

Applicazioni numeriche per il calcolo della forza del bersaglio

1) Generalità

Quando un sonar attivo emette impulsi acustici per la ricerca di bersagli subacquei, questi riflettono una porzione dell'energia ricevuta sotto forma di eco; con la dizione "forza del bersaglio" si intende il valore, espresso in dB, del rapporto fra l'intensità dell'energia riflessa e l'intensità dell'onda incidente.

La forza del bersaglio viene definita comunemente dal termine TS (Target Strength). Il calcolo del TS per corpi aventi strutture geometriche regolari è stato affrontato, non così il calcolo di strutture irregolari quali ad esempio un'unità sommergibile dotata di torretta e quant'altro ne costituisce l'insieme dello scafo.

Nel prosieguo di questa nota indicheremo alcune modalità di calcolo del TS per le forme regolari, ed indicheremo le metodologie da adottare per il rilievo sperimentale del TS di corpi sommersi.

Si deve ricordare che i valori di TS calcolati si discostano sensibilmente dai corrispondenti valori misurati sul campo.

2) Il Target Strength delle forme regolari

Riportiamo in questo paragrafo due formule per il calcolo del TS di corpi a geometria regolare; queste forme, dopo opportune parametrizzazioni, potranno essere indicative del TS di corpi irregolari simili nell'aspetto.

2.1) Il Target Strength della sfera

La sfera è il bersaglio acustico che a parità di superficie di sezione con altri rende, verso il sonar che lo ha illuminato, l'eco più debole; ciò è dovuto ovviamente al fatto che la sfera illuminata dall'impulso lo riflette, oltre che verso la sorgente sonora, anche verso tutte le altre direzioni dato che, in ciascun punto della superficie curva, l'angolo che forma il raggio incidente è uguale all'angolo del raggio riflesso che pertanto si allontana angularmente dalla direzione di provenienza dell'impulso.

L'espressione per il calcolo del TS di una sfera di grandi dimensioni è la più semplice tra tutte le formule di calcolo per questo tipo di variabili acustiche:

$$TS = 10 \text{ Log } (r^2/4)$$

Dove

-r è il raggio della sfera

-e devono sussistere le seguenti condizioni:

$R > r$ (dove R è la distanza della sfera dalla sorgente)

$(2\pi/\lambda) r \gg 1$ con $\lambda = c/f$

c =velocità del suono in acqua 1530 m/sec.

f = frequenza dell'impulso acustico

Calcoliamo ora il valore del TS di una sfera di raggio $r = 4\text{m}$. illuminata da un impulso alla frequenza di 10000Hz:

verifichiamo che sia $(2\pi/\lambda) r \gg 1$

essendo $\lambda = 1530/10000 = 0.153$ si ha $4 (6.28/0.153) = 164 \gg 1$ e quindi

$$TS = 10 \text{ Log} (4^2/4) = 6 \text{ dB}$$

2.2) Il Target Strength del cilindro

L'espressione per il calcolo del TS di una cilindro di grandi dimensioni, che riceva l'impulso acustico in direzione perpendicolare al proprio asse, è la seguente:

$$TS = 10 \text{ Log} (r l^2/2\lambda)$$

Dove

- r è il raggio della cilindro

- l è la lunghezza del cilindro

-e devono sussistere le seguenti condizioni:

$R > l^2/\lambda$ (dove R è la distanza del cilindro dalla sorgente)

$(2\pi/\lambda) r \gg 1$ con $\lambda = c/f$

c =velocità del suono in acqua 1530 m/sec.

