

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 sommergibile 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 sommergibile. 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

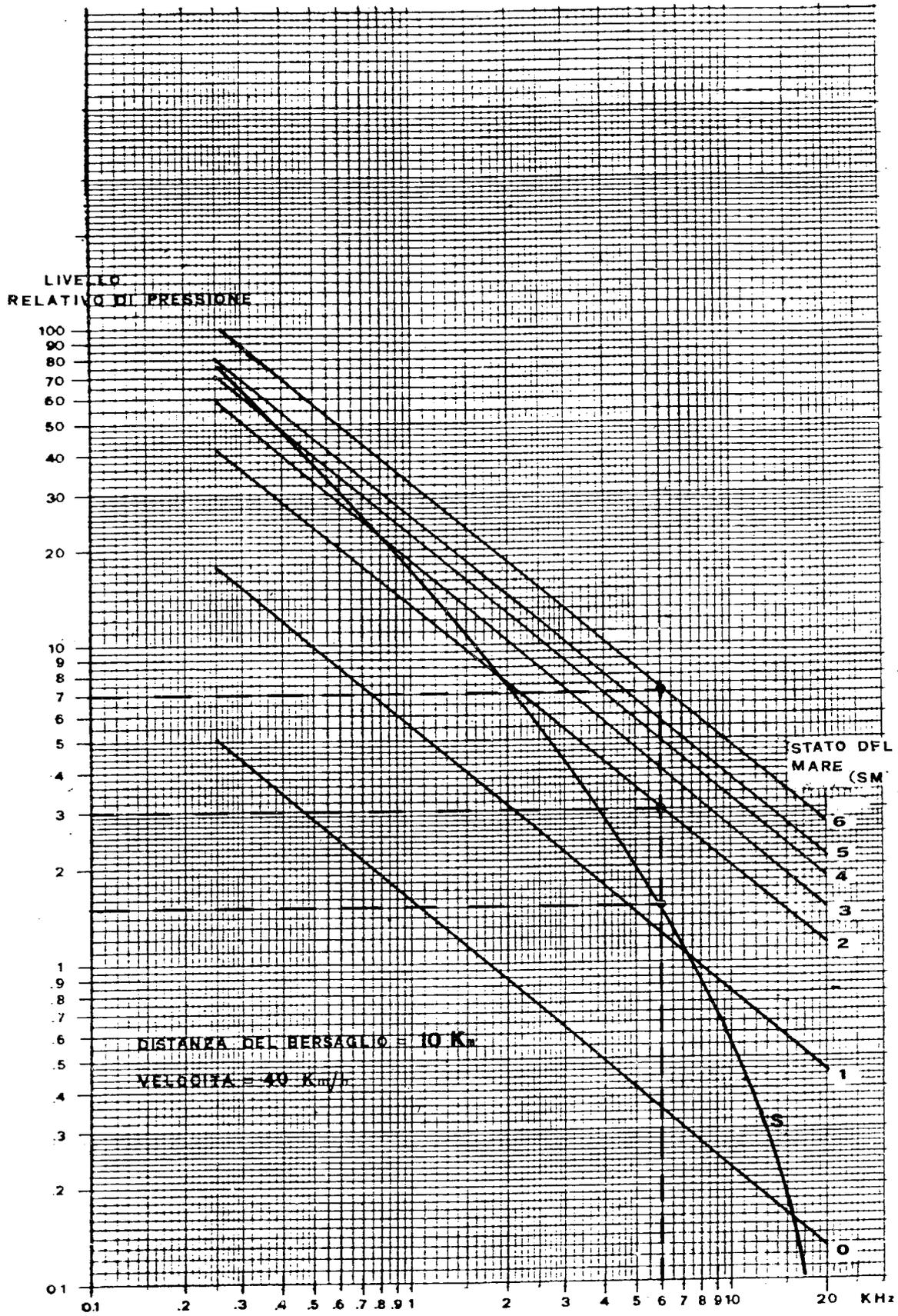


fig. 8.2 Diagrammi del rumore del mare e di un bersaglio (S) a 10 Km.

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 provocati 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.

