

## 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.

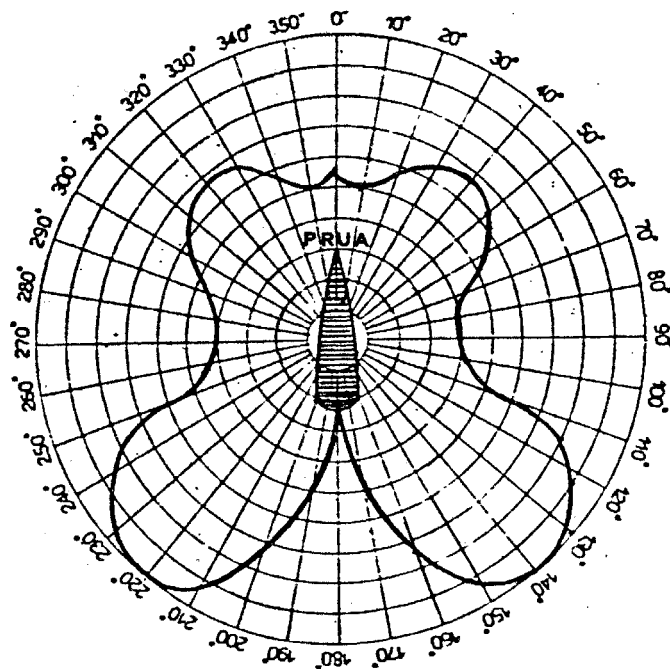
Le vibrazioni hanno luogo per trasmissione diretta da parte dell'apparato motore agli assi delle eliche e per lo sforzo tra le pale e l'acqua. La cavitazione, che si origina come già visto nel paragrafo 8.2.4, produce un rumore che è modulato dalla rotazione delle eliche; questo rumore, ascoltato a distanza 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 sommergibile 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

