precedenti assumono un aspetto diverso. Il primo caso si presenta quando la velocità del suono è crescente con la profondità: facendo riferimento alla Fig. 10.5/c, in cui il bersaglio è posto a 150 m, esaminiamo il comportamento di due raggi sonori irradiati uno verso il fondo e l'altro verso la superficie. Il raggio diretto verso il fondo si trova nelle stesse condizioni già viste in figura 10.5/b (velocità del suono crescente lungo il percorso) e la sua traiettoria è uguale a quella della figura citata. Il raggio diretto verso la superficie assume invece, lungo il percorso, velocità del suono decrescenti che incrementano l'angolo α e danno luogo ad una traiettoria che si allontana dall'asse del battello.

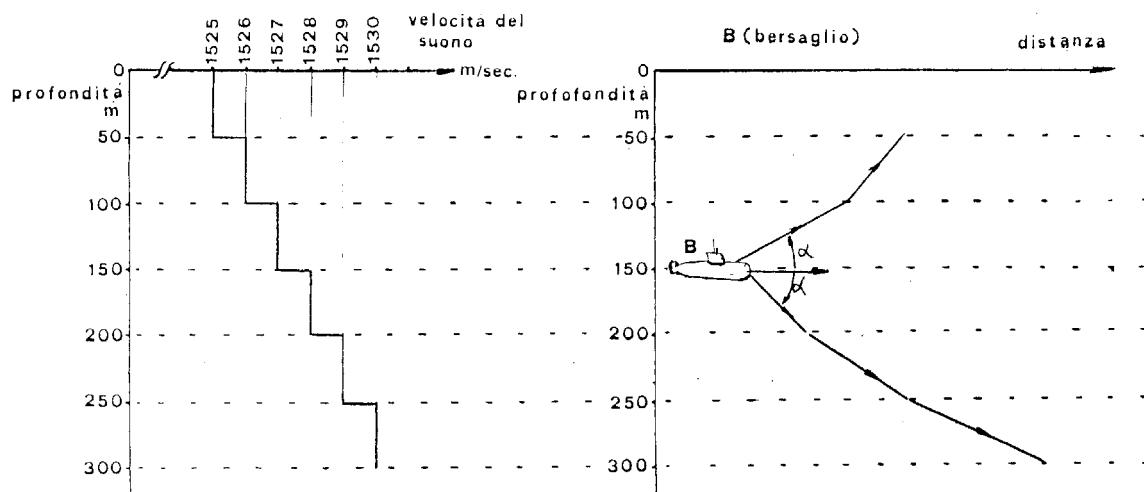


fig. 10.5/c Propagazione anomala del suono - 3° modello.

Il secondo caso si presenta quando la velocità del suono è decrescente con la profondità: nella Fig. 10.6/c il bersaglio è posto a 150 m, il raggio irradiato verso il fondo segue la stessa traiettoria indicata nell'esempio di figura 10.6/b (velocità del suono decrescente lungo il percorso), mentre il raggio diretto verso la superficie, assumendo velocità crescenti, subisce un decremento dell'angolo α dando luogo ad una traiettoria che si avvicina all'asse del battello.

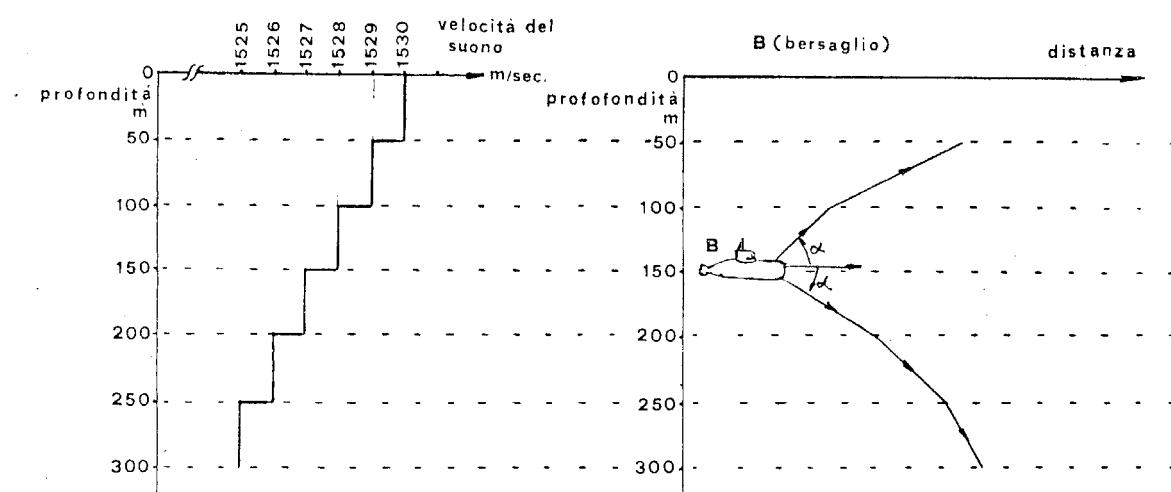


fig. 10.6/c Propagazione anomala del suono - 4° modello

10.5) Esempi caratteristici della propagazione anomala.

E' molto interessante indagare sul comportamento della propagazione anomala per vedere quali sono le effettive limitazioni che essa impone al sonar. Prima di passare in esame i casi più significativi è necessario fare un'ulteriore precisazione sull'andamento della velocità del suono in funzione della temperatura presente alle diverse profondità.

Le cause, che producono le variazioni di velocità di propagazione del suono nell'acqua, sono tali da fare assumere alla velocità stessa valori tanto crescenti che decrescenti alle diverse profondità. La temperatura dell'acqua infatti può essere variamente distribuita, a volte presenta valori superiori alle quote basse rispetto a quelle alte o viceversa, oppure aumenta e poi diminuisce diverse volte a quote successive. Per tale ragione i dia-

grammi indicativi della variazione della velocità, in funzione della quota, sono a "più valori". In altre parole accade sovente che la stessa velocità del suono si riscontri a profondità diverse così come è mostrato in Fig. 10.7.

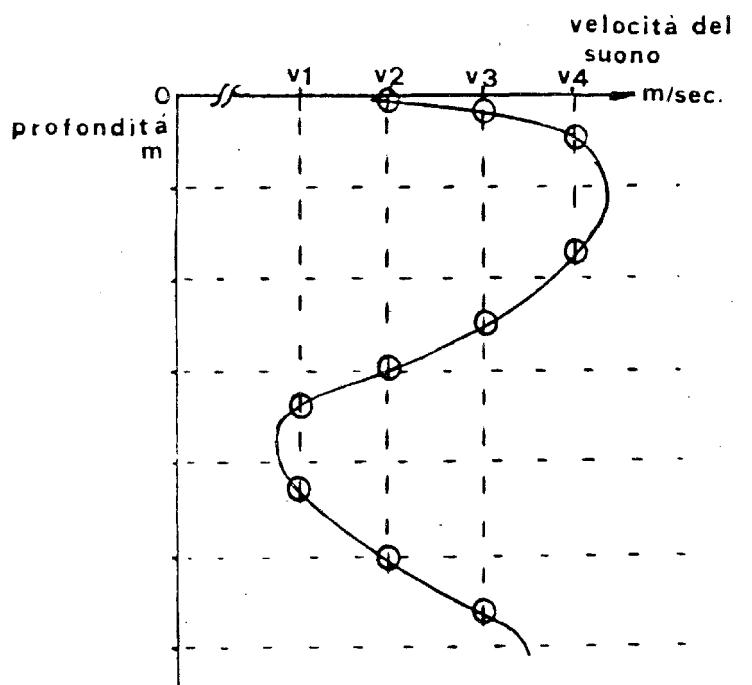


fig. 10.7 Variazione della velocità del suono a "più valori".

La curva mette in evidenza che le velocità V_1 , V_4 si verificano a due valori di profondità diversi, mentre le velocità V_2 , V_3 si manifestano a tre valori di profondità.

In seguito a queste particolari leggi di variabilità delle velocità del suono si possono calcolare i caratteristici comportamenti dei raggi sonori che ora mostriremo.

Il primo caso che esaminiamo si può verificare quando la velocità di propagazione del suono varia crescendo dalla superficie del mare ad una certa profondità, per poi decrescere da quella quota verso il fondo (vedi Fig. 10.8/a). In tali condizioni si origina, secondo la teoria del tracciamento dei raggi, la propagazione indicata in Fig. 10.8/b).

In essa si osserva che i raggi sonori emessi da un bersaglio attivo B, stazionario a quota non profonda, sono deviati in modo tale che l'energia acustica non prosegue il suo percorso oltre i due raggi limiti a_1 e a_2 . Il sommersibile S, che si trova nella zona tratteggiata, anche se vicino al bersaglio, apparentemente non può localizzarlo con il sonar.

