

5) Le variabili acustiche nella struttura definitiva (unità A su nave)

Sempre con riferimento al paragrafo 2.2.2 ed alla figura 2 esaminiamo ora le variabili acustiche, l'elettronica e le parti bagnate direttamente coinvolte nel processo che interessa l'unità di elaborazione (A) collocata sulla "nave pilota" ed alloggiata nel contenitore Cn

5.1 Calcolo delle variabili acustiche (unità A su nave)

Iniziamo fissando la frequenza di lavoro di tutto il sistema a 10000 Hz, valore che consente l'impiego di diversi componenti acustici ed elettronici facilmente reperibili in ambito M.M.I.

Per calcolare le variabili acustiche che caratterizzano il sistema di misura definitivo è necessario assumere anzitutto dei valori di base per il target strength del bersaglio, valori che la letteratura individua, per un sommergibile di medie dimensioni, essere compresi tra 10 dB sull'asse e 25 dB al traverso; inoltre è necessario premettere che tutte le computazioni verranno eseguite nelle ipotesi di propagazione sferica in assenza di anomalie.

Similmente a quanto è stato computato nel paragrafo 3.2.2 andiamo a valutare il livello di emissione SL in grado di provocare un'eco (SL - 2TL + TS) tale che il segnale elettrico EE da essa provocato dopo amplificazione, possa essere efficacemente elaborabile dal sistema elettronico facente parte dell'unità installata sulla "nave pilota".

Se assumiamo per EE un valore di 100 mVp, pari a 70mv eff, per il preamplificatore idrofonico un guadagno di 60 dB e per la restante catena di elaborazione un ulteriore guadagno di 20 dB; il trasduttore ricevente Rx dovrà fornire un livello di tensione pari a 7 μ V eff.

Dato che la funzione di Rx è di ricevere l'emissione dell'eco del bersaglio e la cinematica della nave è un cerchio attorno al sommergibile, questo trasduttore, se piazzato con l'asse di ricezione perpendicolare all'asse della nave a dritta, può essere parzialmente direttivo; una stecca della base circolare dell'IP70, disposta verticalmente, può essere impiegata con successo.

La stecca in oggetto ha una risposta sufficientemente uniforme tra 9000 e 11000 Hz e la sua sensibilità è dell'ordine di -55 dB/ μ V/ μ Pa; la stecca con tale sensibilità potrà generare pertanto 7 μ eff. (pari a 17dB/ μ V) se colpita da una pressione d'eco di 17dB/ μ V + 55 dB/ μ V/ μ Pa = 72dB/ μ Pa.

Per ottenere un livello di pressione di 72 dB/ μ Pa dovrà essere soddisfatta la seguente equazione:

$$72 \text{ dB/ } \mu\text{Pa.} = \text{SL} - 2\text{TL} + \text{TS}$$

dove :

SL è l'incognita

TS = variabile da 10 a 25 dB (per i calcoli seguenti si assume ovviamente il valore inferiore)

TL = TLd + α R = attenuazione di propagazione

TLd = 20 Log R = attenuazione per divergenza

R = 1000 m

α R = 2 dB attenuazione per assorbimento

$$\text{TL} = 20 \text{ Log R} + \alpha \text{ R} = 20 \text{ Log } 1000 + 2 = 62 \text{ db}$$

Risulta pertanto
$$\text{SL} = 72 + 2 * 62 - 10 = 186 \text{ dB/}\mu\text{Pa}$$

Un tale valore di SL è generabile, in un settore orizzontale di circa +/- 7°, con lo stesso tipo di stecca della base circolare IP70 che si utilizza in ricezione ma disposta in senso orizzontale, la stecca ha una risposta di emissione a 10000Hz pari a 175dB/ μ Pa/V; per ottenere 186dB/ μ Pa saranno necessari 11dB/V pari a 3.5 Veff.

Si osservi che nel calcolo di SL non compare il guadagno di direttività del trasduttore, ciò è giustificato dal fatto che il calcolo stesso è indirizzato a stabilire soltanto quale valore di SL è necessario per avere

un'eco di livello di 72 dB/ μ Pa e non per valutare il rapporto tra questo ed il rumore ambiente, operazione che viene invece fatta abitualmente per stabilire la portata di un ecogoniometro. Per stabilire la durata dell'impulso la si deve calcolare sulla base dell'equazione:

$$t_o = 2 L / c$$

dove L è la lunghezza del bersaglio e c la velocità del suono

Nell'ipotesi che il bersaglio abbia una lunghezza di 30 metri il valore di t_o sarà:

$$t_o = 2 * 30 / 1530 = 39 \text{ mSec.}$$

Naturalmente il sistema di emissione sarà dotato di un regolatore della durata dell'impulso per meglio adattarlo alle dimensioni effettive del bersaglio in fase di misura.

5.2 Calcolo delle caratteristiche del canale di amplificazione del segnale d'eco

Le caratteristiche elettriche del canale di amplificazione del segnale d'eco possono essere definite sulla base di quanto esposto al paragrafo 5.1.

Nel citato paragrafo sono già stati fissati i guadagni dei componenti di detto canale in:

A = 60 dB per il preamplificatore

A = 20 dB per l'amplificatore finale canale e rivelatore

Le altre caratteristiche dei due componenti sono:

*preamplificatore

-dinamica

la dinamica è irrilevante infatti:

con un TS = 10 dB sono previsti 7 μ V d'ingresso pari a 7 mV d'uscita

con un TS = 25 dB sono previsti circa 40 μ V d'ingresso pari a 40 mV d'uscita

-rumore elettronico d'uscita

dell'ordine di 150 μ Veff. in banda 1000 Hz a 10000Hz

-impedenza d'ingresso

dell'ordine di 100000 Ω

Per il controllo preliminare di questa funzione si adatta perfettamente con una piccola modifica la carta CS422-013 USEA (si veda appendice)

* amplificatore finale di canale e rivelatore

-dinamica

la dinamica è irrilevante infatti:

con un TS = 10 dB sono previsti 7 mV d'ingresso pari a 70 mV d'uscita

con un TS = 25 dB sono previsti circa 40 mV d'ingresso pari a 400 mV d'uscita

-rumore elettronico d'uscita

dell'ordine di 0.5 mVeff. in banda 1000 Hz a 10000Hz

Per il controllo preliminare di questa funzione e per il processo di rivelazione successivo si adatta, con alcune modifiche la carta CS422-016 USEA (si veda appendice).

5.3 Determinazione delle caratteristiche del trasmettitore di impulsi

Il trasmettitore di impulsi è delegato a fornire l'energia necessaria per pilotare il trasduttore di emissione Tx.