f = frequenza dell'impulso acustico

Calcoliamo ora il valore del TS di un cilindro di raggio $r = 2.5\text{m}$. e lunghezza $l = 10\text{metri}$, illuminato da un impulso alla frequenza di 10000Hz:

verifichiamo che sia $(2\pi/\lambda) r \gg 1$

essendo $\lambda = 1530/10000 = 0.153$ si ha $2.5 (6.28/0.153) = 103 \gg 1$ e quindi

$$TS = 10 \text{ Log} [2.5*10^2/(2*0.153)] = 29 \text{ dB}$$

Ora se osserviamo che la superficie della sezione del cilindro lungo l'asse è di $2.5 \times 2 \times 10 = 50$ mq e che tale superficie è quasi uguale a quella della sezione massima della sfera esaminata nel paragrafo precedente ($3.14 \times 4^2 = 50.2$ mq), e che il TS del cilindro è 29 dB contro quello della sfera che è 6 dB si conferma che la sfera è il bersaglio acustico che a parità di superficie di sezione con altri rende, verso il sonar che lo ha illuminato, l'eco più debole.

Dai dati riportati nella letteratura specializzata si può osservare che il TS di un sommergibile di medie dimensioni, che offre il fianco verso la sorgente, è dell'ordine di 25 dB, valore prossimo al TS del cilindro che pertanto, pur con le problematiche relative alla sua movimentazione e posizionamento, può essere assunto come simulacro di misura in vece di un battello vero.

3) La misura del TS sul campo

Abbiamo accennato al fatto che il TS di bersagli a forma irregolare non può essere calcolato e che pertanto richiede valutazioni sperimentali in mare.

Una ovvia ed immediata soluzione al problema potrebbe sembrare la seguente:

Si voglia determinare il TS di un bersaglio, disposto ad una distanza di 1000 metri, sottoposto alla illuminazione degli impulsi emessi da un sonar attivo:

*la zona di mare non è riverberante

*frequenza di emissione / ricezione 6000 Hz

*attenuazione del segnale acustico durante il percorso (per propagazione sferica ed assorbimento)

$$TL = 20 \log 1000 + (.2f + .00015 f^2) = 61 \text{ dB}$$

*Emissione di impulsi acustici di livello $SL = 200 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$

-In questa situazione risulta: livello dell'eco ricevuto $EL = 95 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$

per la determinazione del TS del bersaglio deve essere risolta in TS l'equazione:

$$EL = SL - 2TL + TS$$

cioè $TS = EL + 2TL - SL = 95 \text{ dB}/\mu\text{Pa} + 2 * 61 \text{ dB} - 200 \text{ dB}/\mu\text{Pa} = 17 \text{ dB}$

sembra quindi che, con il calcolo di $TS = 17 \text{ dB}$, il problema sia risolto.

Purtroppo la situazione fisica reale non consente che il termine $2TL = 122 \text{ dB}$ corrisponda al reale valore dell'attenuazione del suono in mare, anche se tale valore

sarebbe più che accettabile in un calcolo di previsione della portata di scoperta del sonar. Le incertezze sull'entità del valore $2TL$ sono tali da alterare completamente la valutazione del TS del bersaglio e pertanto rendono questo tipo di misura non attendibile.

Un metodo di misura che elimina automaticamente questa incertezza è dovuto ad Urick ed è riportato nel paragrafo seguente.

4) Il sistema di misura di Urick

Il sistema per la misura del TS ideato da Urick, elimina le incertezze di valutazione del TL mediante doppie misure che non necessitano della sua quantizzazione, il sistema è strutturato secondo la figura 1:

*Il trasduttore di emissione Tx sulla “nave pilota” per l’invio dell’impulso che deve generare l’eco

*Il trasduttore di ricezione Rx sulla “nave pilota” per l’acquisizione rispettivamente degli impulsi d’eco e del transponder.

*Il trasduttore Tr del transponder collocato sul “sommersibile bersaglio” .

*Il trasduttore Rx_1 collocato sul “sommersibile bersaglio per l’acquisizione dell’impulso emesso da Tx e dell’impulso del transponder; questo trasduttore invia le informazioni al sistema di registrazione all’interno del “sommersibile bersaglio”, informazioni che saranno disponibili per il calcolo del TS soltanto alla fine della campagna di misure.