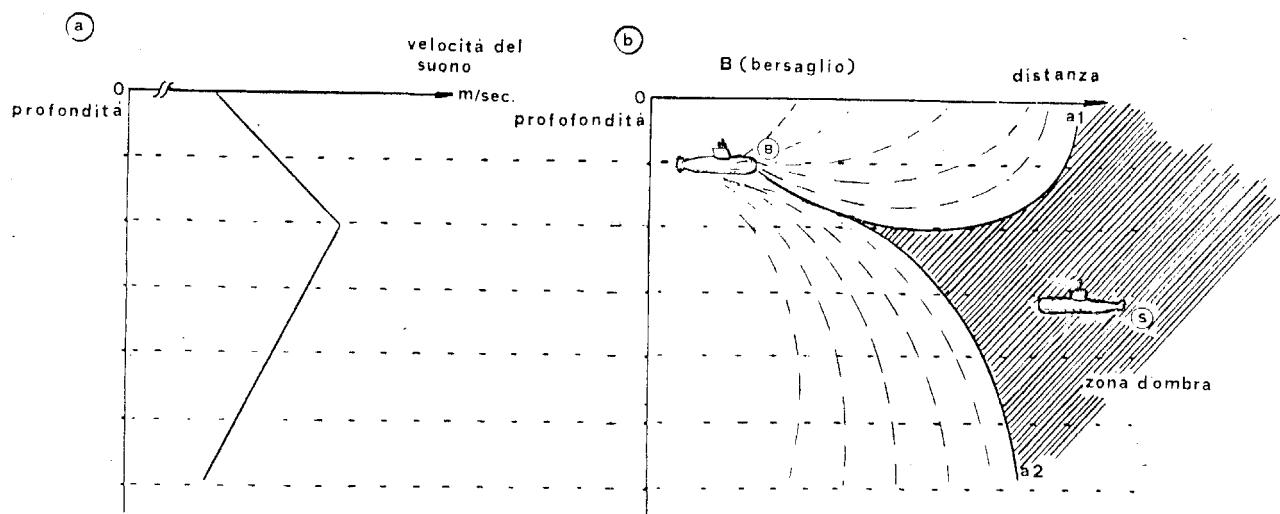


fig. 10.8 Propagazione anomala del suono - 5° modello.

Nella vasta zona “d’ombra” il livello della pressione acustica irradiata dal bersaglio non è mai praticamente nullo, anche se il calcolo delle traiettorie dei raggi indica il contrario, perché una piccola quantità di energia valica, in realtà, i due raggi limiti. L’attenuazione del rumore del bersaglio è comunque tanto elevata che in simili condizioni il sonar del sommersibile non può scoprirllo se non a distanze di pochi chilometri.

Se adattiamo il disegno di figura 10.8/b al caso della localizzazione attiva si può pensare il sommersibile posto in alto a sinistra e il bersaglio situato nella zona d’ombra. In questa ipotesi i raggi tracciati nel disegno rappresentano le traiettorie degli impulsi emessi dal trasmettitore del sonar, che sono contenuti entro i due raggi limiti. Una piccola parte dell’energia emessa dal sonar, nei casi pratici, supera i limiti e invade la zona d’ombra, consentendo la localizzazione attiva del bersaglio, ma con elevatissime riduzioni delle portate di scoperta, che non si adattano alla filosofia operativa di un sommersibile.

Un secondo caso di propagazione anomala è dovuto all’effetto combinato della variazione della velocità del suono, con il manifestarsi della riflessione delle onde acustiche causate dal fondo marino.

Anche in questa particolare condizione si ha la formazione di una zona d’ombra che ostacola la localizzazione sonar.

Il fenomeno si verifica quando la velocità del suono cresce dalla superficie del mare fino a quote più profonde come è mostrato in Fig. 10.9/a. Con un tale andamento della velocità del suono si origina, secondo il calcolo del tracciamento dei raggi, la loro deviazione verso la superficie, rinforzata da quella parte dei raggi che vengono riflessi dal fondo (vedi Fig. 10.9/b).

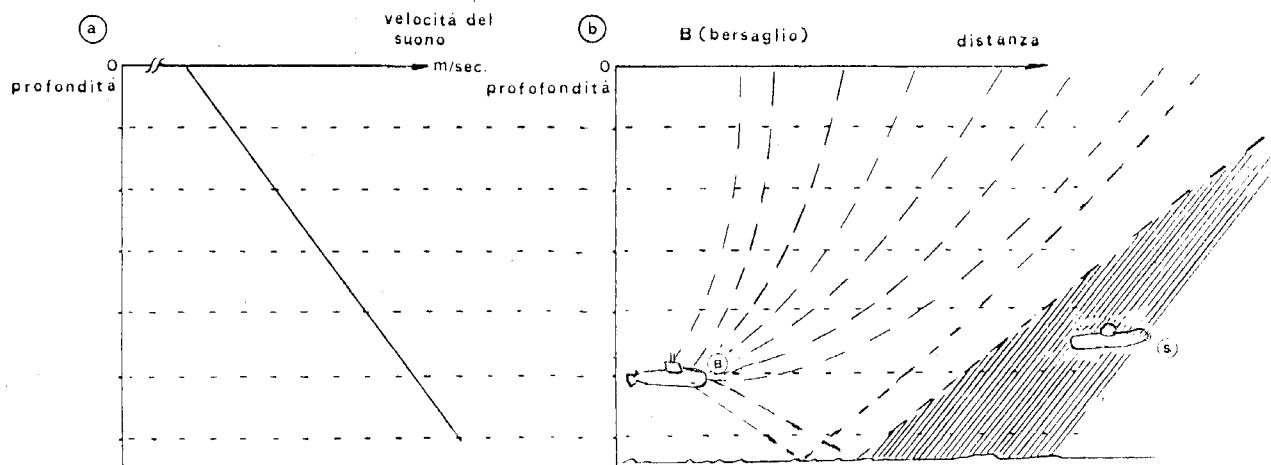


fig. 10.9 Propagazione anomala del suono - 6^o modello.

Nella figura si nota che una parte dei raggi sonori emessi dal bersaglio attivo B, che staziona a quota profonda, sono deviati verso la superficie. Quella parte di essi, emessa verso il basso, colpisce il fondo che la riflette in alto creando, nella parte destra del tracciato, una parziale zona d'ombra. Il sommersibile S che si trova in quella zona può scoprire il bersaglio soltanto se la distanza che lo separa da esso è di pochi chilometri. La scoperta può essere effettuata a distanze più elevate se il sommersibile S si sposta verso quote meno profonde.

Il caso che abbiamo esaminato si adatta anche alla localizzazione attiva se si pensa di invertire, nella figura 10.9/b, la posizione del bersaglio con quella del sommersibile. In tale ipotesi infatti i raggi sonori tracciati rappresentano la traiettoria degli impulsi emessi dal sonar. Soltanto una piccola parte di energia acustica impulsiva, che riesce a penetrare nella zona d'ombra, consente al sonar la scoperta del bersaglio. Le distanze di sco-

perta risultano di gran lunga inferiori a quelle ottenibili in assenza di questa anomalia di propagazione. Soltanto con un cambiamento di quota, verso l'alto, il sommergibile potrebbe realizzare una scoperta attiva a distanza di ragionevole sicurezza.

Si ha un terzo caso di propagazione con zona d'ombra, quando l'anomalia della curvatura dei raggi sonori si combina con il loro effetto di riflessione sulla superficie del mare.

Questo nuovo aspetto delle traiettorie dei raggi si verifica quando la variazione della velocità del suono decresce dalla superficie del mare verso il fondo, così come è indicato nella Fig. 10.10/a. Dal calcolo eseguito per il tracciamento dei raggi sonori si vede che essi subiscono una deviazione verso il fondo rinforzata da quella parte di essi che sono riflessi dalla superficie (vedi Fig. 10.10/b).

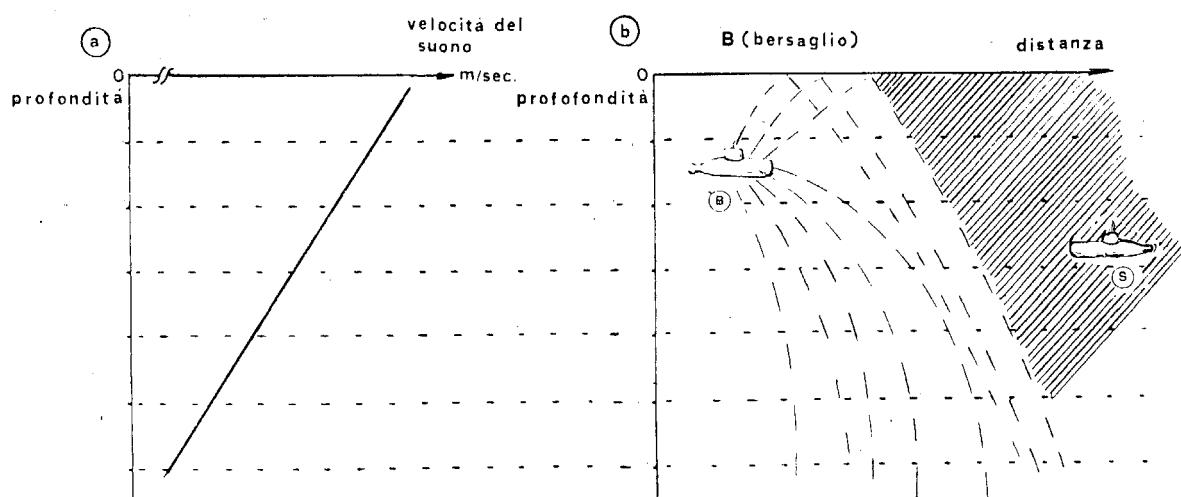


fig. 10.10 Propagazione anomala del suono - 7° modello.