Per quanto visto al paragrafo 5.1 il trasmettitore deve erogare impulsi di ampiezza pari a 3.5 V_{eff}. alla frequenza di 10000 Hz della durata di 29 mSec. su di un carico di 40 Ω; questo implica la generazione di una potenza impulsiva di segnale pari a $3.5^2/40 = 0.3$ W ; prestazioni di queste tipo si ottengono facilmente con strutture elettroniche semplici.

Nel caso di un trasmettitore a tensione costante la sua impedenza d'uscita deve essere almeno 1/10 del carico previsto: $Z_u < 4\Omega$.

Nel caso in cui, durante le prove di adattamento del sistema definitivo, si riscontri la necessità di potenze superiori si può sempre ricorrere all'unità di trasmissione IP70 che consente la generazione di potenze dell'ordine alcune centinaia di wat con impedenza di uscita adatta ai carichi presentati dal trasduttore specifico.

5.4 Esposizione generale delle caratteristiche dei trasduttori Rx e Tx

Nel paragrafo 5.2 sono state già individuate le caratteristiche di sensibilità dei trasduttori Rx e Tx, in questo paragrafo esponiamo completamente tutte le caratteristiche di questi componenti mostrando in figura 6 anche la curva di risposta in ricezione.

*Rx Stecca in ricezione USEA tipo 442/035 con 10 elementi tipo 442/ESB/A

sensibilità = -55 db/μV/μPa

impedenza = 40 Ω

guadagno di direttività verticale = 10 dB

guadagno di direttività orizzontale = 2 dB

*Tx Stecca in trasmissione tipo USEA 442/035 con 10 elementi tipo 442/ESB/A

risposta di emissione = 175 db/ μPa/V

impedenza = 40 Ω

guadagno di direttività verticale = 2 dB

guadagno di direttività orizzontale = 10 dB

tensione massima applicabile = 300 veff. (per evitare la cavitazione)

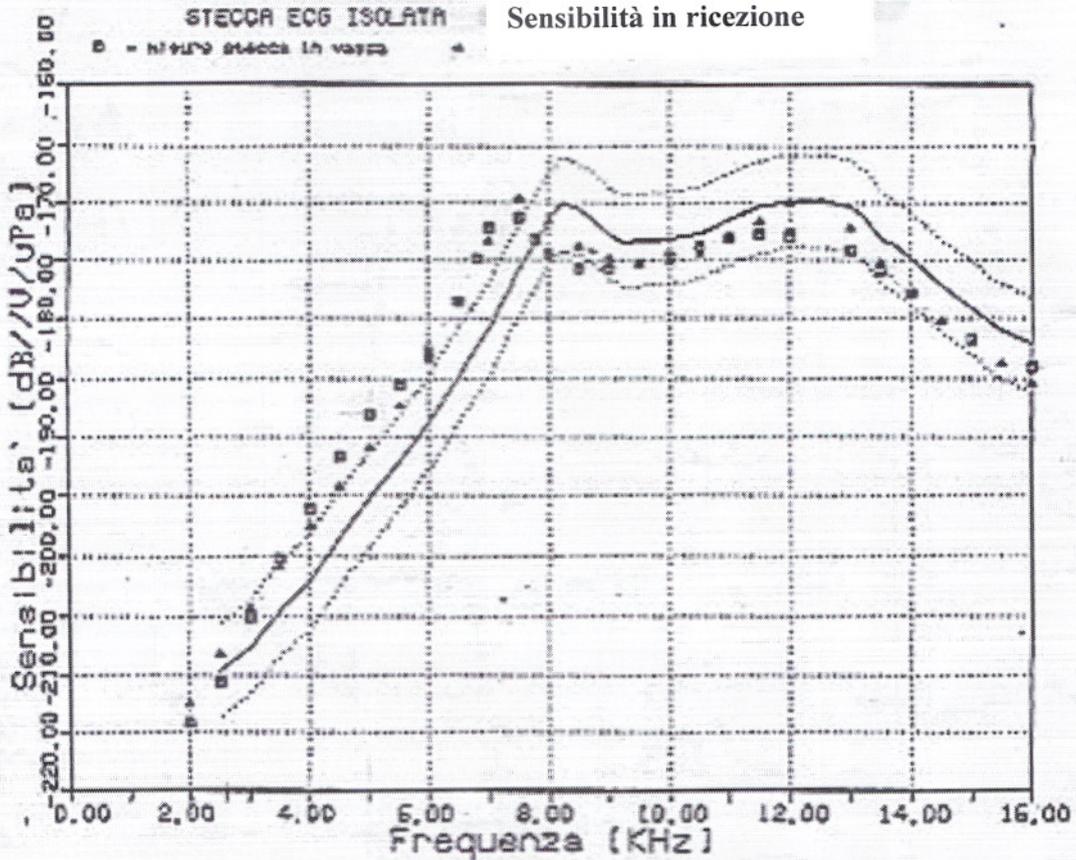


Figura 6

5.5 Caratteristiche della base Bf

La base Bf, fissata a scafo della nave, ha il compito di ricevere un particolare segnale acustico emesso dall'unità (B) che consente all'unità (A), tramite il sonar FALCON, di determinare, dopo una semplice procedura di calcolo, l'angolo di esposizione del bersaglio.

La base è composta da una corona di 18 elementi disposti ad intervalli di 20° su di un supporto circolare del diametro di 0.8 m; gli elementi sono gli stessi che costituiscono le stecche di cui abbiamo trattato nel paragrafo 5.4 e pertanto sono individuati con la sigla USEA 442/ESB/A.

Le caratteristiche di ciascun elemento sono:

* Trasduttore in ricezione USEA tipo 442/ESB/A

sensibilità = $-55 \text{ dB}/\mu\text{V}/\mu\text{Pa}$

impedenza = 400Ω

guadagno di direttività verticale = 2 dB

guadagno di direttività orizzontale = 2 dB

I livelli acustici ed il collegamento funzionale di questa base sono esaminati nel paragrafo 7 in cui si tratta del sistema completo per il rilevamento dell'angolo d'esposizione del bersaglio.

5.6 Valutazione del rapporto segnale/disturbo nella ricezione degli impulsi nell'unità A

Un'altra variabile acustica che caratterizza l'unità A è il rapporto segnale/disturbo (Si/Ni) che viene a trovarsi all'uscita dell'idrofono direzionale Rx quando l'idrofono stesso è colpito, o dall'impulso di riferimento (SL' - TL), o dall'eco (SL - 2TL + TS) del bersaglio.