Le variabili acustiche in gioco sono:

SL = Livello indice emesso da Tx

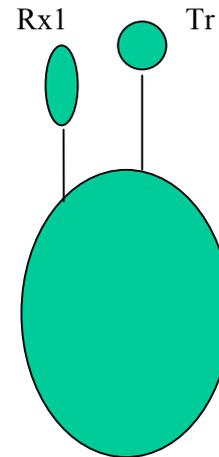
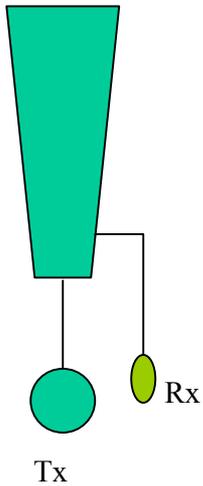
SL' = Livello indice emesso da Tr

TL = Attenuazione del suono durante il percorso

TS = Target strength del bersaglio

Figura 1

Nave pilota



Sommergibile bersaglio

Con il sistema illustrato la soluzione dell'equazione per la misura del TS, con tutte le variabili espresse in dB, è divisa in tre parti come segue:

*parte registrata sulla “nave pilota”

eco di ritorno $A1 = SL + TS - 2TL$

impulso del transponder $A2 = SL' - TL$

*parte registrata sul “sommergibile bersaglio”

impulso del transponder $B1 = SL'$

impulso dalla “nave pilota” $B2 = SL - TL$

* parte calcolata dopo la raccolta dati

$$A_0 = A_2 - A_1 = (SL' - TL) - (SL + TS - 2TL) = SL' - SL - TS + TL$$

$$B_0 = B_1 - B_2 = SL' - SL + TL$$

$$(B_0 - A_0) = (SL' - SL + TL) - (SL' - SL - TS + TL) = TS$$

Come si è visto il sistema non necessita della valutazione numerica di TL dato che questo termine interviene nell'equazione finale, sia con il segno + che con il segno - elidendosi.

I rilievi sul campo intesi a misurare il TS di un bersaglio dovranno essere ripetuti in funzione dell'angolo tra la direzione di provenienza degli impulsi acustici e l'asse del bersaglio stesso detto "angolo di esposizione"; sono caratteristiche le variazioni del TS di un sommergibile che variano da circa +10 dB per angolo di esposizione di 0° e circa +25 dB per angolo di esposizione di 90°.

5) Esempio di calcolo che coinvolge il TS di un bersaglio

Il calcolo della portata di un sonar attivo, in assenza di riverberazione, è impostato sull'equazione:

$$SL - 2TL + TS = NL - DI + DT$$

Se ad esempio pensiamo di utilizzare il sonar per localizzare delle mine dovremo inserire nell'equazione sopra riportata l'espressione che definisce il TS per un corpo cilindrico quale :

$$TS = 10 \text{ Log } (r l^2 / 2\lambda) = 10 \text{ Log } (r l^2 f / 2c)$$

Dato che $2TL = 2(60 + 20 \text{ Log } R) - 2R\alpha$

dove $\alpha = [0.1 f^2 / (1 + f^2)] + [40 f^2 / (4100 + f^2)] + 2.75 * 10^{-4} f^2$

è l'attenuazione per assorbimento secondo Thorp

l'equazione iniziale può essere scritta pertanto, con maggior dettaglio, come segue:

$$SL - 2(60 + 20 \text{ Log } R) - 2R\alpha + 10 \text{ Log } (r l^2 f / 2c) = NL - DI + DT$$

Dove le variabili che condizionano la scoperta sono :