La figura mostra che i raggi sonori emessi da un bersaglio attivo B, che è posizionato a quota non profonda, sono deviati verso il fondo. Quella parte dei raggi che sono irradiati sulla superficie vengono riflessi da questa sempre verso il fondo, dando luogo ad una zona d'ombra nella parte destra del tracciato. Questa situazione è ben più limitativa per il sonar di quella precedente, perché si viene a formare una sorta di barriera schermante dal

fondo alla superficie. Per tale ragione la capacità di scoperta del sonar del sommersibile S si riduce a pochi chilometri e tale rimane anche se il mezzo varia la sua quota.

Similmente ai casi precedenti anche questo studio sul tracciamento dei raggi sonori si presta per le previsioni di portata sonar della componente attiva. Con una propagazione di questo tipo la scoperta attiva si riduce a distanze praticamente inutilizzabili per un sommersibile.

Gli esempi che abbiamo esaminato ci hanno dato un'idea realistica delle difficili condizioni in cui può venirsi a trovare un sommersibile che deve effettuare le operazioni di localizzazione subacquea.

La propagazione anomala è una caratteristica che si verifica prevalentemente nelle stagioni calde o in particolari zone di mare.

Nelle stagioni fredde invece, dato che la temperatura dell'acqua è più uniforme alle diverse quote, si ha una minor variabilità della velocità di spostamento delle onde acustiche con la profondità e le traiettorie dei raggi si avvicinano di più alla propagazione normale.

Nell'introdurre nel paragrafo 10.3 i primi elementi sulla propagazione anomala, è stato detto che in alcuni casi essa può essere favorevole al funzionamento del sonar. Infatti si possono verificare, in condizioni particolari di variazione della velocità del suono con la quota, dei fenomeni che consentono la propagazione del suono a distanze che a volte raggiungono le centinaia di chilometri.

Uno di questi fenomeni, detto di "canalizzazione", si origina quando la velocità del suono varia in funzione della profondità, come indicato nella Fig. 10.11/a.

Dalla figura si vede che la velocità è costante nella prima fascia di mare, inizia a decrescere rapidamente da una certa quota in poi, per cambiare tendenza e crescere dalla quota X verso il fondo dove riprende ancora ad essere costante.

Con questo tipo di variazione della velocità si ha la formazione di traiettorie ondulate dei raggi dovute all'inversione di tendenza indicata nel punto X. Infatti sopra tale punto i raggi subiscono una curvatura verso il basso, mentre sotto di esso la subiscono verso l'alto.

In tali condizioni di variabilità della velocità di spostamento delle onde acustiche il calcolo delle traiettorie denuncia una propagazione dei raggi secondo percorsi ondulati, che si allontanano dal bersaglio senza creare zone d'ombra davanti ad esso (vedi Fig. 10.11/b).

Nella figura si vede il bersaglio attivo B posto alla quota X; esso irradia il

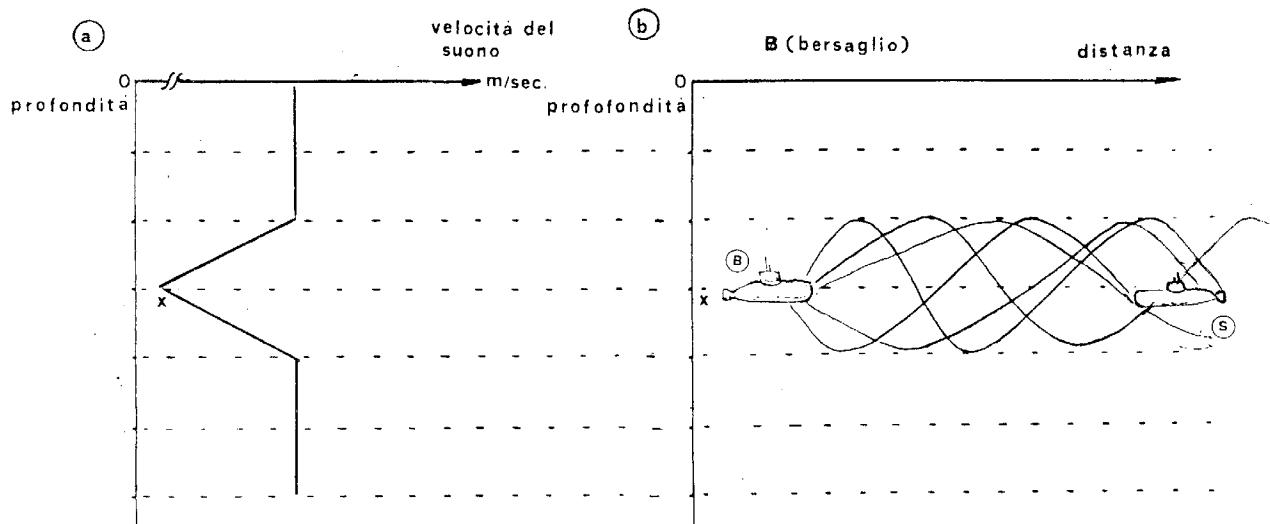


fig. 10.11 Propagazione anomala del suono - 8° modello

suo rumore lungo traiettorie che sono contenute entro una fascia di mare abbastanza limitata da essere definita un “canale” di propagazione. Il sommersibile S, che si trova all’interno del canale, può localizzare il bersaglio a distanze impensabili anche quando la propagazione è normale. Naturalmente se il sommersibile è fuori del canale ha poche probabilità di scoprire il bersaglio, dato che la maggior quantità di energia acustica che esso emette è canalizzata. Questo tipo di propagazione si adatta ottimamente anche alla scoperta attiva.

Un altro tipo di propagazione anomala che consente, a volte, di localizzare un bersaglio a grande distanza è quella detta a “festoni”. Essa prende tale nome dall’aspetto dei raggi sonori che nei grafici sembrano “attaccati alla superficie del mare” come un drappeggio.

La propagazione a festoni si verifica per la concomitanza di due cause: una particolare variazione della velocità del suono con la quota e la riflessione delle onde acustiche da parte della superficie del mare.

I raggi sonori che si allontanano dal bersaglio possono giungere a grandi distanze soltanto se la superficie del mare consente una riflessione con poca attenuazione, cosa che avviene soltanto quando essa non è molto increspata dalle onde.

La legge di variazione della velocità del suono, che origina il fenomeno, è

riportata nel grafico di Fig. 10.12/a in funzione della profondità. Nella prima fascia di mare la velocità cresce con la profondità fino alla quota Q_0 , dopo di che decresce fino al fondo. In una situazione di questo tipo, in base ai calcoli, si verifica la propagazione indicata in Fig. 10.12/b.

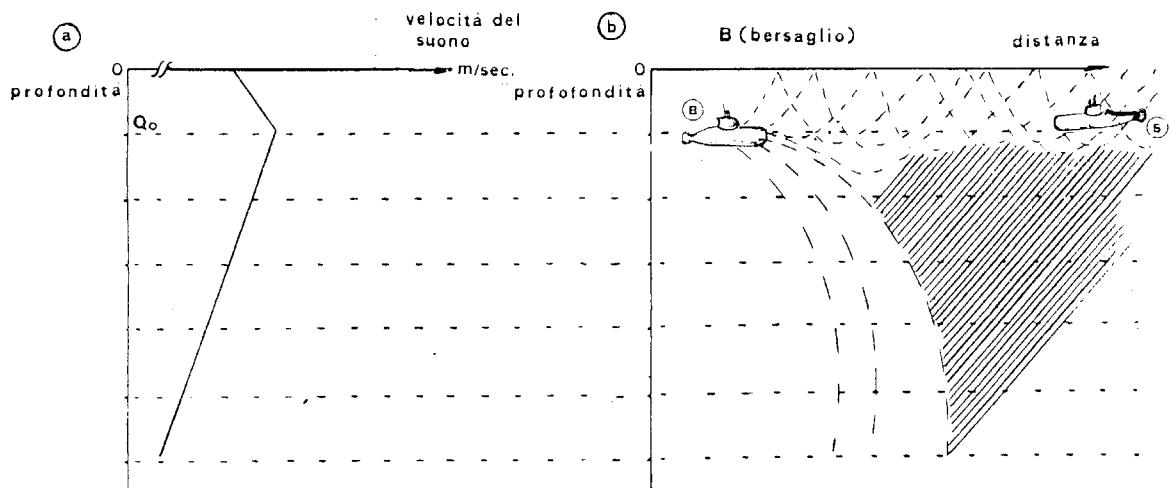


fig. 10.12 Propagazione anomala del suono - 9° modello

Dalla figura si osserva che i raggi sonori emessi dal bersaglio attivo B, che staziona a quota non profonda, sono deviati verso la superficie e da questa riflessi indietro per poi essere nuovamente deviati contro di essa a seguito della caratteristica di variazione della loro velocità con la quota.