Tenendo presente che il canale ricevente dell'unità A, data la semplice struttura, ha soltanto il modesto guadagno di processo del rivelatore d'involuppo, è del tutto evidente che per consentire un valido utilizzo dei segnali sia necessario poter lavorare con valori S_i/N_i (dB) $\gg 0$.

Vediamo pertanto, con l'aiuto delle variabili acustiche calcolate in precedenza, in quali condizioni si trovi il sistema di ricezione fissando i seguenti dati:

$$\Delta = 2000 \text{ Hz (larghezza della banda di ricezione da 9000 a 11000 Hz)}$$

$$f_0 = 9500 \text{ Hz (frequenza media della banda di ricezione)}$$

$$DI = 12 \text{ dB (guadagno totale di direttività del trasduttore ricevente Rx ; 10dB vert. + 2 dB orizz.)}$$

$$NL = 45 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\text{Hz})^{1/2} \text{ (massimo rumore del mare in condizioni operative del sistema; SS = 2)}$$

$$SL'-TL = 92 \text{ dB}/\mu\text{Pa} \text{ (livello di pressione dell'impulso di riferimento come calcolato al par. 6.1)}$$

$$SL-2TL+TS = 77 \text{ dB}/\mu\text{Pa} \text{ (livello di pressione dell'eco per TS = 15 dB)}$$

Indicando con NL_t il rumore totale del mare nella banda di ricezione si ha:

$$NL_t = NL + 10 \text{ Log}(\Delta) = 45 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\text{Hz})^{1/2} + 10 \text{ Log}(2000) = 78 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta)^{1/2}$$

da cui:

*nel caso di ricezione dell'impulso di riferimento ($SL'-TL$) il rapporto S_i/N_i (dB) sarà

$$S_i/N_i = (SL'-TL) - NL_t + DI = 92 \text{ dB}/\mu\text{Pa} - 78 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta)^{1/2} + 12 \text{ dB} = 26 \text{ dB}$$

*nel caso di ricezione dell'eco ($SL-2TL+TS$) il rapporto S_i/N_i (dB) sarà

$$S_i/N_i = (SL-2TL+TS) - NL_t + DI = 77 \text{ dB}/\mu\text{Pa} - 78 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta)^{1/2} + 12 \text{ dB} = 11 \text{ dB}$$

Dai calcoli si vede che per la ricezione dell'impulso di riferimento esiste un valore del rapporto segnale/disturbo molto elevato, per la ricezione dell'eco invece, com'era prevedibile, il valore di S_i/N_i è più contenuto ma sufficiente a garantire il corretto funzionamento di tutto il sistema.

5.7) L'effetto della riverberazione nella misura del TS

Dopo aver esaminato l'effetto del disturbo del mare, nella ricezione degli impulsi di riferimento e d'eco, è indispensabile procedere ad una valutazione di massima della riverberazione che si genera nell'ambiente subacqueo a seguito della trasmissione dell'impulso SL.

Per quest'indagine è anzitutto necessario un esame dell'entità dell'errore d'ampiezza dell'eco, in funzione del rapporto Eco/Riv (dB), ($Eco/Riverberazione$ espresso in decibel), quest'esame è fattibile sviluppando il seguente ragionamento:

sia il valore $j = Eco/Riv$ in dB

il corrispondente rapporto adimensionale è

$$k = 10^{(j/20)}$$

e $k = k_e / k_r$

dove k_e è l'ampiezza dell'eco e k_r l'ampiezza della riverberazione; quando un impulso d'eco è ricevuto contemporaneamente alla riverberazione la somma s_m dei due impulsi non coerenti tra loro è:

$$s_m = (k_e^2 + k_r^2)^{1/2}$$

essendo $k_r = k_e/k$ si può scrivere

$$s_m = [k_e^2 + (k_e/k)^2]^{1/2}$$

cioè

$$s_m = k_e [1 + (1/k)^2]^{1/2}$$

assumendo unitario il valore di k_e rispetto a k_r si ha

$$s_m = [1 + (1/k)^2]^{1/2}$$

l'errore, in valore assoluto, tra il valore atteso dell'eco k_e posto uguale ad uno, e la somma s_m è dato da

$$\text{err} = |1 - s_m|$$

da cui l'errore percentuale

$$\text{err}\% = 100 |1 - s_m|$$

sostituendo in quest'espressione il valore di $s_m = f(k)$ si ha

$$\text{err}\% = 100 |1 - [1 + (1/k)^2]^{1/2}|$$

ed infine sostituendo il valore di $k = f(j)$ si ha

$$\text{err}\% = 100 |1 - [1 + (1/(10^{(j/20)}))^2]^{1/2}|$$

espressione dell'errore percentuale dell'ampiezza dell'eco in funzione del rapporto $j = \text{Eco/Riv. (dB)}$.

