

## 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.

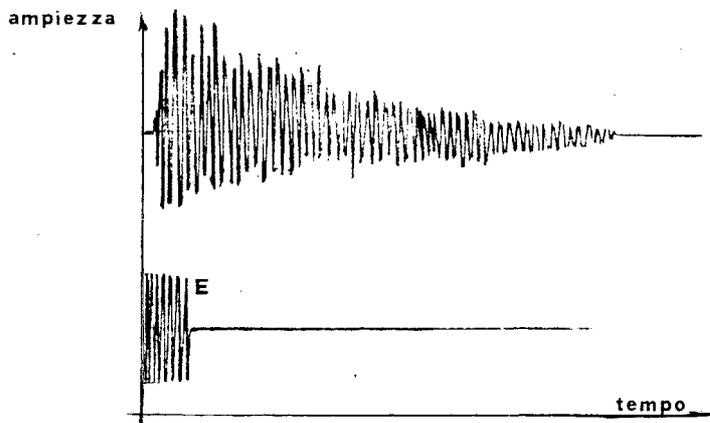
Dato che gli echi dovuti alla riverberazione giungono alla base ricevente del sonar da distanze e direzioni diverse, questa non capta i singoli impulsi, ma un accavallarsi di essi, che si presentano come un'onda acustica continua con livello estremamente variabile nel tempo.

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 idrofona, 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 idrofona 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.



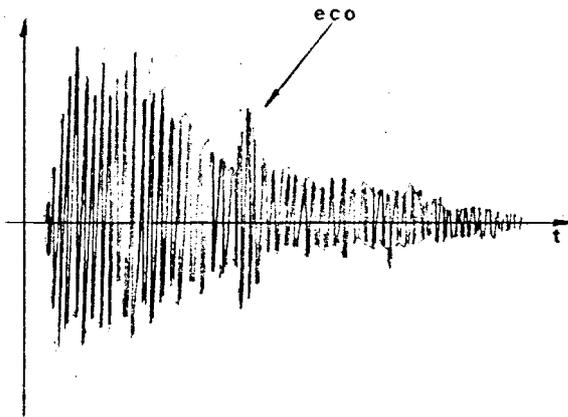
*fig. 11.1 Impulso di emissione e riverberazione.*

### **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 sua 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 sommergibile 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.

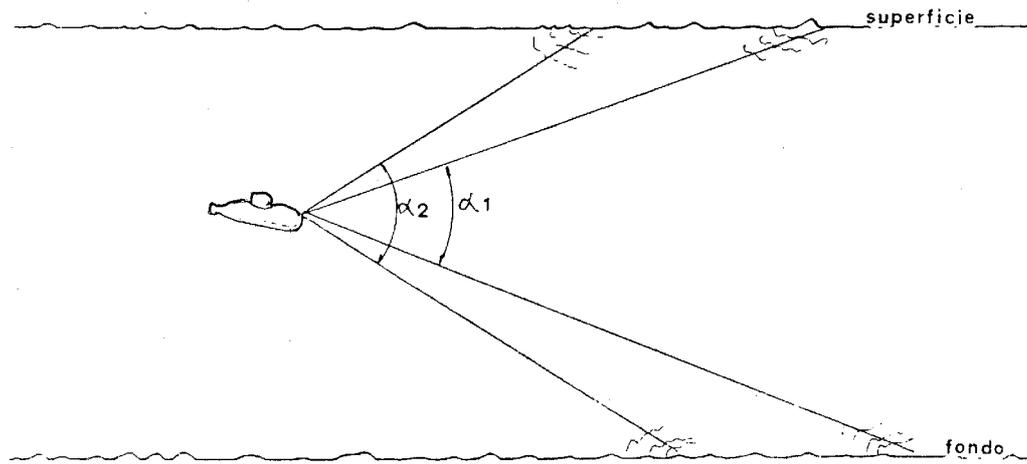
#### **11.4) Metodi per minimizzare l'effetto della riverberazione.**

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  $\alpha_1$  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  $\alpha_2$  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  $\alpha_1$  è inferiore a quello che viene eccitato con il lobo di ampiezza  $\alpha_2$ .

Nel caso di emissione direttiva, che indirizza l'energia acustica in un settore 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 accorciati 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-

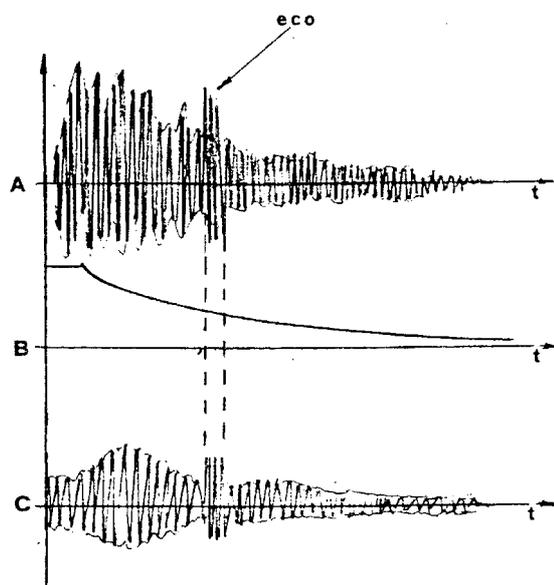
rante vengono emessi impulsi più lunghi, se invece lo è molto vengono emessi impulsi più corti.

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.