Se i raggi riflessi sono poco attenuati proseguono il loro cammino a festoni fino a raggiungere distanze molto elevate.

Le onde acustiche irradiate dal bersaglio verso il basso subiscono l'effetto della velocità prima crescente e poi decrescente e si piegano in direzione del fondo, dando luogo ad una zona d'ombra che si estende sotto il canale entro il quale si ha il percorso dei raggi. Il bersaglio B può quindi essere scoperto dal sommersibile S se esso naviga dentro lo strato d'acqua in cui sono concentrati i raggi sonori.

La scoperta diventa invece molto difficile se il sommersibile si trova nella zona d'ombra.

I tracciati a festoni possono rappresentare anche le traiettorie degli impulsi

emessi da un sonar installato su di un sommersibile che, nella figura 10.12/b, prende il posto del bersaglio. In tali condizioni la scoperta attiva, se il bersaglio è dentro lo strato a festoni, consente portate di scoperte eccezionali.

Concludiamo la rassegna dei modi di propagazione anomali che consentono la localizzazione a grande distanza, illustrando quella per "convergenza". Essa si verifica soltanto in acque molto profonde e in condizioni particolari di variabilità della velocità del suono con la quota, che si presentano come mostrato in Fig. 10.13/a.

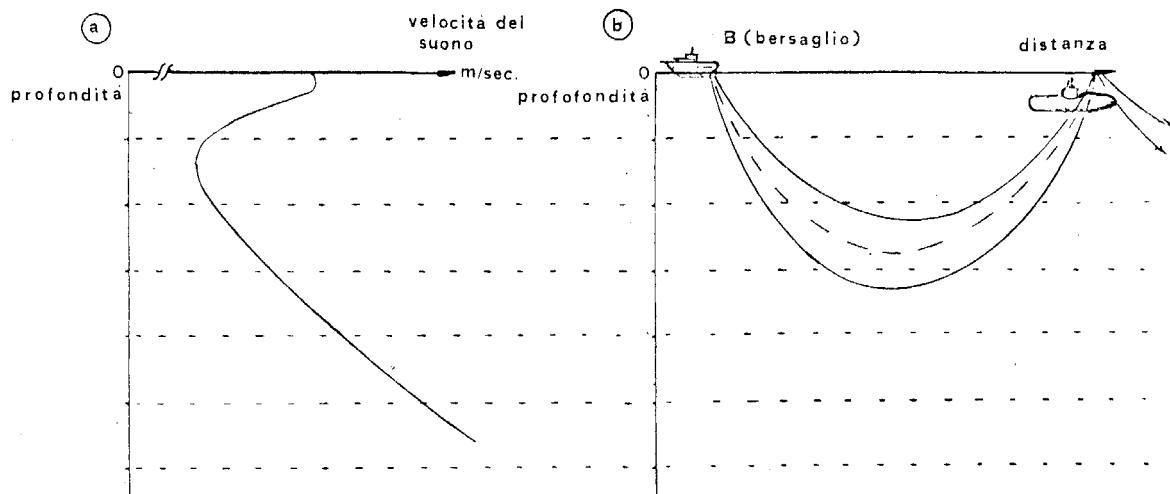


fig. 10.13 Propagazione anomala del suono - 10° modello.

La conseguenza di questo andamento della velocità fa sì che i raggi sonori, emessi secondo una certa inclinazione dal bersaglio, in questo caso una nave in superficie, vengano deviati verso il fondo lungo ampi archi che volgono la loro concavità verso l'alto.

Quando i raggi hanno raggiunto una certa quota, molto profonda, iniziano a salire secondo delle traiettorie simmetriche rispetto alle precedenti, per convergere in superficie in un punto molto lontano dal bersaglio (vedi Fig. 10.13/b).

Questo fenomeno si ripete diverse volte, dato che la superficie del mare irradiata dalla prima convergenza dei raggi diventa a sua volta "sorgente acustica". Essa riflette parte dell'energia ricevuta che si propaga con la stessa

legge, per convergere una seconda volta a distanza ancora superiore e così via, fino all'esaurimento dell'energia per attenuazione o per cambiamento del tipo di propagazione.

Nella figura è indicato il sommergibile S, navigante a quota poco profonda, che localizza il bersaglio di superficie sfruttando la propagazione per convergenza.

10.6) La propagazione per riflessione sul fondo.

Un caratteristico tipo di propagazione che è usato dai sonar moderni è quello che sfrutta le riflessioni dal fondo marino.

Alcuni raggi sonori, emessi dal bersaglio secondo particolari inclinazioni, possono raggiungere il fondo seguendo traiettorie praticamente rettilinee. Se il fondo ha le caratteristiche adatte i raggi vengono riflessi senza subire notevoli attenuazioni e si propagano sempre secondo delle rette come è mostrato in Fig. 10.14.

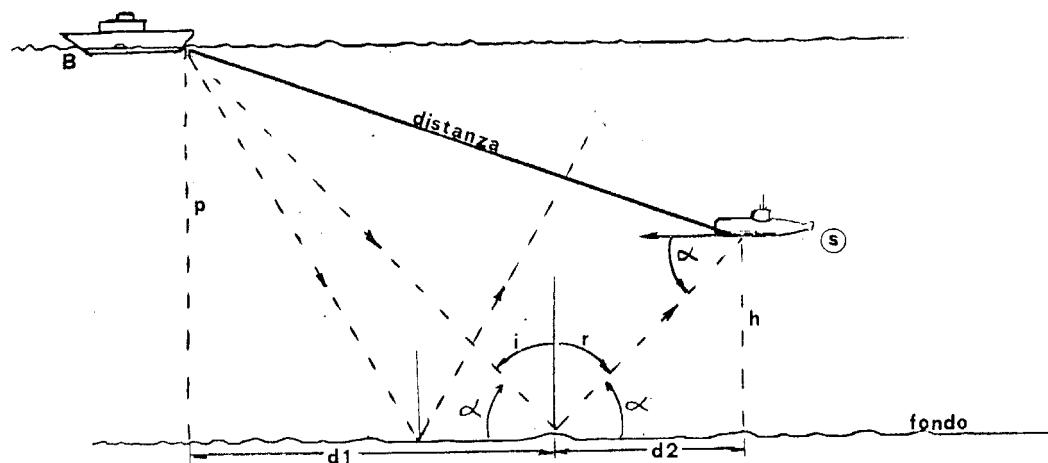


Fig. 10.14 Propagazione del suono - riflessione dal fondo.

Nella figura è indicato il bersaglio B, in questo caso una nave in superficie, in cui sono evidenziati soltanto quei raggi sonori che, avendo particolare inclinazione, raggiungono il fondo.

Il sommersibile S può scoprire il bersaglio con il sonar se questo è dotato di speciali basi idrofoniche, sferiche o semisferiche, sistemate nella parte inferiore dello scafo, verso prua. Soltanto con questo particolare accorgimento tecnico è possibile sfruttare in modo ottimale la propagazione per riflessione dal fondo. Essa consente, oltre che buone portate di scoperta, anche la possibilità di valutare semplicemente la distanza del bersaglio. Infatti se il sonar misura l'angolo X , formato dalla direzione di provenienza del raggio rispetto all'asse del battello, conoscendo la profondità p dell'acqua in quella zona e la propria altezza h dal fondo, si può calcolare con facilità la distanza della nave, dato che la geometria della situazione è governata dalla legge per la quale l'angolo di riflessione r di un raggio è uguale a quello di incidenza i . Se la distanza è superiore a 1000 m questa è data con buona approssimazione dalla somma dei due segmenti d_1 e d_2 che possono essere determinati rapidamente mediante l'uso di tabelle, conoscendo l'angolo X , la profondità p e l'altezza h del sommersibile dal fondo.

Con un calcolo poco più elaborato è possibile determinare con precisione la distanza anche se questa è inferiore a 1000 m.

Il modo di propagazione per riflessione dal fondo si presta bene anche per la localizzazione dei bersagli passivi.