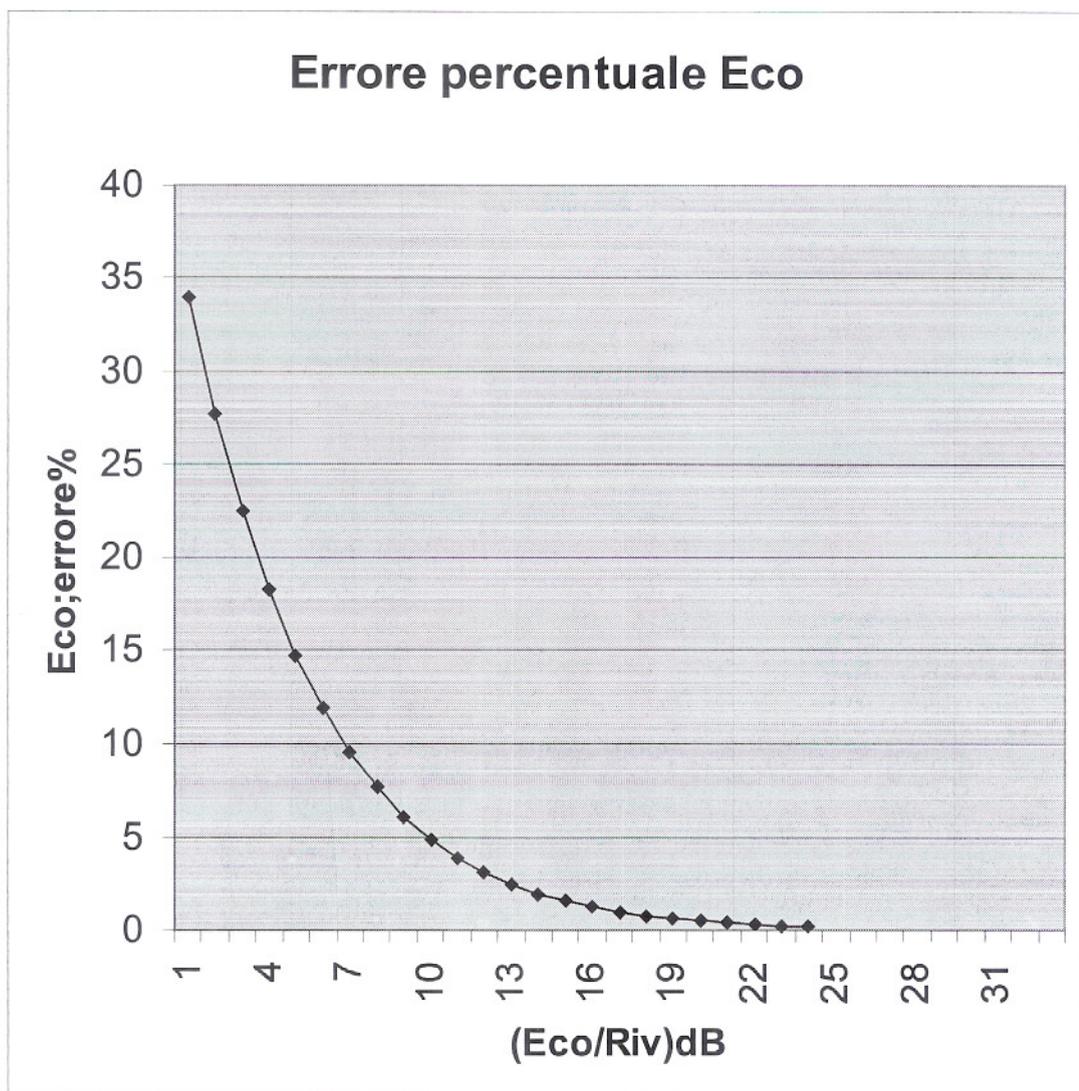
Con la formula ora mostrata si è sviluppato il grafico sotto riportato nel quale si vede come varia l'errore percentuale dell'ampiezza dell'impulso d'eco in dipendenza del rapporto Eco/Riv (dB).

Il grafico di figura 7 mostra che per valori di Eco/Riv > 7 dB l'errore è contenuto entro il 10%, errore più che accettabile dato che provocherebbe un errore sulla misura di TS dell'ordine di un solo decibel; per valori Eco/Riv compresi tra 7 dB e 3 dB l'errore massimo è dell'ordine del 20%, riconducibile ad un conseguente errore nel calcolo di TS dell'ordine di 2 dB; per valori di Eco/Riv ≤ 2 dB l'errore sul calcolo di TS è inaccettabile.

Dal grafico, a conferma di quanto affermato alla fine del paragrafo 5.5, in merito al rapporto Eco/Rumore del mare:

$$S_i/N_i = (SL - 2TL + TS) - N_{Lt} + DI = 77 \text{ dB}/\mu\text{Pa} - 78 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta)^{1/2} + 12 \text{ dB} = 11 \text{ dB}$$

si evince che tale rapporto è ottimo e che conduce ad un errore percentuale dell'eco dell'ordine del 6% al quale corrisponde un errore di valutazione del TS di soli 0,6 dB. 0,4

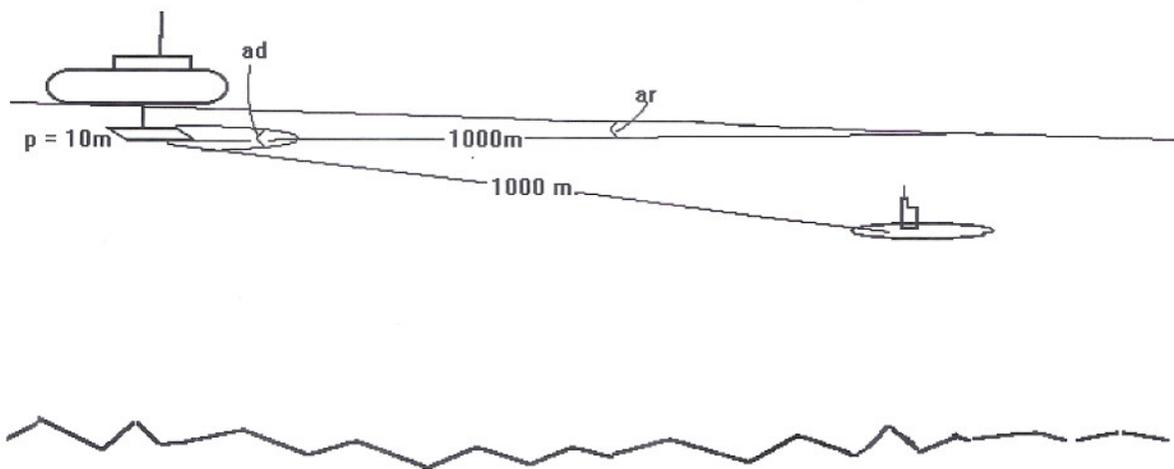


Forti del diagramma di figura 7 procediamo ora all'indagine sulla riverberazione. Le forme di riverberazione che ostacolano la scoperta ecogniometrica sono tre:

- *riverberazione di superficie
- *riverberazione del fondo
- *riverberazione di volume

Prendiamo inizialmente in esame la riverberazione di superficie prestando attenzione alla figura 8; vediamo la "nave pilota" disposta nel campo ad una distanza di 1000 m dal "sommersibile bersaglio" e il trasduttore di emissione ad una profondità (p) di 10 m.

Figura 8



Nella figura 8 vediamo come la “nave pilota” sia disposta nel campo alla distanza di 1000 m dal “sommersibile bersaglio” con il trasduttore di emissione collocato ad una profondità di 10m.

dalla figura si vedono inoltre:

- * il percorso di un raggio acustico, dal trasduttore alla superficie, della lunghezza di 1000 m.
- * l'angolo di radianza (ar) tra il raggio e la superficie
- * l'angolo (ad) che compete al lobo di direttività orizzontale del trasduttore

in questa situazione, appositamente impostata, il raggio verso la superficie ha la stessa lunghezza del raggio verso il bersaglio in modo tale che si conduca l'esame della riverberazione allo stesso istante nel quale l'eco giunge alla nave, in questo modo si può valutare il rapporto eco/riverberazione che condiziona la misura del TS del bersaglio.