LIVELLO
RELATIVO DI PRESSIONE

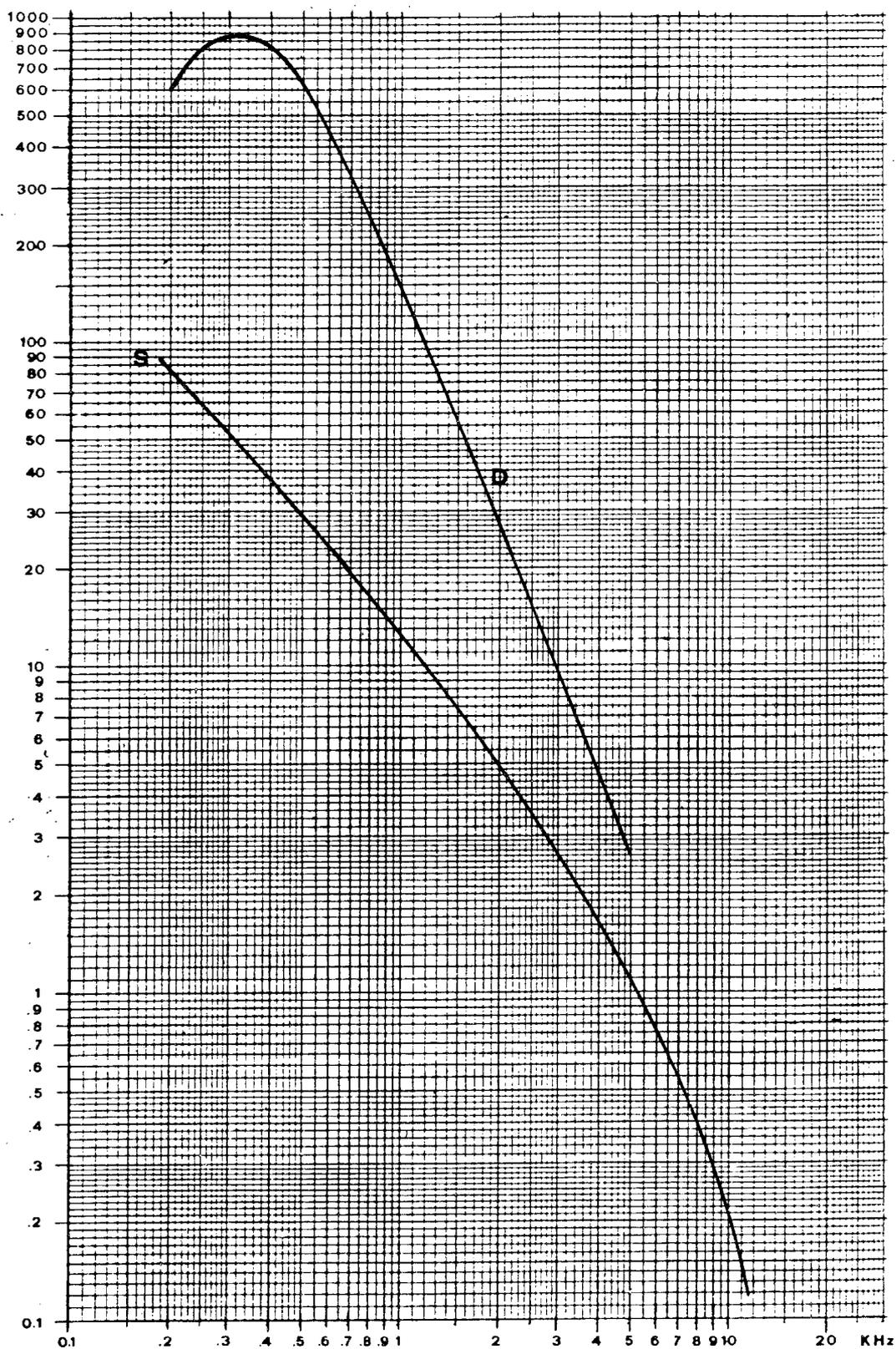


fig. 8.4 Diagramma del rumore di organismi marini (D) comparato con il rumore di un bersaglio (S)