Il sonar che effettua questa ricerca deve essere attrezzato con basi di emettitori sferiche o semisferiche opportunamente disposte sotto lo scafo del battello per indirizzare gli impulsi acustici verso il fondo. La trasmissione degli impulsi avviene con un fascio direttivo ad inclinazione variabile che origina diverse traiettorie: a, b, c, ecc, come mostrato in Fig. 10.15.

Con tale sistema, variando l'angolo di inclinazione X del fascio, si possono esplorare, successivamente, ampi tratti di mare a grande distanza per la scoperta dei bersagli con il metodo dell'eco.

Naturalmente questo tipo di propagazione impone che nella misura della distanza del bersaglio, in base al tempo di percorrenza dell'impulso (vedi paragrafo 5.3), venga tenuto conto dell'altezza del sommersibile dal fondo e dell'inclinazione del fascio di emissione dai quali dipende il maggior tratto di percorrenza rispetto ad una traiettoria rettilinea bersaglio-sommersibile.

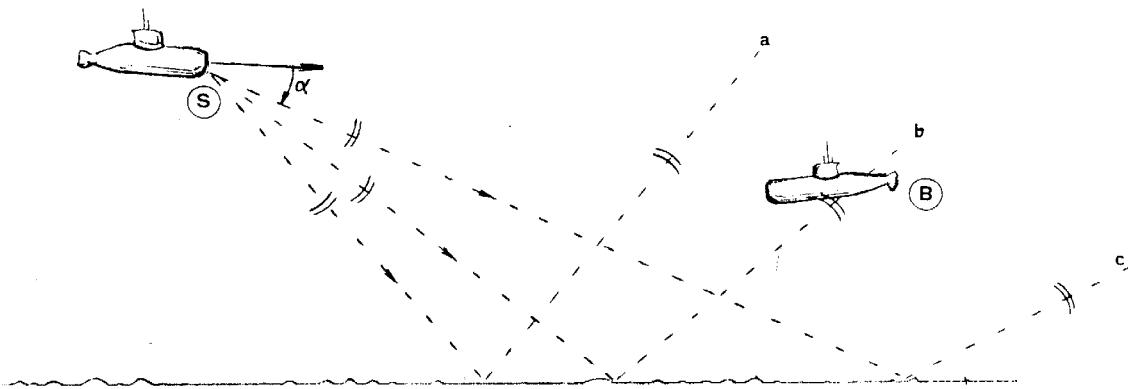


fig. 10.15 Scoperta bersaglio per riflessione sul fondo.

10.7) Sui modi di propagazione in generale.

Per chiarire ulteriormente i concetti relativi ai modi di propagazione che consentono la scoperta a grande distanza, nella Fig. 10.16 è riportato un disegno in cui sono mostrate contemporaneamente diverse traiettorie caratteristiche dei raggi sonori emessi da due bersagli attivi posti a quote diverse in una zona molto profonda.

I raggi che interessano i bersagli possono effettivamente seguire, nello stesso tempo, più di un modo di propagazione, come è indicato nella figura per il bersaglio B1, purché si verifichino le condizioni adatte di varianabilità della velocità del suono in funzione della quota. Le onde acustiche irradiate dai bersagli sono emesse secondo una vasta gamma di direzioni e pertanto subiscono l'effetto della propagazione anomala in modo diverso in dipendenza dall'inclinazione di partenza e dallo strato in cui si trovano. Il bersaglio B2 è invece in una fascia di canalizzazione e tutti i raggi sonori che esso emette vengono convogliati entro tale fascia: in tali condizioni il modo di propagazione che si genera è unico.

Da quanto detto si deduce che, se un sommergibile deve fare azione di scoperta con il sonar in acque molto profonde, deve operare diverse variazioni di quota alla ricerca del canale di propagazione che gli consente il mi-

glior "contatto" con il bersaglio. La quota ottimale viene suggerita dall'elaboratore elettronico, che effettua il calcolo e il tracciamento dei raggi sonori, mettendo in evidenza la situazione contingente.

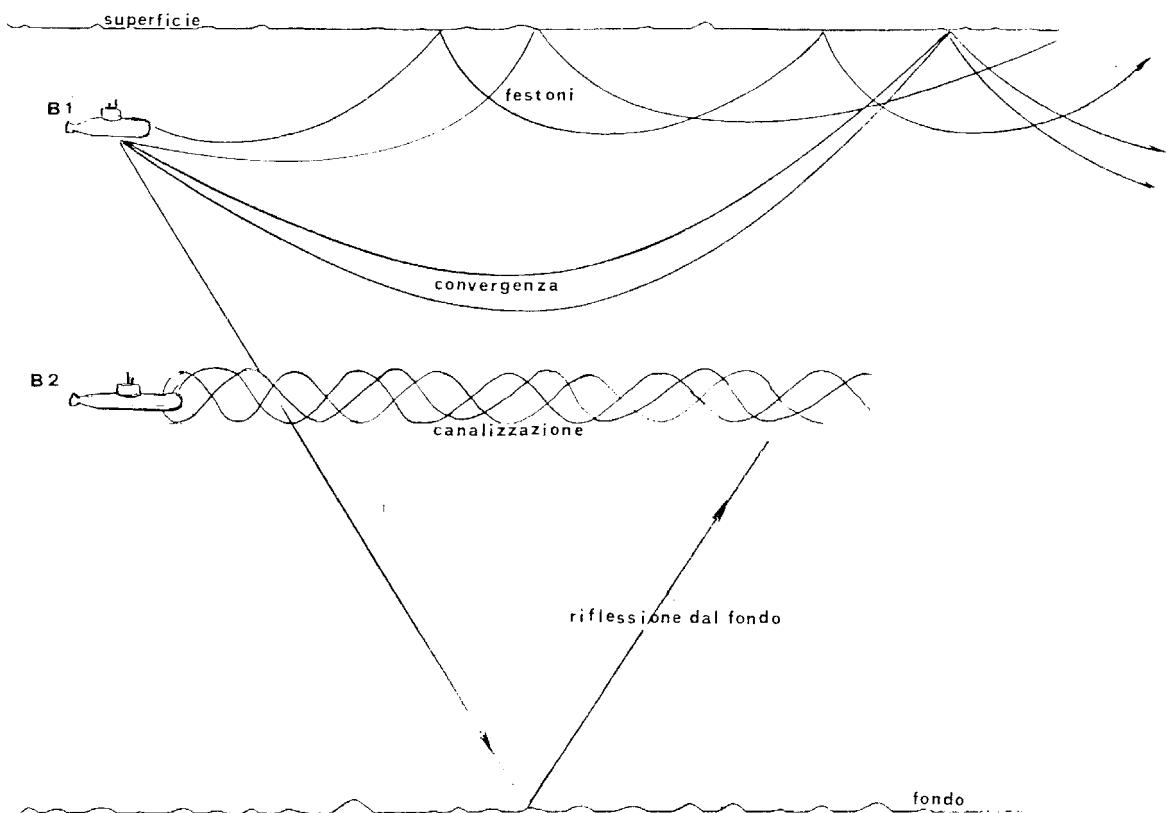


fig. 10.16 Propagazione anomala del suono - 11° modello.

I mari che circondano il nostro paese non hanno profondità molto elevate ed i fenomeni di propagazione anomala sono limitati come numero. Nei mesi freddi la temperatura dell'acqua risulta abbastanza uniforme a tutte le profondità e la velocità del suono varia poco con la quota, per cui le anomalie della propagazione sono poco sentite. Nei mesi caldi invece cresce sensibilmente la temperatura degli strati superficiali, mentre resta piuttosto bassa quella degli strati inferiori. Questo fatto crea una notevole variazione della velocità di propagazione, che decresce con la profondità e dà luogo alle zone d'ombra mostrate in figura 10.10/b.

10.8) Gli effetti collaterali della propagazione anomala.

Nel paragrafo 10.3 abbiamo indicato, nell'errore di misura della quota, uno dei più appariscenti inconvenienti che possono essere causati dalla propagazione anomala. Un altro inconveniente è qui di seguito descritto: la misura della distanza con il metodo dell'eco è influenzata, a volte sensibilmente, dalla variazione della velocità di propagazione e dalla maggior estensione dei percorsi dovuti alla curvatura dei raggi.

Nella Fig. 10.17 è messo in evidenza questo fatto nell'ipotesi che il sommersibile S abbia emesso un impulso acustico nell'intento di misurare la distanza che lo separa dal bersaglio B.