Impostiamo il calcolo secondo quanto indicato nel testo di Urlick

(PRINCIPLES OF UNDERWATER SOUND) 3[^] edizione

–capitolo 8- scattering in the sea: reverberation level.

La pubblicazione citata sarà richiamata con p.c.

Iniziamo il lavoro con la seguente premessa: un'indagine di questo tipo, con gli elementi disponibili nella p.c. non può essere altro che a carattere indicativo e che pertanto saranno sempre necessari accurati controlli sul campo per verificare la realtà fisica del problema.

Elenchiamo le variabili, note ed impostate, che concorrono nei calcoli ricordando che tutti i valori di pressione sono indicati in dB/ μ Pa, tutti i valori di attenuazione in dB:

$$r = 1000 \text{ m}$$

$$p = 10 \text{ m.}$$

$$SL = 186 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$f = 10000 \text{ Hz}$$

$$EL = (SL - 2TL + TS) = 72 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$Td = 40 \text{ mSec.}$$

ar = angolo di radenza

ad = ampiezza del lobo di direttività

Dimensioni trasduttore

a = .8 m. in orizzontale

b = .1 m. in verticale

sviluppiamo i calcoli:

calcolo del rapporto p/r:

$$rp = p / r = 10/1000 = .01 \quad (\text{rapporto quota trasduttore/distanza})$$

calcolo dell'angolo di radenza (ar) con il quale determinare il valore della capacità diffusiva Ss della superficie:

$$ar = \text{ArcSen} (.01) = 0.57^\circ \quad (\text{angolo di radenza})$$

formula di Chapman e Harris per il calcolo della Ss (capacità diffusiva della superficie) in funzione dell'angolo di radenza e della velocità del vento (la formula è stata scelta perché consente il calcolo di Ss anche in funzione della frequenza):

$$Ss = 3.3 \beta \text{ Log} (ar/30) - 42.4 \text{ Log} \beta + 2.6$$

$$\text{dove } \beta = 158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}$$

si calcola β per velocità del vento pari a 10 nodi

$$\beta = 158 (v (f)^{1/3})^{-0.58} = 158(10 (10000)^{1/3})^{-0.58} = 7$$

$$Ss = 3.3 * 7 \text{ Log} (0.57/30) - 42.4 \text{ Log} 7 + 2.6 = -73 \text{ dB}$$

calcolo della lunghezza d'onda:

$$\lambda = (c/f) = (1530 / 10000) = .15 \quad (\text{lunghezza d'onda})$$

calcolo del logaritmo dell'ampiezza (ad) del lobo di direttività in trasmissione sulla base delle formule riportate nella tabella 8.1 della p. c, per un trasduttore rettangolare $a \gg b$:

$$q = (10 * \text{Log}(\text{landa} / (6.28 * a)) + 9.2) =$$

$$= (10 * \text{Log}(.15 / (6.28 * .8)) + 9.2) = -6\text{dB} \text{ (log. dell'angolo d'apertura lobo direttività "radianti")}$$

calcolo dell'angolo d'apertura del lobo di direttività in radianti:

$$q_r = 10^{(q / 10)} = 10^{(-6/10)} = .25 \text{ (angolo di direttività in radianti)}$$

calcolo dell'angolo d'apertura del lobo di direttività in gradi:

$$ad = q_r * 57.3 = .25 * 57.3 = 14.4^\circ \text{ (angolo di direttività in gradi)}$$

calcolo dell'attenuazione per divergenza:

$$TL = 40 * \text{Log}(r) = 40 * \text{Log} 1000 = 120 \text{ dB (attenuazione andata e ritorno per sola .divergenza)}$$

Calcolo della superficie del mare illuminata dall'impulso emesso:

$$\text{sup} = ((c * td) / 2) * q_r * r = ((1530 * 40/1000)/2) * .25 * 1000 = 76.50 \text{ (sup. irradiata in mq)}$$

calcolo della forza della superficie:

$$TSR = 10 * \text{Log}(\text{sup}) = 38.7 \text{ dB (forza della superficie)}$$

calcolo della pressione dovuta dalla riverberazione della superficie (sup) illuminata dall'impulso:

$$RL = SL - TL + S_s + TSR = 186 - 120 - 73 + 38.7 = 31.7 \text{ dB}/\mu\text{Pa} \text{ (valore della pressione dovuta alla riverberazione)}$$

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

$$\text{Eco/Riv.} = EL - RL = 72 - 31.7 = 40 \text{ dB (rapporto eco/riverberazione)}$$

Questo risultato è estremamente favorevole; infatti, dal diagramma di figura 8, con un rapporto Eco/Riv = 40 dB la percentuale d'errore sull'ampiezza dell'eco è irrilevante e di conseguenza non si ha nessun errore apprezzabile nel calcolo di TS.

Il risultato è evidentemente scaturito dall'assunzione di una modesta velocità del vento, è pertanto importante ai fini dell'impiego sul campo del sistema di misura conoscere come varia l'errore in funzione della variazione della velocità del vento ferme restando tutte le altre variabili che compaiono nel calcolo.

Per ottenere la curva dell'errore percentuale dell'eco in funzione della velocità del vento s'impone la formula di calcolo utilizzandone alcune tra quelle sopra riportate:

$$\text{err}\% = 100 | 1 - [1 + (1 / (10^{(j/20)}))^2]^{1/2} |$$

essendo

$$j = \text{Eco/Riv.} = EL - RL = 72 - RL$$

e

$$RL = SL - TL + S_s + TSR = 186 - 120 + S_s + 38.7 = 104.7 + S_s$$

si ha

$$j = \text{Eco/Riv.} = EL - RL = 72 - (104.7 + S_s) = -S_s - 32.7$$

dato che

$$S_s = 3.3 \beta \text{Log} (0.57/30) - 42.4 \text{Log} \beta + 2.6$$

$$\text{dove } \beta = 158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}$$

si può scrivere:

$$S_s = 3.3 \{158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}\} \text{Log} (0.57/30) - 42.4 \text{Log} \{158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}\} + 2.6$$

da cui otteniamo infine il valore del rapporto Eco/Riv (dB) in funzione della velocità del vento (v)

$$j = -(3.3 \{158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}\} \text{Log} (0.57/30) - 42.4 \text{Log} \{158 (v (f)^{1/3})^{-0.58}\}) - 35.3$$

implementando quest'espressione di j nella formula per il calcolo della percentuale d'errore dell'ampiezza dell'eco e ipotizzando una variazione della velocità del vento da 1 a 40 nodi otteniamo il grafico di figura 9