LIVELLO
RELATIVO DI PRESSIONE

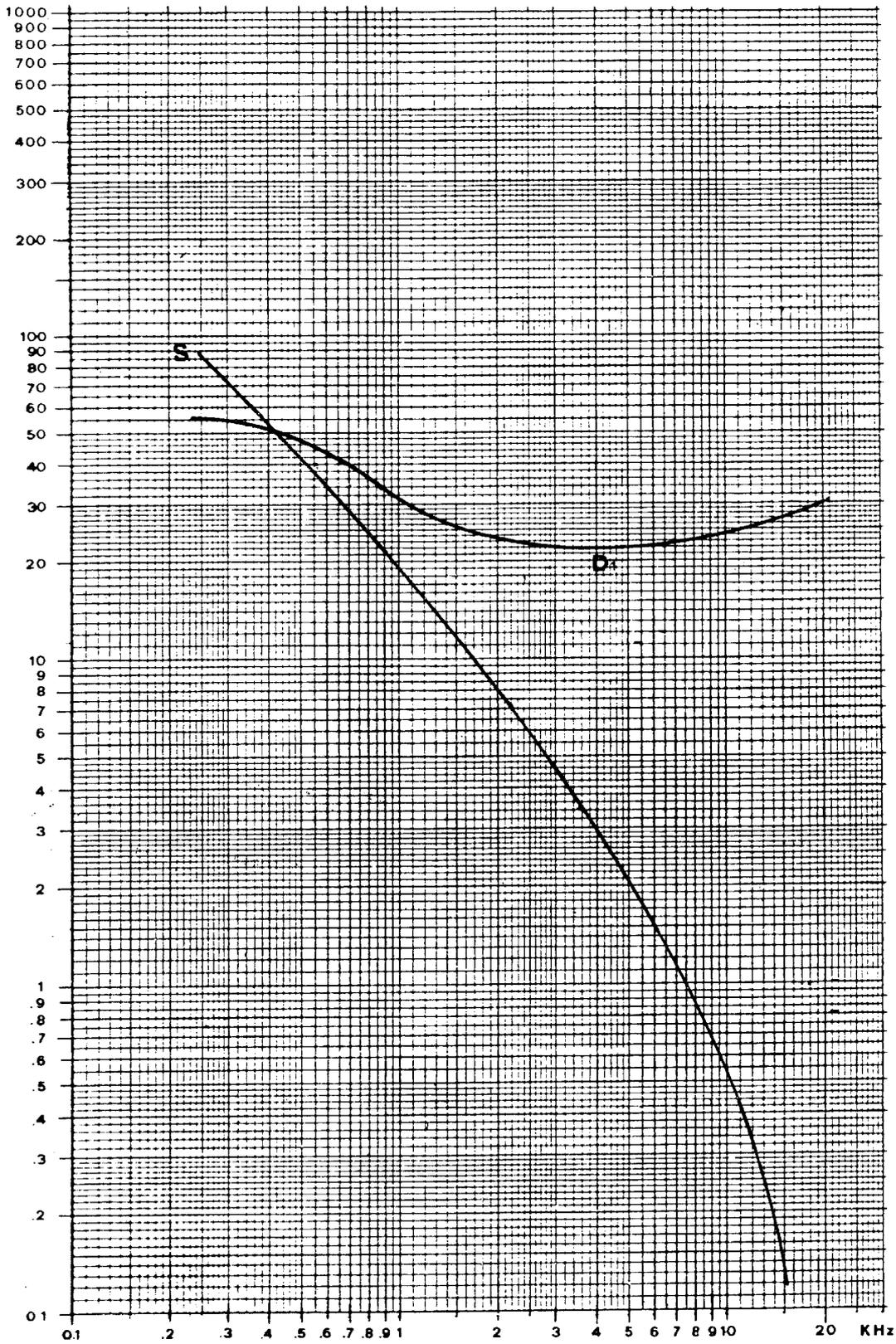


fig. 8.5 Diagramma del rumore di organismi marini (D.) comparato con il rumore di un bersaglio (S).

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 sommergibili, 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