- R che indica la distanza del bersaglio in Km
- f che indica la frequenza degli impulsi di emissione

nella nuova equazione osserviamo due termini, entrambi funzione della frequenza, che hanno segno opposto:

$$\text{il primo } 2R\alpha = 2R \{ [0.1 f^2/(1+f^2)] + [40 f^2/(4100+f^2)] + 2.75 * 10^{-4} f^2 \}$$

indica un'attenuazione che cresce con il crescere della frequenza (per assorbimento)

il secondo $10 \text{ Log } (r l^2 f/2c)$ indica come si incrementa l'eco con il crescere della frequenza (forza del bersaglio)

Dato che le leggi che governano le due funzioni indicate sono diverse esisterà una frequenza particolare per la quale la somma delle due avrà il massimo valore ed a questa corrisponderà il maggior vantaggio della forza del bersaglio sull'attenuazione per assorbimento.

Si tratta pertanto di calcolare la frequenza che rende massima la funzione

$$Y = - 2R\alpha + 10 \text{ Log } (r l^2 f/2c)$$

fissati ad esempio:

- R=10000 metri (distanza sonar bersaglio)

-dimensioni del bersaglio: raggio $r = 0.5 \text{ m.}$; lunghezza $l = 2 \text{ m.}$

Il calcolo della derivata di $Y = \phi(f)$, che risolverebbe il problema, sarebbe cosa lunga e tediosa; è invece possibile ottenere rapidamente il risultato mediante routine grafica al P.C. il cui tracciato è mostrato in figura 2.

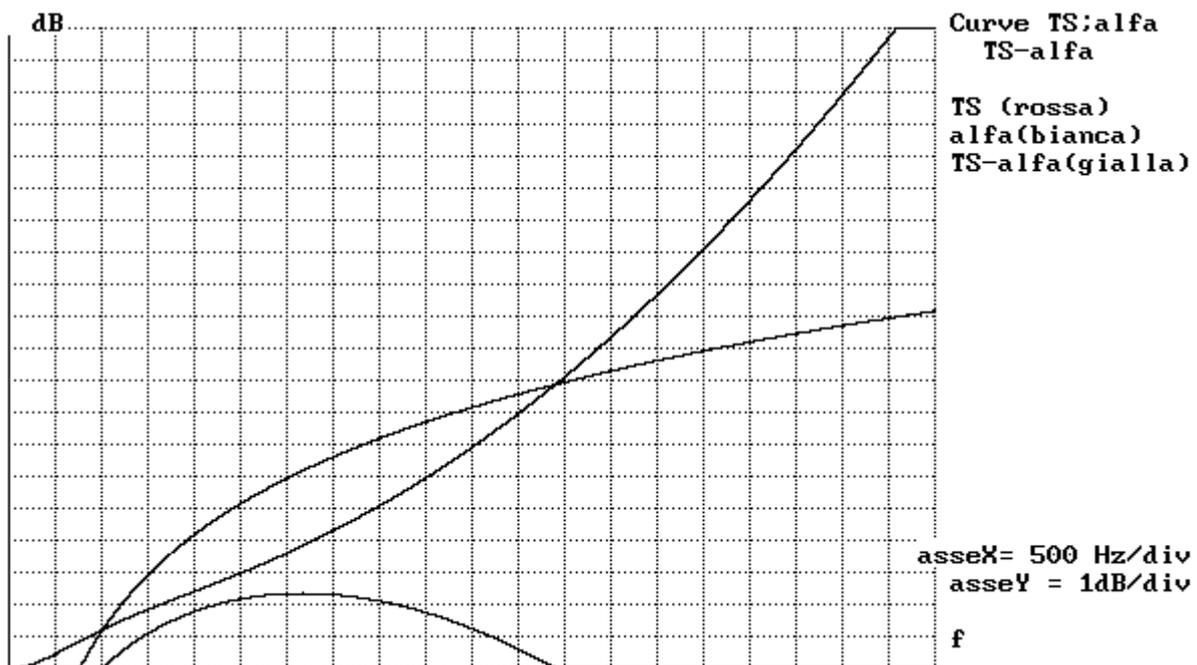
Nella figura sono tracciate tre curve:

-l'andamento in funzione di "f" del TS del bersaglio (curva convessa)

-l'andamento in funzione di "f" dell'attenuazione per assorbimento (curva concava)

-l'andamento in funzione di "f" della funzione $Y = \phi(f)$ (curva con massimo)

Figura 2



Il tracciato ha le seguenti caratteristiche:

- le ascisse (asse delle frequenze) sono divise in 20 intervalli da 500 Hz ciascuno
- le ordinate sono divise in 20 intervalli da 1dB ciascuno

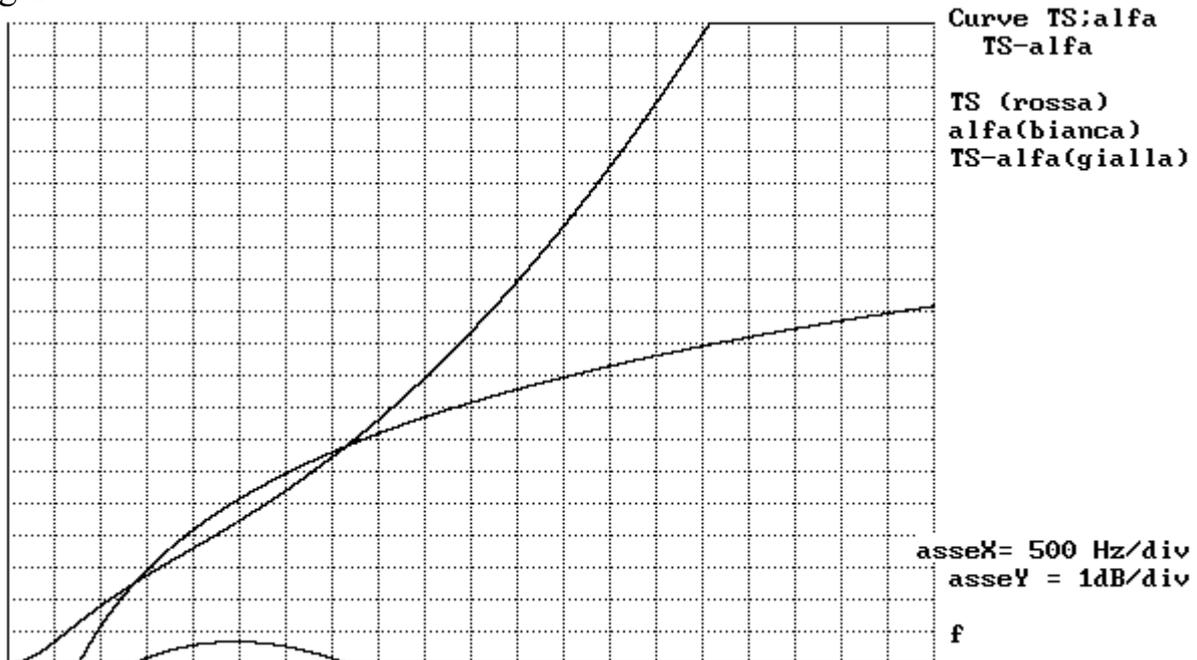
Le informazioni che si ricavano dalle curve sono:

- la curva $Y = \phi(f)$ mostra il suo massimo per $f = 3200$ Hz, questa è la frequenza che risolve il nostro problema
- la forza del bersaglio a 3200 Hz è $TS = 6.3$ dB
- l'attenuazione per assorbimento a 3200 Hz è 4 dB

Il vantaggio della forza del bersaglio rispetto all'attenuazione per assorbimento è di 2.3 dB.