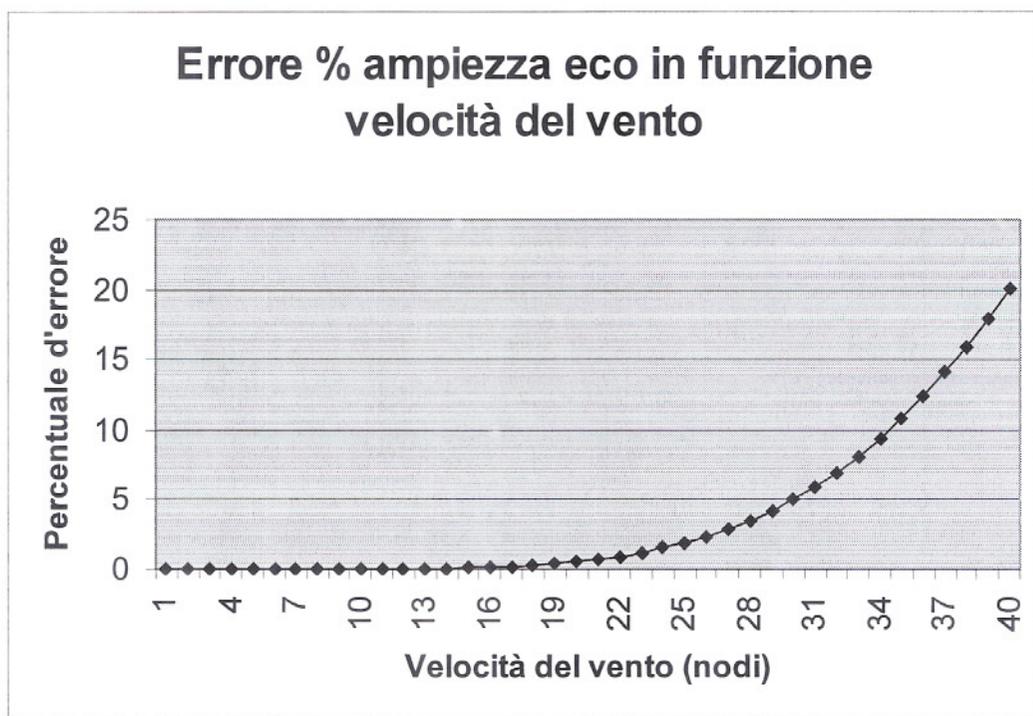


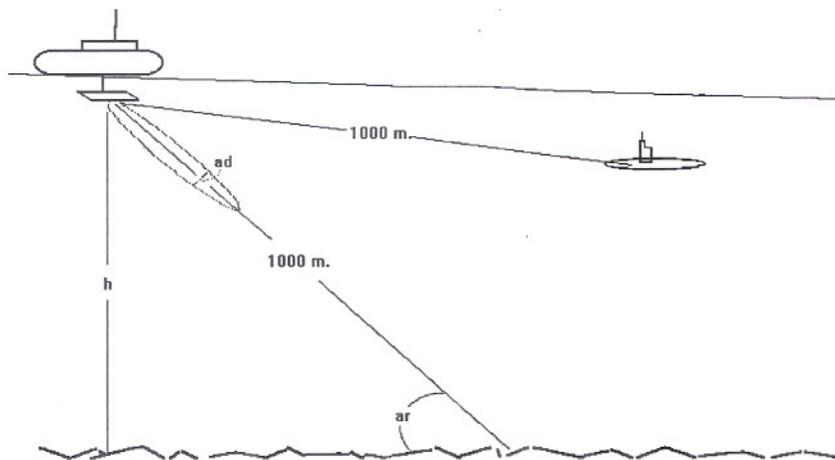
Figura 9

Dalla figura si osserva che per velocità del vento contenute entro i 34 nodi l'errore percentuale d'ampiezza dell'eco è inferiore al 10%, per vento tra 35 e 38 nodi l'errore è dell'ordine del 15%, per velocità superiori a 38 nodi l'errore è dell'ordine del 20%.

Quest'indagine, se il modello assunto per i calcoli sarà aderente alla situazione fisica reale, imporrà una certa attenzione alla scelta del momento meteorologico per le misure del TS.

A questo punto prendiamo in esame la riverberazione del fondo:
prestando attenzione alla figura 10 vediamo la “nave pilota” disposta nel campo ad una distanza di 1000 m dal “sommersibile bersaglio”; la profondità nel sito è (h) m.

Figura 10



dalla figura si vedono inoltre:

- * il percorso di un raggio acustico dal trasduttore al fondo della lunghezza di 1000 m.
- * l'angolo di radenza (ar) tra il raggio ed il fondo
- * l'angolo (ad) che compete al lobo di direttività orizzontale del trasduttore

in questa situazione, appositamente impostata, il raggio verso il fondo ha la stessa lunghezza del raggio verso il bersaglio in modo tale che si conduca l'esame della riverberazione allo stesso istante nel quale l'eco giunge alla nave, in questo modo si può valutare il rapporto eco/riverberazione che condiziona la misura del TS del bersaglio.

Anche in questo caso impostiamo il calcolo secondo quanto indicato nel testo di Urlick p.c.

Elenchiamo le variabili, note ed impostate, che concorrono nei calcoli ricordando che tutti i valori di pressione sono indicati in $\text{dB}/\mu\text{Pa}$, tutti i valori di attenuazione in dB :

$$r = 1000 \text{ m}$$

$$h = 200 \text{ m.}$$

$$SL = 186 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$f = 10000 \text{ Hz}$$

$$EL = (SL - 2TL + TS) = 72 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$T_d = 40 \text{ mSec.}$$

ar = angolo di radenza

ad = ampiezza del lobo di direttività

Dimensioni trasduttore

a = .8 m. in orizzontale

b = .1 m. in verticale

sviluppiamo i calcoli:

calcolo del rapporto h/r:

$$r_p = h / r = 200 / 1000 = .2 \quad (\text{rapporto profondità/distanza})$$

calcolo dell'angolo di radenza (ar) con il quale determinare, sulla base delle figure della p.c, il valore della capacità diffusiva S_b del fondo:

$$ar = \text{ArcSen} (.2) = 11.5^\circ \quad (\text{angolo di radenza})$$

calcolo della lunghezza d'onda:

$$\lambda = (c/f) = (1530 / 10000) = .15 \quad (\text{lunghezza d'onda})$$

calcolo del logaritmo dell'ampiezza (ad) del lobo di direttività in trasmissione sulla base delle formule riportate nella tabella 8.1 della p. c, per un trasduttore rettangolare $a \gg b$:

$$q = (10 * \text{Log}(\lambda / (6.28 * a)) + 9.2) =$$

$$= (10 * \text{Log}(.15 / (6.28 * .8)) + 9.2) = -6 \text{ dB} \quad (\text{log. dell'angolo d'apertura lobo direttività "radianti"})$$

calcolo dell'angolo d'apertura del lobo di direttività in radianti:

$$q_r = 10^{(q / 10)} = 10^{(-6/10)} = .25 \quad (\text{angolo di direttività in radianti})$$

calcolo dell'angolo d'apertura del lobo di direttività in gradi:

$$ad = q_r * 57.3 = .25 * 57.3 = 14.4^\circ \quad (\text{angolo di direttività in gradi})$$