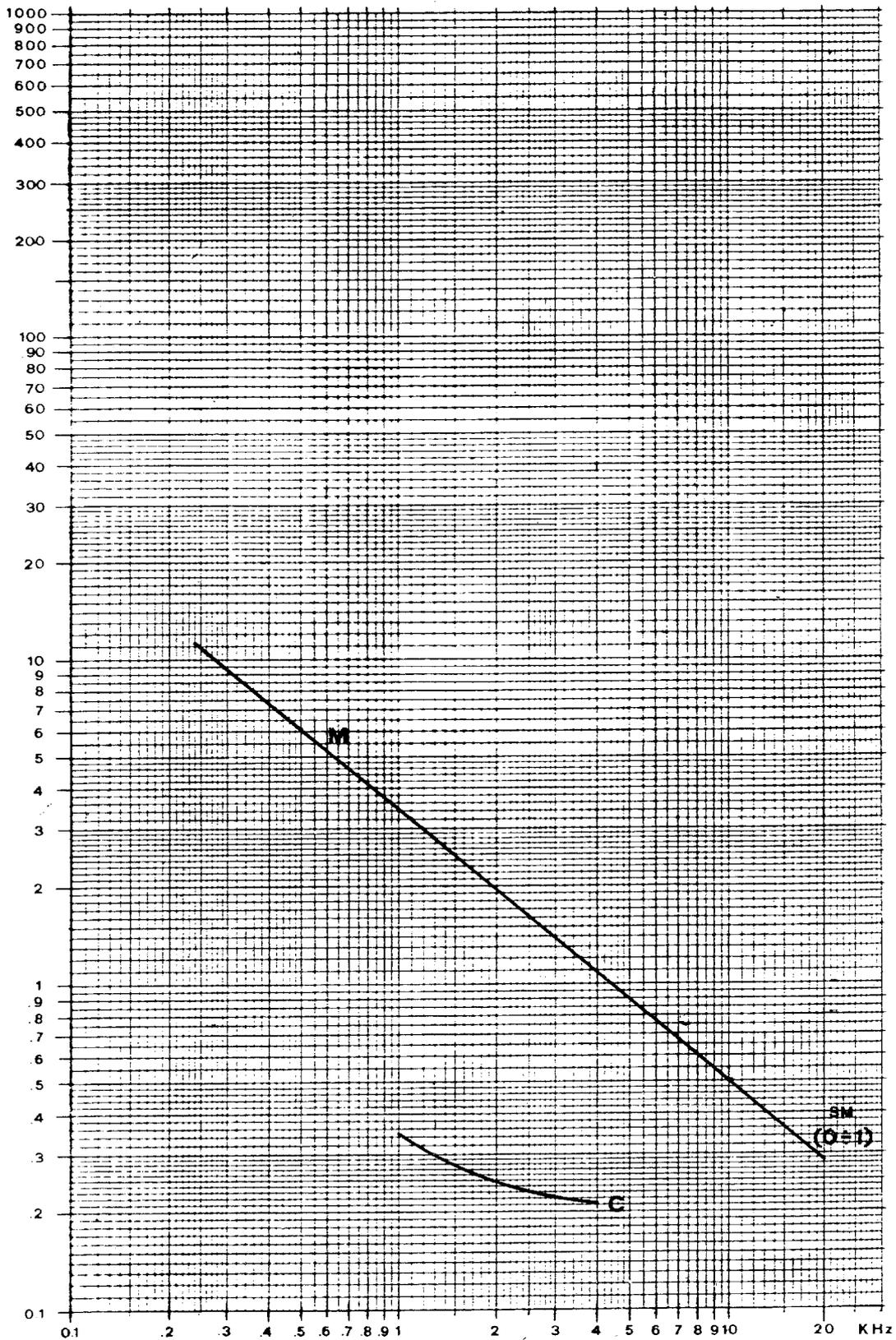


fig. 8.6 Diagramma del rumore degli amplificatori del sonar (C) comparato con il minimo rumore del mare (M).

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 sommergibile 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 disciolti 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 sommergibile. 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.

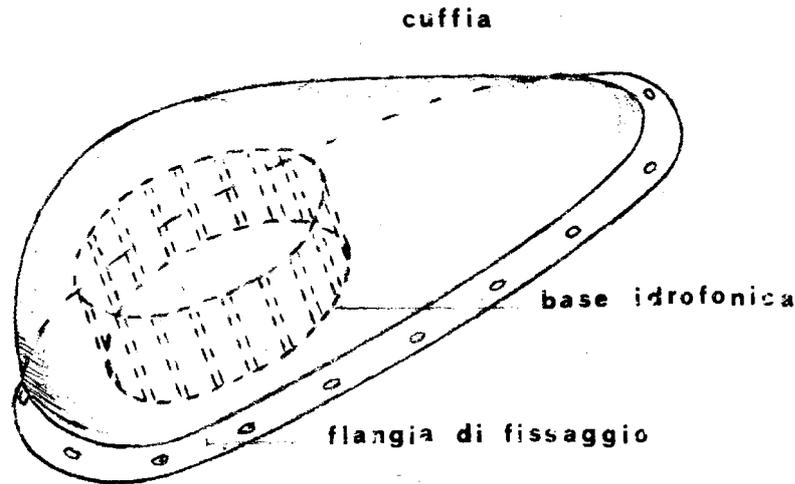


fig. 8.7 Cuffia di avviamento idrodinamico per base circolare

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 sommergibile 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 modificazione 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.