Un secondo esempio significativo si può ottenere ipotizzando una distanza tra sonar e bersaglio di 15000 metri invece che i 10000 metri assunti nell'esercizio precedente, lasciando le altre variabili inalterate otteniamo i grafici di figura 3

Figura 3
dB



Le informazioni che si ricavano dalla nuova figura sono:

-la curva $Y = \phi(f)$ mostra il suo massimo per $f = 2500$ Hz , questa è la frequenza che risolve il nostro problema

-la forza del bersaglio a 2500 Hz è $TS = 5.2$ dB

-l'attenuazione per assorbimento a 2500 Hz è 4.4 dB

Il vantaggio della forza del bersaglio rispetto all'attenuazione per assorbimento è di 0.8 dB.

Concludiamo questo lavoro con l'esposizione del programma di calcolo che ha consentito di ottenere i risultati voluti; la routine è scritta in Qbasic ma può essere facilmente trasformata in qualsiasi linguaggio di cui si abbia dimestichezza.

Nell'ambito della routine sono stati fissati dei parametri che possono essere modificati a piacere per svolgere esercitazioni in modi e dimensioni diverse rispetto a quelle impostate; questi sono:

-frequenza massima di esplorazione $k=10000$ Hz

-distanza sonar bersaglio = 10 o 15 Km

-dimensioni del bersaglio $r = .5$ m; $l = 2$ m.

-scala asse delle frequenze nelle istruzioni:

```
PSET ((k * 4.6 / 100 + 20), (330 - (320 / 20) * (x))), 14
```

-scala asse delle ampiezze nelle istruzioni:

```
PSET ((k * 4.6 / 100 + 20), (330 - (320 / 20) * (x))), 14
```

Programma di calcolo e grafica:

```
CLS
SCREEN 9

'CALCOLO FREQUENZA OTTIMALE
ini:
CLS

SCREEN 9
FOR x = 20 TO 480 STEP 23
FOR y = 10 TO 330 STEP 2

PSET (x, y), 7

NEXT y

NEXT x

FOR y = 10 TO 330 STEP 16
FOR x = 20 TO 480 STEP 3

PSET (x, y), 7

NEXT x

NEXT y

LINE (20, 10)-(20, 330)

LOCATE 1, 62: PRINT "Curve TS;alfa"
LOCATE 2, 62: PRINT "  TS-alfa"

LOCATE 4, 62: PRINT "TS (rossa)"

LOCATE 5, 62: PRINT "alfa(bianca)"

LOCATE 6, 62: PRINT "TS-alfa(gialla)"
```

```
LOCATE 20, 60: PRINT "asseX= 500 Hz/div"
```

```
LOCATE 21, 62: PRINT "asseY = 1dB/div"
```

```
LOCATE 23, 62: PRINT "f "
```

```
LOCATE 1, 1: PRINT "dB"
```

```
'ANELLO PER IL TRACCIAMENTO CURVE
```

```
FOR k = 1 TO 10000 STEP .1      'frequenza in Hz
```

```
k2 = k / 1000 'frequenza in Khz
```

```
'Attenuazione per assorbimento secondo Thorp
```

```
a = (.1 * (k2 ^ 2)) / (1 + (k2 ^ 2)) + (40 * (k2 ^ 2)) / (4100 +  
+(k2 ^ 2)) + (2.75 * (k2) ^ 2) / 10000
```

```
ad = 2 * 10 * a 'attenuazione per assorb. alla distanza di 10 Km
```

```
ts = 10 * LOG(((.5 * 4) * k / 1530)) / LOG(10)'forza del bersaglio
```

```
IF ad > 20 THEN ad = 20
```

```
PSET ((k * 4.6 / 100 + 20), (330 - (320 / 20) * ad))
```

```
x = (ts - ad)
```

```
IF x < 0 THEN x = 0
```

```
IF ts < 0 THEN ts = 0
```

```
PSET ((k * 4.6 / 100 + 20), (330 - (320 / 20) * (x))), 14
```

```
PSET ((k * 4.6 / 100 + 20), (330 - (320 / 20) * (ts))), 4
```

```
NEXT
```