*In grado di illuminazione
un bersaglio con $\ell < 250 \text{ m}$.*

calcolo dell'attenuazione per divergenza:

$$TL = 40 * \text{Log}(r) = 40 * \text{Log} 1000 = 120 \text{ dB} \quad (\text{attenuazione andata e ritorno per sola divergenza})$$

*se si considera anche l'assorbimento
12438*

Calcolo della superficie del fondo illuminata dall'impulso emesso:

$$\text{sup} = ((c * t_d) / 2) * q_r * r = ((1530 * 40 / 1000) / 2) * .25 * 1000 = 7650 \quad (\text{sup. irradiata in mq})$$

$-48 + 38,2$
 $TS_{FONDO} = S_b + TS_R = -9$

URICK
 * per S_b pagine 272/273/274
 fig. 8.77/8.78/8.80

calcolo della forza della superficie:
del fondo

$TSR = 10 * \text{Log}(\text{sup}) = 38.7 \text{ dB}$ (forza della superficie)

determinazione il valore della capacita diffusiva S_b dalle figure della p.c:

$S_b = f(\text{ar}) = f(11.5^\circ) = -48 \text{ dB}$ (attenuazione in funzione dell'angolo di radenza per $f=10000 \text{ Hz}$ e fondo sabbioso, vedi fig.8.30 p.c.)

calcolo della pressione dovuta alla riverberazione della superficie (sup) illuminata dall'impulso:

$RL = SL - TL + S_b + TSR = 186 - 120 - 48 + 38.7 = 56.7 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$ (valore della pressione dovuta alla riverberazione)
** $TL = (124) \rightarrow (52.7)$*

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

$\text{Eco/Riv.} = EL - RL = 72 - 56.7 = 15.3$ (rapporto eco/riverberazione)
** $(52.7) (19.3)$*

** se si ripete per $h = 5 \text{ cm}$
 $av = 2.9$ se $S_b = f(\text{ar}) = -40$
 $\text{Eco/Riv} = +8 \text{ dB} \rightarrow \text{Eco/Riv}$*

Il risultato ottenuto con i dati che abbiamo inserito, ed analizzato alla luce della curva di figura 7, è indicativo di una situazione teorica buona per il valore più piccolo di TS del bersaglio, assunto al livello di 10 dB e dal quale scaturisce il valore $EL = 72 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$ dell'eco, per gli altri valori di TS con il massimo a 25 dB si passerebbe ad un rapporto ancor più favorevole.

Per lo sviluppo di questi algoritmi è stato studiato un programma di calcolo che, pur ricorrendo sempre all'aiuto dei diagrammi dell'Urlick, consente di modificare qualsiasi variabile per cercare l'ottimizzazione del rapporto Eco/Riv.

Con questo programma svolgiamo una serie di rapidi calcoli per renderci conto su quale variabili agire, se necessario, al fine di ridurre sensibilmente la riverberazione del fondo :

- Se riduciamo la durata dell'impulso da 40 a 30 mSec. portiamo il rapporto Eco/Riv. a 16.5 dB
- Se aumentiamo la frequenza di emissione da 10000 a 16000 otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 17.3 \text{ dB}$
- Se aumentiamo la lunghezza del trasduttore da 0.8 m a 1.6 m otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 18.3 \text{ dB}$
- Se modifichiamo contemporaneamente, sia la durata dell'impulso, sia la frequenza, sia la lunghezza del trasduttore otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 21.6 \text{ dB}$.

Siamo, come si vede dai nuovi dati, in presenza di piccoli miglioramenti; purtroppo il nostro sistema non ha la funzione di un ecogoniometro, apparato che ha lo scopo precipuo di scoprire il bersaglio, nei limiti possibili, anche se fortemente perturbato; il sistema deve poter misurare con buona precisione l'ampiezza dell'eco e pertanto non sono accettabili sensibili alterazioni della sua ampiezza a causa della riverberazione.

Per quanto abbiamo visto la scelta di una qualsiasi soluzione atta a migliorare il rapporto Eco/Riv. deve essere eventualmente assunta dopo i primi rilievi sul campo sul quale poter valutare, sia il reale comportamento del fondo del campo prescelto, sia il livello degli impulsi d'eco dal vero; se necessario l'aggiornamento dei calcoli può essere fatto, con gran semplicità, con il programma di seguito illustrato.

Il programma per il calcolo rapido della riverberazione del fondo, compilato in Qbasic, è qui di seguito riportato:

'PROGRAMMA DI CALCOLO RIVERBERAZIONE DEL FONDO

Cls

'FASE INGRESSO DATI

'Tutti i valori di lunghezza sono in m.

** Le note a matita si riferiscono
 ad un calcolo di RL con $TL = 124 \text{ dB}$
 invece che 120 dB per convenienza
 con il TL di 124 dB utilizzato per
 il calcolo dei 72 dB di EL
 Il risultato di 19 dB è tanto 15 e a favore
 del bersaglio.*

'Tutti i valori di pressione sono in dB/microPa

INPUT "r"; r 'percorso del raggio dal TX al fondo

INPUT "h"; h 'livello del fondo

INPUT "EL"; EL 'livello dell'eco

INPUT "SL"; sl 'livello indice in dB

INPUT "td"; td' durata dell'impulso in secondi

INPUT "f"; f'

INPUT "b"; b' dimensione verticale del trasduttore

INPUT "a"; a' dimensione orizzontale del trasduttore "stecca messa nel senso dell'altezza"

'FASE COMPUTO ar

$rp = h / r$ 'rapporto profondità /distanza

$ar = 57.3 * \text{Atn}(rp / \text{Sqr}(-rp * rp + 1))$ 'angolo di radenza

Print "ar"; ar 'viene visualizzato l'angolo di radenza con il quale determinare il valore di Sb con i
'grafici

INPUT "Sb"; SB ' valore della capacita di riflessione in funzione angolo di radenza ,vedi p.c.