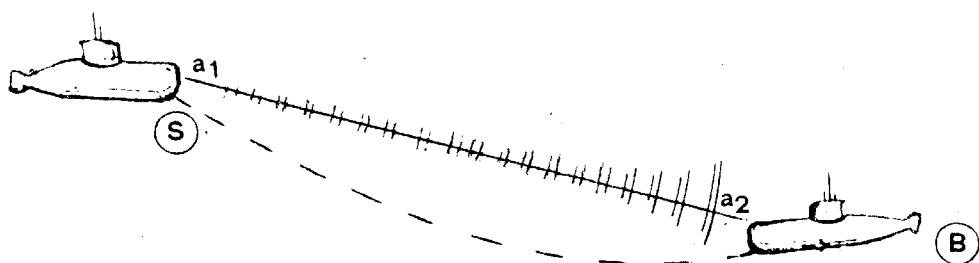


fig. 10.17 Errore nella misura della distanza con il metodo dell'eco a causa propagazione anomala del suono.

Se la propagazione fosse normale, l'impulso acustico percorrerebbe il segmento di retta da a1 verso a2 e l'eco corrispondente, nel percorso di ritorno, seguirebbe lo stesso segmento da a2 verso a1.

La distanza del bersaglio verrebbe calcolata dal sonar in base al tempo di percorrenza di andata e ritorno ed alla presunta velocità del suono (vedi paragrafo 5.3). Se invece la propagazione è anomala tanto l'impulso di emissione quanto l'eco di ritorno dal bersaglio seguono la traiettoria curva indicata a tratto e il tempo di percorrenza è superiore al precedente. In questo caso, se non si calcolano le traiettorie dei raggi, il sonar valuta una distanza apparente superiore a quella reale.

Un altro inconveniente notevole dovuto alla propagazione anomala è l'aumento dell'attenuazione dei raggi sonori per divergenza e assorbimento

che, con l'aumento delle lunghezze delle traiettorie dovute alla curvatura dei raggi, viene ad essere molto più marcato di quello che sarebbe con la propagazione normale.

Lo sfruttamento delle propagazioni anomale, che consentono la localizzazione a grandi distanze, è di solito indirizzato nel campo delle frequenze più basse che subiscono soltanto l'effetto dell'attenuazione per divergenza dato che per esse l'attenuazione per assorbimento è poco sentita.

10.9) Le previsioni delle portate operative.

La conoscenza del tipo di propagazione, ottenuta con il tracciamento automatico delle traiettorie dei raggi sonori, che si verifica in una data zona e in un certo momento, consente all'operatore del sonar di eseguire dei calcoli per stabilire, con una certa approssimazione, quali sono le distanze massime alle quali può localizzare un bersaglio, sia con la componente passiva che con quella attiva (previsione delle portate operative).

Questo tipo di valutazione, che viene effettuato, per la prima volta, in sede di progetto del sonar per conoscere le massime prestazioni (vedi paragrafi 12.3 – 12.4), necessita di un certo numero di elementi che l'operatore trova su appositi tabulati. Tra questi elementi figurano i livelli dei disturbi dovuti all'ambiente subacqueo.

Ipotizzando una certa condizione dello stato del mare, si introducono nei calcoli dei valori che conducono alla determinazione delle portate di scoperta con le incertezze dovute alle ipotesi fatte. Con l'impiego di una speciale apparecchiatura, che capta i disturbi fuori dello scafo del battello, possono essere misurati dall'operatore gli effettivi livelli del disturbo ambiente. In tal modo vengono inseriti nei calcoli dei valori reali così da ottenere previsioni di portata più attendibili.

Con quest'ultima descrizione si comprende, una volta di più, la grande importanza che hanno le indagini sulla propagazione del suono nelle attività di localizzazione del sonar.

CAPITOLO 11

La riverberazione

11.1) Origini del fenomeno.

La riverberazione è il fenomeno per il quale, dopo l'emissione di un impulso acustico in mare, non si ha soltanto il ritorno dell'eco del bersaglio verso la sorgente, ma una miriade di piccoli echi provenienti da tutte le direzioni dello spazio subacqueo.

Questo effetto si manifesta principalmente per la presenza nell'acqua di minuscole particelle che riflettono l'energia acustica emessa dal sonar. Esse possono essere materiali organici o inorganici in sospensione, bolle d'aria, pesci, oltre che ridotti volumi d'acqua non omogenei con il resto della massa. La riverberazione dovuta a queste cause è detta di "volume".

Altri due elementi contribuiscono alla riverberazione dell'energia sonora: il fondo e la superficie del mare. Il fenomeno ha origine quando essi riflettono l'energia in tutte le direzioni a causa delle loro difformità e quindi anche verso la sorgente, invece di comportarsi come riflettori perfetti che deviano i raggi sonori dalla parte opposta dei raggi incidenti.

Dato che gli echi dovuti alla riverberazione giungono alla base ricevente del sonar da distanze e direzioni diverse, questa non capta i singoli impulsi, ma un accavallarsi di essi, che si presentano come un'onda acustica continua con livello estremamente variabile nel tempo.

L'intensità degli echi elementari non è molto elevata dato che le dimensioni degli elementi che li riflettono sono molto piccole, la somma di tutti questi contributi di energia è però molto forte.

Un oscillogramma che mostra, in funzione del tempo, come varia la tensione dovuta alla riverberazione all'uscita di una stecca idrofonica, è mostrato in Fig. 11.1.

In esso è indicato per un raffronto, nelle dimensioni del tempo, l'impulso di emissione E; non compare l'eco del bersaglio che si suppone assente. Dal disegno si vede che l'effetto più marcato della riverberazione si ha pochi istanti dopo l'emissione dell'impulso in acqua, questo perché la riflessione dei volumi più vicini alla base idrofonica produce echi di ritorno soggetti a minori percorsi in acqua e quindi meno attenuati degli altri provenienti, in tempi successivi, da volumi più lontani. Il livello della riverberazione decresce pertanto nel tempo fino ad estinguersi.

La sua ampiezza dipende dall'intensità e dalla durata dell'impulso emesso dal sonar oltre che da altri fattori ambientali.

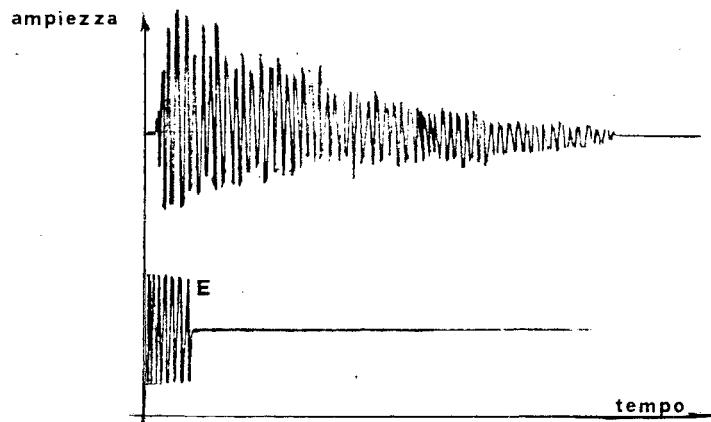


fig. 11.1 Impulso di emissione e riverberazione.

11.2) Inconvenienti provocati dalla riverberazione.

La riverberazione rappresenta un ostacolo notevole alla localizzazione sonar con il metodo dell'eco.

I disturbi dell'ambiente subacqueo incidono sui segnali d'eco nei termini che sono stati indicati nel paragrafo 9.2.2, la riverberazione è di gran lunga più inquinante dei disturbi per due ragioni: il suo livello è molto più elevato rispetto a questi e la sua frequenza coincide, a meno del doppler, con quella dell'eco del bersaglio. Per quest'ultima ragione è particolarmente difficile scoprire l'eco mascherata da segnali variabili in ampiezza che hanno la stessa frequenza.

Per avere un'idea di come può presentarsi un'eco in mezzo alla riverberazione, in Fig. 11.2 è riportato un oscillogramma che mostra la tensione ai capi di una stecca della base ricevente, in presenza di questo fenomeno. Le tensioni che si sviluppano ai capi delle stecche idrofoniche a causa della riverberazione possono raggiungere livelli tali da compromettere il regolare funzionamento dei circuiti di ricezione del sonar. Se i canali di elaborazione dei segnali sono portati in "saturazione", cioè al blocco del loro funzionamento per l'eccesso dei livelli delle tensioni applicate, non sono più in grado di individuare l'eco del bersaglio che si trova sovrapposta alla riverberazione.

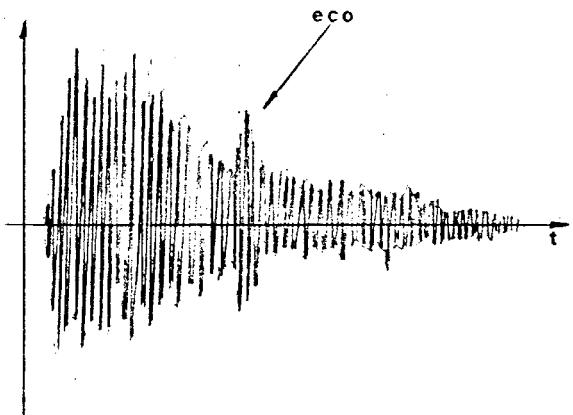


fig. 11.2 Eco immerso nella riverberazione.

