

Riverberazione in mare: calcolo dei livelli

1) Generalità

La riverberazione, fenomeno che accompagna le emissioni acustiche del sonar generate per l'illuminazione impulsiva dei bersagli, è caratterizzata da tre tipi particolari che si manifestano, sia isolatamente, sia contemporaneamente in dipendenza delle caratteristiche dell'ambiente subacqueo.

Le tipologie della riverberazione, che ci accingiamo ad esaminare con esempi di calcolo manuale ed al P.C. sono:

*riverberazione di superficie

*riverberazione del fondo

*riverberazione di volume

2) Premesse a tutte le esercitazioni

Gli esempi di calcolo saranno sviluppati secondo la seguente impostazione :

- a) Il sonar che emette gli impulsi è collocato su di una nave detta "nave pilota"
- b) Il bersaglio che deve essere illuminato è chiamato "sommersibile bersaglio"
- c) I calcoli mirano a valutare il rapporto Eco/Riverberazione ricevuto dal sonar
- d) La distanza tra la "nave pilota" ed il "sommersibile bersaglio" è di 1000 metri.
- e) La frequenza di emissione f è stata fissata a 10000Hz
- f) Per SL è assunto il valore di 182dB/ μ Pa
- g) Per TS è assunto un valore di soli 10 dB
- h) La durata dell'impulso di emissione è stata fissata a $T_d=40$ mSec
- i) Il livello dell'eco che ritorna al sonar è indicato con EL
- l) Il livello della riverberazione è indicato con RL
- m) Il trasduttore di emissione ha le seguenti dimensioni :
larghezza $a=0.8$ m altezza $b=.1$ m

n) Si indica con S_s la capacità diffusiva della superficie

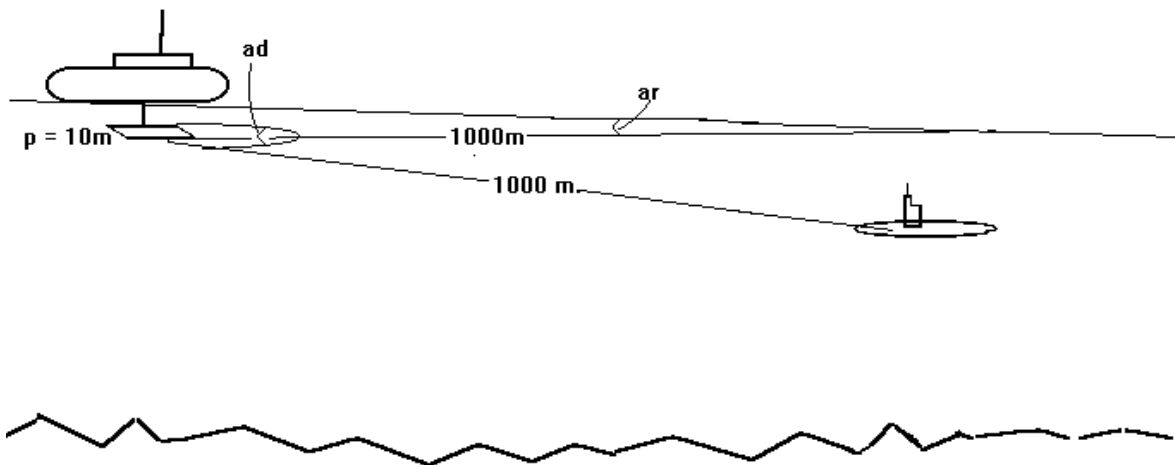
o) Si indica con S_b la capacità diffusiva del fondo

p) Si indica con S_v la capacità diffusiva del volume

3) Esempio di calcolo della riverberazione di superficie

Prendiamo inizialmente in esame la riverberazione di superficie prestando attenzione alla figura 1;

Figura 1



Nella figura 1 vediamo come la “nave pilota” sia disposta nel campo alla distanza di 1000 m dal “sommergibile 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 radenza (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 scoperta del bersaglio.

Impostiamo il calcolo di S_s secondo la formula di Chapman e Harris (la formula è stata scelta perché consente il calcolo di S_s anche in funzione della frequenza):

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

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

dove ar = angolo di radenza

v = velocità del vento in nodi

f = frequenza di emissione

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:

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

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

$$SL = 182 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$TS = 10 \text{ dB}$$

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

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

ar = angolo di radenza

ad = ampiezza del lobo di direttività

Dimensioni trasduttore:

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

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

sviluppiamo i calcoli:

calcolo del rapporto p/r:

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

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

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

si calcola β per velocità del vento pari a 10 nodi

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

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

Impostiamo il calcolo dell'angolo ad, di apertura del lobo orizzontale di emissione, mediante la soluzione in ϕ (radianti) dell'equazione:

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

calcolo della lunghezza d'onda:

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

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

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

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

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

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

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

calcolo dell'attenuazione per divergenza:

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

calcolo di EL

$$EL = (SL - 2TL + TS) = 182 - 120 + 10 = 72 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

calcolo della superficie del mare illuminata dall'impulso emesso:

$$\text{sup} = ((1500 * t_d) / 2) * q_r * r = ((1500 * 40/1000)/2) * .25 * 1000 = 7450$$

(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:

$$RL = SL - TL + S_s + TSR = 182 - 120 - 73 + 38.7 = 27.7 \text{ dB}/\mu\text{Pa} \text{ (valore della pressione dovuta alla riverberazione)}$$

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

$$\text{Eco/Riv.} = EL - RL = 72 - 27.7 = 44 \text{ dB} \text{ (rapporto eco/riverberazione)}$$

Il risultato del nostro esempio è estremamente favorevole e la riverberazione non rappresenta alcun problema. Il risultato è evidentemente scaturito dall'assunzione di una modesta velocità del vento, è pertanto importante ai fini dell'esercitazione conoscere come varia la riverberazione di superficie in funzione della variazione della velocità del vento ferme restando tutte le altre variabili che compaiono nel calcolo. Si consiglia pertanto di ripetere i calcoli per diverse e crescenti velocità del vento.