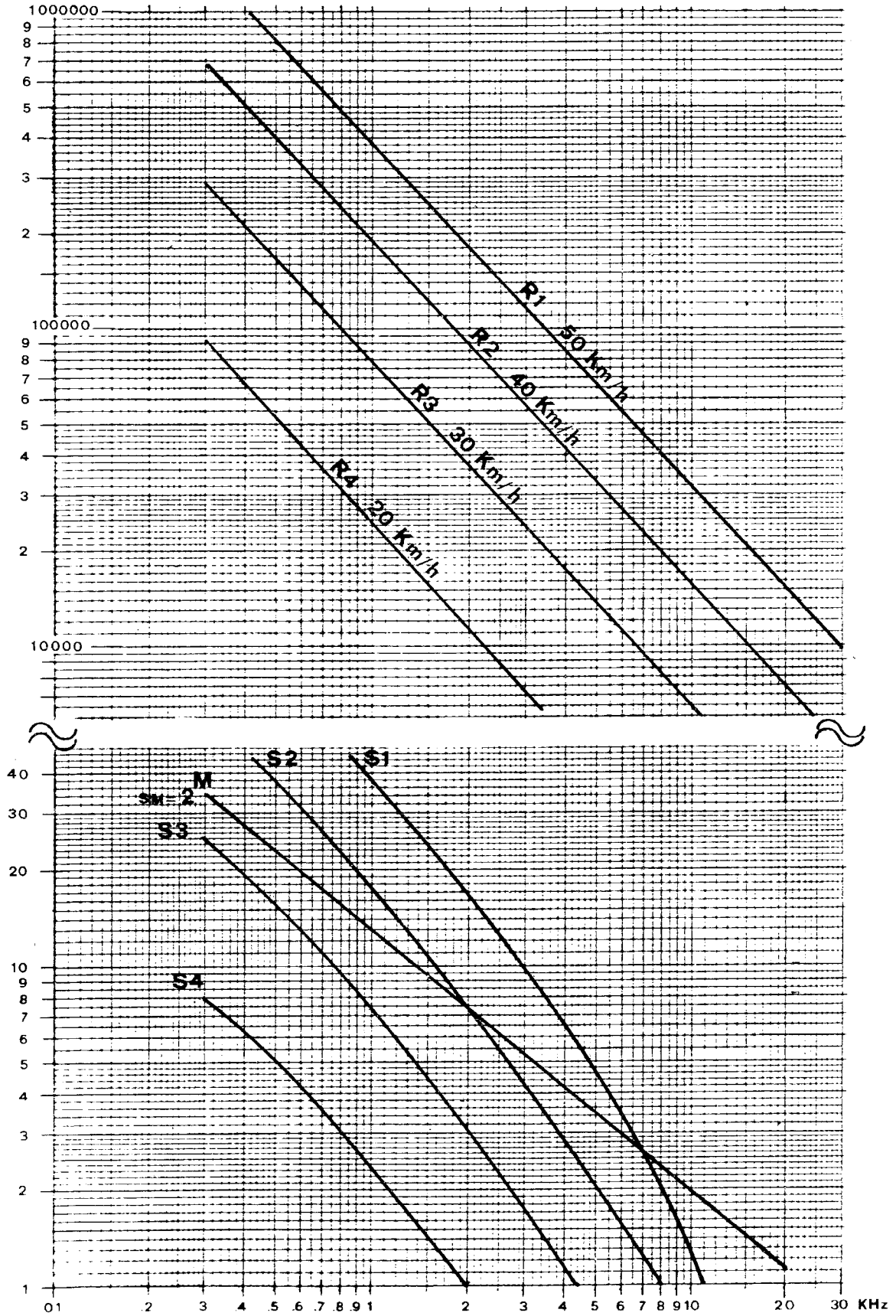


fig. 9.2 Livelli di rumore (R) generati da un cacciatorpediniere e ricevuti dal sonar (S).

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.

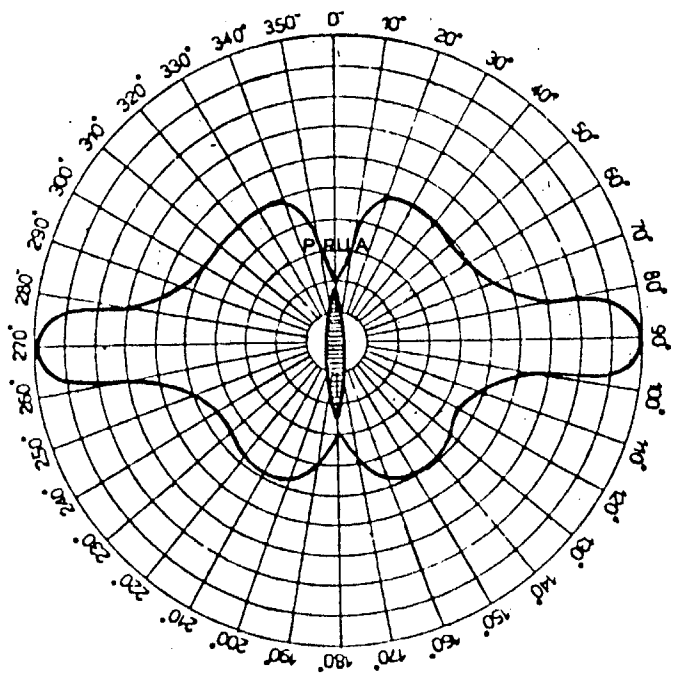
Sul problema relativo alla quantità di energia emessa abbiamo già accennato nel paragrafo 1.7.2, sull'attenuazione dell'energia lungo il percorso tratteremo nel capitolo 10; in questo paragrafo ci occuperemo delle caratteristiche dell'eco dipendenti dalle dimensioni e dall'inclinazione del bersaglio, 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 prua. 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 sommergibile.



**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.

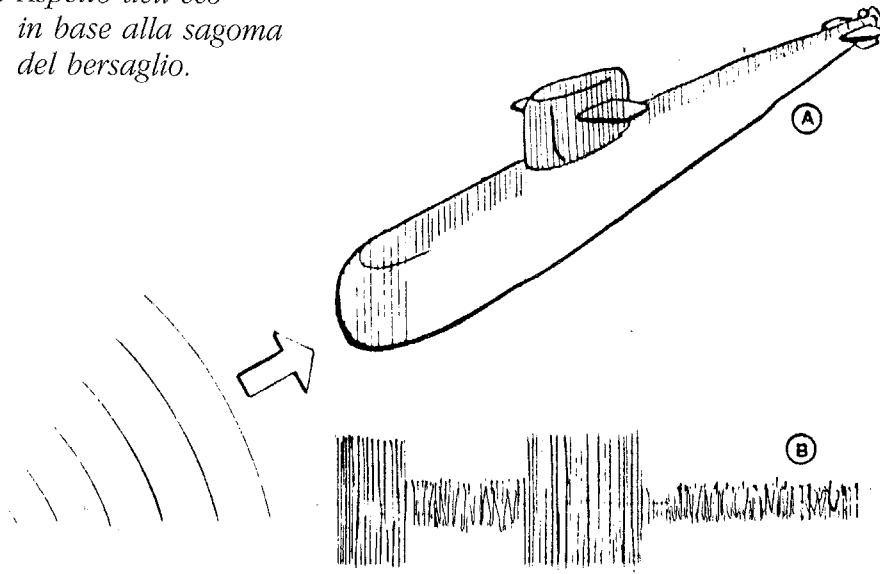
I massimi livelli dell'eco si hanno in corrispondenza dei fianchi del bersaglio ( $90^\circ - 270^\circ$ ) e i minimi in corrispondenza dell'asse ( $0^\circ - 180^\circ$ ).