11.3) Il livello della riverberazione.

L'intensità della riverberazione è uno dei fattori che devono essere quantificati per il calcolo delle previsioni di portata del sonar. Anche se essa è funzione dell'intensità e della durata dell'impulso di emissione le cause ambientali che la governano sono talmente variabili che questi elementi da soli non consentono nessun tipo di valutazione.

Per formulare alcune ipotesi sul livello di riverberazione che colpisce la base ricevente del sonar devono anzitutto essere identificate le sorgenti primarie del fenomeno in base alla posizione del battello in mare:

a) se esso si trova in una zona di acque molto profonde, a poche centinaia di metri dalla superficie, che rappresenta la fonte principale di riverberazione, la sua intensità è subordinata allo stato del mare dal quale dipendono i modi di riflessione;

b) se la distanza del battello dalla superficie è molto elevata il fenomeno è governato prevalentemente dalle caratteristiche della riverberazione di volume. Essa varia con le zone di mare e a volte è particolarmente sentita a causa di vaste colonie di microrganismi che si spostano in quota di ora in ora e che rinforzano la riflessione dell'energia verso la sorgente;

c) quando il battello naviga vicino al fondo questo diventa la principale fonte di riverberazione. Le caratteristiche fisiche del fondo determinano l'intensità del fenomeno; comportamenti diversi si hanno infatti per distese sabbiose, melmose, rocciose o per particolari combinazioni di queste.

In talune condizioni ambientali il sonar può subire nello stesso tempo l'ef-

fetto delle tre forme di riverberazione, di volume, del fondo e della superficie.

Per indagare su questi comportamenti sono stati effettuati degli studi molto approfonditi e grandi campagne sperimentali intese a determinare gli elementi con i quali valutare il fenomeno della riverberazione nei molteplici aspetti in cui si presenta.

Molti dati sono disponibili per i calcoli del livello dell'energia riflessa nei vari casi che abbiamo esaminato; i risultati che si ottengono dai calcoli sono a carattere indicativo, dato che è molto difficile conoscere a priori la reale situazione ambientale nella quale può venirsi a trovare un sommersibile durante la navigazione.

Se si aggiunge inoltre il fatto che l'energia riflessa dalla superficie o dal fondo dipende, tra l'altro, anche dall'angolo di incidenza dei raggi sonori che li colpiscono, ci si rende conto più che mai che le valutazioni possono scostarsi sensibilmente dalle condizioni effettive che si riscontrano in mare. Pertanto i calcoli di previsione delle portate di localizzazione attiva assumono un carattere orientativo delle capacità del sonar in una certa situazione ambientale.

11.4) Metodi per minimizzare l'effetto della riverberazione.

Il sistema più efficace per ridurre la riverberazione consiste nell'impiego di basi idrofoniche, tanto di emettitori che di ricevitori, con elevate doti di direttività.

Nel caso di emissione di impulsi su tutto l'arco dell'orizzonte la direttività è affidata soltanto alle caratteristiche verticali delle stecche di emettitori. Più è stretto il lobo di direttività verticale più si riduce l'effetto della riverberazione come si può vedere dal disegno di Fig. 11.3.

Se l'emissione avviene con un lobo verticale di ampiezza α_1 le aree riverberanti della superficie e del fondo si trovano a distanze superiori rispetto a quelle che si determinano se l'emissione avviene con un lobo di larghezza α_2 più ampia della precedente: ne segue che la riverberazione di tali aree, provenendo da maggior distanza, subisce una più forte attenuazione. La riverberazione di volume si riduce invece perché, a parità di distanza dalla sorgente, il volume investito dall'energia acustica nel caso del lobo di ampiezza α_1 è inferiore a quello che viene eccitato con il lobo di ampiezza α_2 .

Nel caso di emissione direttiva, che indirizza l'energia acustica in un setore ben determinato, la diminuzione della riverberazione è ancora più

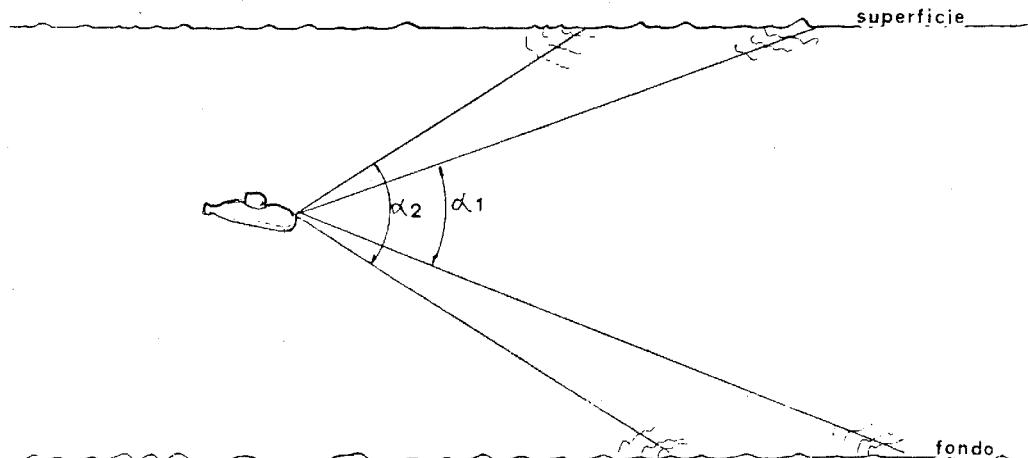


fig. 11.3 Riduzione del volume riverberante.

sensibile che nel caso precedente, perché si riducono, in virtù della direttività orizzontale, tanto le aree irradiate della superficie e del fondo quanto il volume colpito dall'onda acustica.

Nella fase di ricezione dell'eco, un ulteriore contributo alla riduzione dell'effetto riverberante è apportato dalle caratteristiche di direttività verticali e orizzontali della base idrofonica ricevente.

Essa opera sulla riverberazione un'azione discriminante, dato che, avendo direzioni preferenziali d'ascolto indirizzate dall'operatore o scandite dal sistema a fasci preformati, favorisce la captazione dell'eco secondo la sua direzione di provenienza, mentre penalizza la riverberazione, o il disturbo in genere, che perviene alla base dalle direzioni non interessate alla ricezione del segnale.

L'intensità della riverberazione può essere ridotta anche diminuendo la lunghezza degli impulsi di emissione, dato che l'effetto riverberante è dipendente direttamente da questa. Gli impulsi però non possono essere acorciati al di là di un certo limite senza diminuire l'intensità dell'eco riflessa dal bersaglio.

Questo è uno dei motivi per cui i sonar hanno la possibilità di emettere impulsi a durata variabile su comando dell'operatore.

Egli giudica, in dipendenza dalle caratteristiche riverberanti della zona, qual è la durata dell'impulso più conveniente. Se la zona è poco riverbe-

rante vengono emessi impulsi più lunghi, se invece lo è molto vengono emessi impulsi più corti.

Un altro mezzo per ridurre gli effetti dannosi della riverberazione, provocati in questo caso ai circuiti di elaborazione del sonar (inconveniente della saturazione), consiste nel regolare con un sistema automatico di controllo la sensibilità dei canali riceventi della componente attiva.

Dato che l'intensità della riverberazione è molto forte poco dopo la trasmissione dell'impulso acustico, il sistema di controllo produce una desensibilizzazione dei circuiti riceventi, molto forte all'istante di emissione, poi decrescente nel tempo con la stessa legge di variabilità che è seguita dalla riverberazione.

Con questo sistema i canali di elaborazione non vengono portati in saturazione dalle tensioni delle stecche idrofoniche dovute alla riverberazione e sono quindi in grado di individuare l'impulso dell'eco ad essa sovrapposto.

Quanto detto è mostrato nella Fig. 11.4, dove sono tracciate rispettivamente:

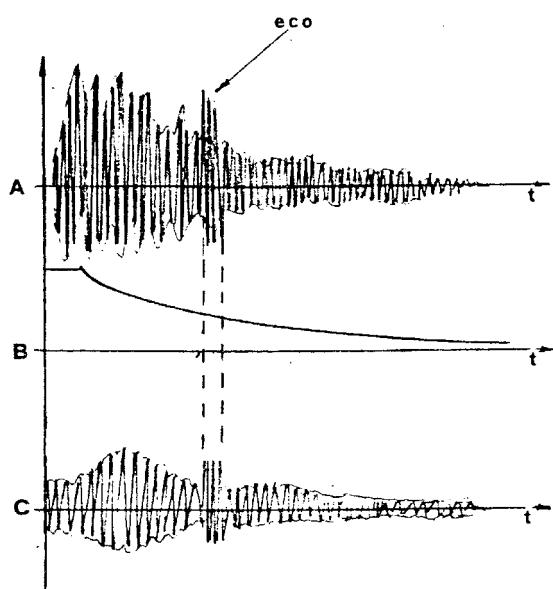


fig. 11.4 Accorgimento per ridurre l'effetto della riverberazione.