4) Esempio di calcolo della riverberazione di fondo

Prendiamo in esame ora la riverberazione del fondo:

prestando attenzione alla figura 2 vediamo la "nave pilota" disposta nel campo ad una distanza di 1000 m dal "sommersibile bersaglio"; la profondità nel sito è (h) m.

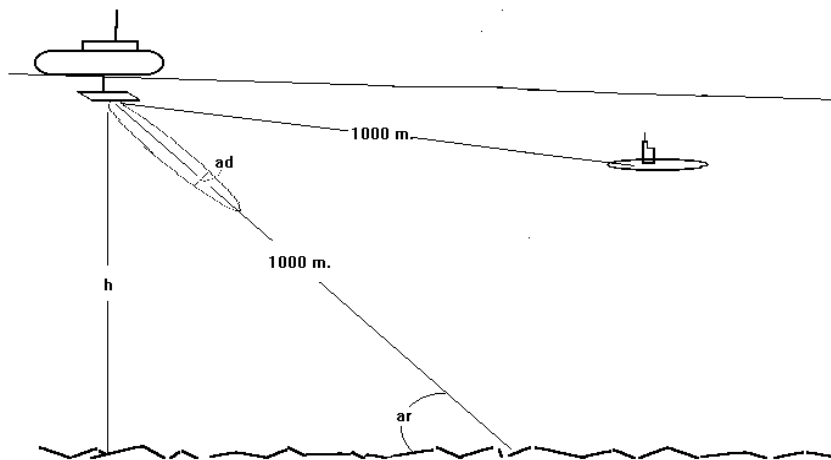
dalla figura si vedono inoltre:

* il percorso di un raggio acustico dal trasduttore al fondo della lunghezza di 1000 m.

* l'angolo di radenza (α_r) tra il raggio ed il fondo

* l'angolo (α_d) che compete al lobo di direttività orizzontale del trasduttore

Figura 2



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.

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:

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

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

$$SL = 182 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

$$TS = 10 \text{ dB}$$

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

calcolo dell'attenuazione per divergenza:

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

calcolo di EL

$$EL = SL - TL + TS = 182 - 120 + 10 = 72 \text{ dB}$$

Calcolo della superficie del fondo illuminata dall'impulso emesso:

$$\text{sup} = ((1500 * \text{td}) / 2) * \text{qr} * \text{r} = ((1500 * 40/1000)/2) * .25 * 1000 = 7450 \text{ (sup. irradiata in mq)}$$

calcolo della forza della superficie:

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

determinazione il valore della capacita diffusiva S_b :

$$S_b = f(\text{ar}) = f(14.4^\circ) = -48 \text{ dB}$$

(valore scelto di esempio per $f=10000 \text{ Hz}$ e fondo sabbioso)

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

$$\text{RL} = \text{SL} - \text{TL} + S_b + \text{TSR} = 182 - 120 - 48 + 38.7 = 52.7 \text{ dB}/\mu\text{Pa (valore della pressione dovuta alla riverberazione)}$$

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

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

Il risultato ottenuto con i dati che abbiamo inserito, è indicativo di una situazione teorica buona per il piccolo valore 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, per valori maggiori di TS 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 di dati esterni di S_b , 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 19.3 dB

Se aumentiamo la frequenza di emissione da 10000 a 16000 otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 21.3 \text{ dB}$

Se aumentiamo la lunghezza del trasduttore da 0.8 m a 1.6 m otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 22.3 \text{ dB}$

Se modifichiamo contemporaneamente, sia la durata dell'impulso, sia la frequenza, sia la lunghezza del trasduttore otteniamo $\text{Eco/Riv.} = 25.6 \text{ dB}$.

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.

‘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 S_b introdotto dall'esterno

INPUT "SB"; SB ' valore della capacità di riflessione in funzione angolo di radenza ,

‘FASE DI CALCOLO

$\lambda = (1500 / f)$

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

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.

sup = INT ((1500 * td) / 2) * qr * r) 'superficie illuminata

tsr = INT ((10 * Log(sup)) / Log(10))

RL = sl - tl + SB + tsr ' valore della pressione di RL

sr = EL - 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 "SB = 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

5) Esempio di calcolo della riverberazione di volume

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:

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

dove:

S_v = valore della capacità diffusiva del mezzo

$V = (\tau/2) \psi r^2$ = volume d'acqua illuminato

$\tau = T_d$ = durata impulso

ψ = angolo solido d'emissione in radianti

Impostiamo il calcolo dell'angolo solido di emissione ψ , mediante la soluzione in ψ dell'equazione:

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

assunto :

$r = 1000 \text{ m}$

$SL = 182 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$

$TS=10\text{dB}$

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

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

$$S_v = -85 \text{ dB (dato preso ad esempio di capacità diffusiva, ore diurne alla frequenza di 1000Hz)}$$

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 $q = (10 \text{Log } \psi)$

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

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

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 di EL

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

calcolo del livello di riverberazione di volume

$$RL_v = SL - TL + S_v + 10 \log V = 182 - 120 - 85 + 66 = 51 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

calcolo del rapporto eco/riverberazione in dB:

$$\text{Eco/Riv.} = EL - RL_v = 72 - 51 = 21 \quad (\text{rapporto eco/riverberazione})$$

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

Si può concludere che la riverberazione di volume non è, nei nostri esempi, la più influente tra i fenomeni interferenti sul rapporto eco/riverberazione.