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 sommergibile 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 sommergibile 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 sommergibile 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



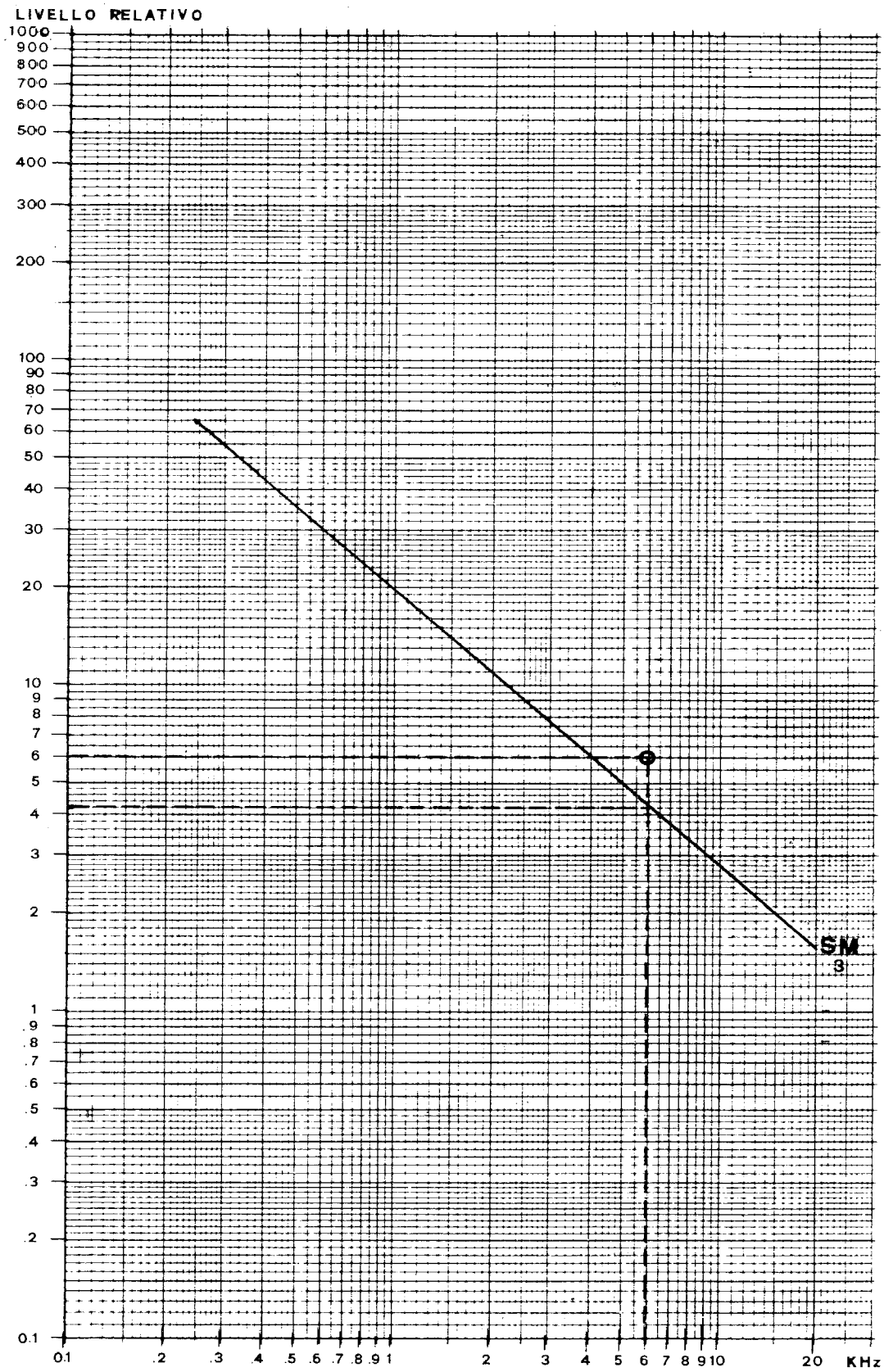


fig. 9.6 Pressione dell'eco comparata con il rumore del mare.

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).