- in A) la tensione dovuta alla riverberazione con la presenza dell'eco;
- in B) la tensione di comando che governa la sensibilità dei canali di ricezione; al livello più elevato di questa tensione corrisponde un'attenuazione più spinta dei canali, a livelli più bassi attenuazioni corrispondenti inferiori;
- in C) la tensione all'uscita dei canali dove si osserva la presenza della riverberazione, contenuta in livelli di tensione ragionevoli, e l'impulso dell'eco che è individuabile in mezzo a questa.

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 sommersibile 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 affinchè 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 alloggiano 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 sommersibile, 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'esporre 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 sommersibile, 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 sistematicamente 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 sommersibile, non presenta grandi problemi. Una possibile sistemazione delle basi idrofoniche, in un sommersibile già progettato, è indicata in Fig. 12.1.

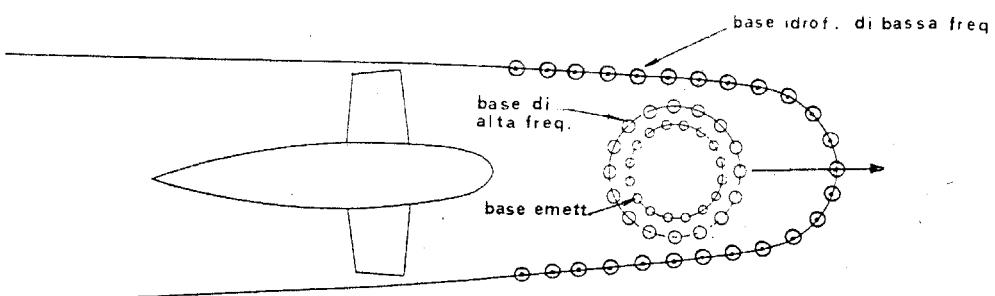


fig. 12.1 Sistemazione di basi idrofoniche multiple.

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 sommersibile 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 sommersibile 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 affinchè consentano il corretto funzionamento dei

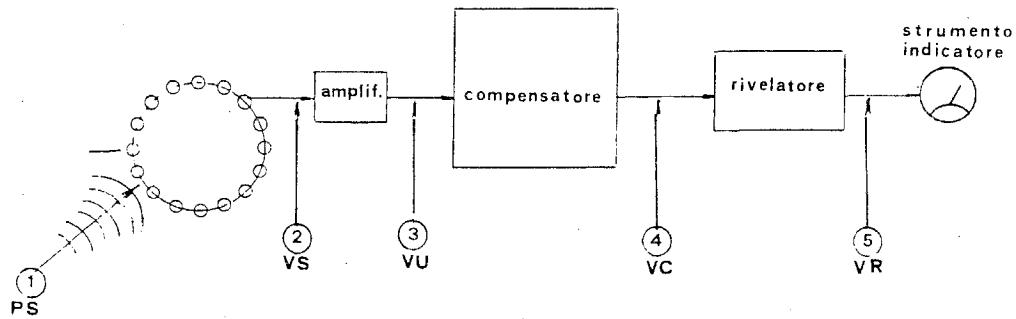


fig. 12.2 Diagramma dei livelli canale compensatore.

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, perché 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° 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, affinchè 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 malfatto 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 sommersibile.

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.

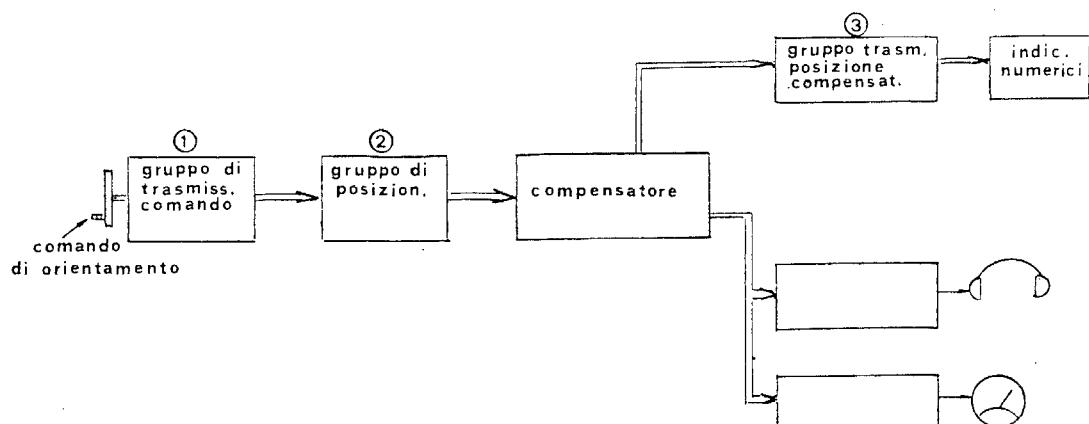


fig. 12.3 Blocco per l'orientamento del compensatore.

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 trascina-

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 sistematate 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-

rezione 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.

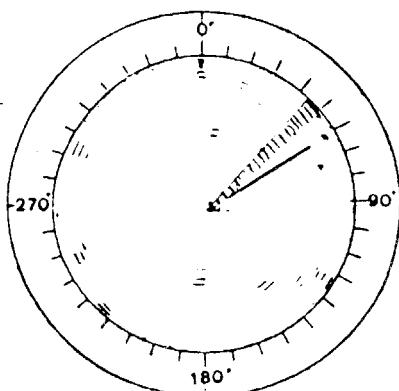


fig. 12.4 Sistema di presentazione video in polare - Bersaglio attivo fermo.

Nella figura è indicato, ad esempio, un bersaglio attivo individuato nella direzione 42°. 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° a 90° , compare sullo schermo come indicato in Fig. 12.5.

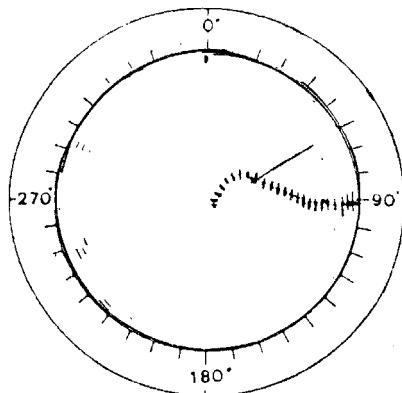


fig. 12.5 Sistema di presentazione video in polare - Bersaglio attivo in movimento.

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° , si adatta soltanto alle componenti passive del sonar.

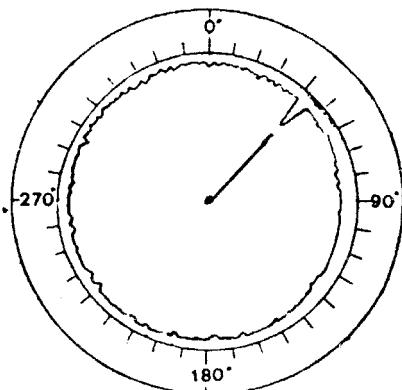


fig. 12.6 Presentazione video tipo circolare.

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 perché 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° , si adatta indifferentemente tanto alle componenti passive quanto a quelle attive.

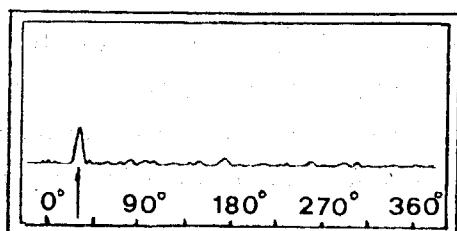


fig. 12.7 Presentazione video tipo rettangolare.

Nel caso di presentazione di tracciati per componenti passive l'asse orizzontale rappresenta le direzioni dell'orizzonte da 0° a 360° 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° a 360° 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.

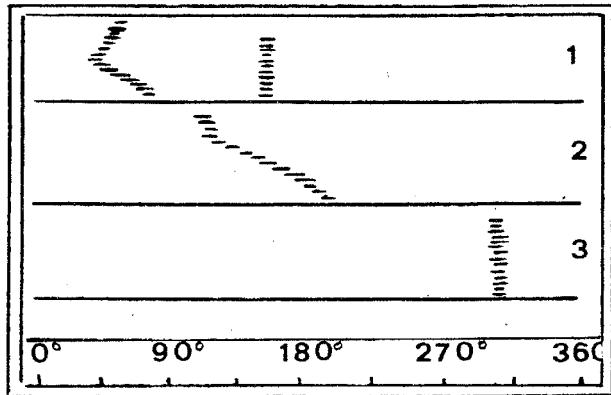


fig. 12.8 Presentazione video rettangolare con la storia delle evoluzioni dei bersagli.

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'avarìa.

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 sommersibile.

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 sommersibile 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 desideri 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. Pazienza: 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)