'FASE DI CALCOLO

$\lambda = (1530 / f)$

$q = (10 * \text{Log}(\lambda / (6.28 * a)) / \text{Log}(10) + 9.2)$

$qr = 10 ^ (q / 10)$ 'angolo di direttivita' in rad.per calcolo superficie irrad.

$ad = qr * 57.3$ 'angolo di direttivita' in gradi

$tl = 40 * \text{Log}(r) / \text{Log}(10)$ ' att. andata e rit. per diverg.

$\text{sup} = \text{INT}(((1530 * td) / 2) * qr * r)$ 'superficie illuminata

$\text{tsr} = \text{INT}((10 * \text{Log}(\text{sup})) / \text{Log}(10))$

$\text{RL} = \text{sl} - \text{tl} + \text{SB} + \text{tsr}$ ' valore della pressione di RL

$\text{sr} = \text{EL} - \text{RL}$ 'rapporto eco/riverb.

Print "===Dati d'ingresso==="

Print "f (hz) ="; f

Print "SL(dB) = "; sl

Print "EL(dB) = "; EL

Print "Distanza mt ="; r

Print "Fondo mt ="; h

Print "Durata imp. mSec ="; 1000 * td

Print "====Dati d'uscita===="

Print "TL (dB) ="; tl

Print "Angolo di radenza in gradi ="; USING; " ##.#"; ar

Print "Lobo di direttivita' in gradi="; USING; " ##.#"; ad

Print "Superf. irradiata mq ="; sup

Print "S_b = f(angolo di rad.) (dB) ="; SB

Print "Incremento di superficie (dB) ="; tsr

Print

Print "Livello di Riverb. RL(dB) = "; USING; "###.#"; RL

Print

Print "Rapporto (Eco/Riverb.RL) (dB)= "; USING; "###.#"; sr

Non resta ora che ultimare la nostra analisi sugli effetti della riverberazione prendendo in considerazione la riverberazione di volume, fenomeno per il quale non è necessario alcun disegno illustrativo dato che non coinvolge gli angoli di radenza. Eseguiamo le computazioni utilizzando l'equazione riportata nella p.c:

$$RL_v = SL - 40 \text{ Log } r + S_v + 10 \text{ Log } V$$

dove:

S_v = valore della capacità diffusiva del mezzo

τ = T_d = durata impulso

V = (cτ/2) ψ r² = volume d'acqua illuminato

ψ = angolo solido d'emissione

assunto :

$$r = 1000 \text{ m}$$

$$SL = 186 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$f = 10000 \text{ Hz}$$

$$EL = (SL - 2TL + TS) = 72 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$Td = 40 \text{ mSec.}$$

$$Sv = -85 \text{ dB (capacità diffusiva in ore diurne, ricavata dalla figura 8.12 p.c. per } f = 10000 \text{ Hz)}$$

Dimensioni trasduttore

$$a = .8 \text{ m. in orizzontale}$$

$$b = .1 \text{ m. in verticale}$$

sviluppiamo i calcoli:

calcolo della lunghezza d'onda:

$$\lambda = (c/f) = (1530 / 10000) = .15$$

calcolo di $q = (10 \text{Log } \psi)$, logaritmo dell'ampiezza del lobo di direttività in trasmissione sulla base delle formule riportate nella tabella 8.1 della p. c, per un trasduttore rettangolare $a \gg b$:

$$q = 10 * \text{Log} [(\lambda)^2 / (12.56 * a * b)] + 7.4 =$$

$$= 10 * \text{Log} [.15^2 / (12.56 * .8 * .1)] + 7.4 = -9.09 \text{ dB (log. dell'angolo d'apertura lobo direttività)}$$

calcolo dell'angolo d'apertura del lobo di direttività in steradian:

$$\psi = 10^{(q / 10)} = 10^{(-9.09/10)} = .12$$

calcolo del volume d'acqua illuminato

$$V = (c\tau/2) \psi r^2 =$$

$$= (1530/2 * 40/1000) * .12 * 1000^2 = 3672000$$

calcolo dell'attenuazione per divergenza:

$$TL = 40 * \text{Log}(r) = 40 * \text{Log} 1000 = 120 \text{ dB}$$

calcolo del livello di riverberazione di volume

$$RLv = SL - TL + Sv + 10 \text{Log } V = 186 - 120 - 85 + 66 = 47 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

-19dB

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

$$\text{Eco/Riv.} = \text{EL} - \text{RLv} = 72 - 47 = 25 \quad (\text{rapporto eco/riverberazione})$$

Il risultato ottenuto con i dati che abbiamo inserito, ed analizzato alla luce della curva di figura 7, è indicativo di una situazione teorica ottima per il valore più piccolo di TS del bersaglio, assunto al livello di 10 dB e dal quale scaturisce il valore $\text{EL} = 72 \text{ dB} \mu\text{Pa}$ dell'eco.

Si può concludere che la riverberazione di volume è, nel nostro caso, la meno influente tra i fenomeni interferenti sulla corretta valutazione dell'ampiezza dell'eco del bersaglio.

5.8 Diagramma dei livelli dell'unità A

Il diagramma completo di tutti i livelli che interessano l'unità A, sia in trasmissione, sia in ricezione impulsi, sia per il rumore del mare è riportato nella tabella in appendice.

$$TS = 10 \log \frac{R^2}{h} = 20 \log \frac{R}{2}$$

$$\log \frac{R}{2} = \frac{TS}{20} \quad \frac{R}{2} = 10^{\wedge TS/20} \quad R = 2(10^{\wedge TS/20})$$

Considerazioni in merito alla misura del TS di una sfera di riferimento

Il valore globale del TS del fondo è

$$TS_{Fondo} = TRS + Sb = 38,7 - 48 = \underline{\underline{-9,3 \text{ dB}}}$$

Il valore del TS di una sfera da 1m di diametro è $TS_f = -12 \text{ dB}$

Risulta pertanto che il rapporto di

$$\left(\frac{TS_{SFERA}}{TS_{RIVER}} \right)_{dB} = -12 - (-9,3) = -12 + 9,3 = \underline{\underline{-2,7 \text{ dB}}}$$

$$E\% \text{ su } E_{CO} = 10\% \text{ e } \frac{E_{CO}}{R_{IV}} = +7 \text{ dB}$$

che si può ottenere con una sfera da $TS = -2 \text{ dB}$ $R = 1,6 \text{ m}$.