

Calcolo dei livelli elettrici di ricezione e trasmissione del sonar.

1) Generalità

Le applicazioni numeriche per il calcolo dei livelli elettrici di ricezione e di emissione di un sonar necessitano di una piccola premessa che riguarda i dispositivi di traduzione, idrofoni riceventi e trasmettenti. E' necessario infatti avere il minimo delle informazioni relative ai numeri che caratterizzano questi sensori per affrontare gli esercizi che ci interessano; illustriamo pertanto nel paragrafo seguente alcune caratteristiche fondamentali di questi componenti del sonar.

2) Idrofoni riceventi

Gli idrofoni riceventi sono caratterizzati, tra le altre che non citiamo, da tre variabili fondamentali:

La sensibilità SI espressa in $dB/\mu\text{Volt}/\mu\text{Pa}$

che indica quale livello di tensione elettrica, in dB sopra 1 microvolt, può essere generata dall'idrofono se questo è sottoposto ad un segnale acustico avente la pressione di 1 microPascal.

Il guadagno di direttività DI espresso in dB

che indica quale vantaggio di sensibilità ha il segnale acustico coerente rispetto al rumore ambiente non coerente.

L'impedenza Z espressa in ohm

che indica la caratteristica dell'idrofono come generatore di energia elettrica

Le caratteristiche dei trasduttori variano in un ampio ventaglio di valori dipendenti, sia dalla struttura costruttiva, sia dai materiali impiegati, sia dalla frequenza di lavoro, come ad esempio:

la sensibilità da $SI = -100\text{dB}/\mu\text{V}/\mu\text{Pa}$ ad $SI = -20\text{dB}/\mu\text{V}/\mu\text{Pa}$.

la direttività da $DI = 0\text{ dB}$ a $DI = 6\text{ dB}$

l'impedenza da $Z = 10\text{ ohm}$ a $Z = 5000\text{ ohm}$ (resistivi o reattivi)

questa la gamma dei valori tra i quali il progettista del sonar potrebbe trovare quelli da mettere a calcolo per valutare i livelli dei segnali che vengono applicati al sonar.

Negli esempi di calcolo che saranno svolti nel prosieguo di questa nota impiegheremo alcuni valori, scelti a piacere, tra quelli sopra indicati.

2)Trasduttori di emissione

I trasduttori di emissione sono caratterizzati, tra le altre che non citiamo, da due variabili fondamentali:

La risposta RT espressa in $dB/\mu Pa/Volt$

che indica quale livello di pressione acustica, in dB sopra 1 microPascal, può essere generata dall'idrofono se questo è sottoposto ad un segnale elettrico avente l'ampiezza di 1 Volt.

L'impedenza Z espressa in ohm

che indica la caratteristica del trasduttore come utilizzatore di energia elettrica

Le caratteristiche dei trasduttori variano in un ampio ventaglio di valori dipendenti, sia dalla struttura costruttiva, sia dai materiali impiegati, sia dalla frequenza di lavoro, come ad esempio:

risposta da $RT= 100 dB/\mu Pa/V$ a $RT= 200 dB/\mu Pa /V$

l'impedenza da $z=10$ ohm a $z=30000$ ohm (resistivi o reattivi)

questa la gamma dei valori tra i quali il progettista del sonar potrebbe trovare quelli da mettere a calcolo per valutare i livelli delle pressioni di segnale che vengono generati dal sonar.

Negli esempi di calcolo che saranno svolti nel prosieguo di questa nota impiegheremo alcuni valori, scelti a piacere, tra quelli sopra indicati.

3)Esempio di calcolo dei livelli elettrici in ricezione

Vogliamo calcolare i livelli elettrici che interessano un canale di amplificazione collegato ad un idrofono ricevente di un sonar colpito, sia dal segnale del bersaglio, sia dal rumore del mare.

Le variabili che interessano il fenomeno sono:

- tipo di propagazione ipotizzata
 - tipo del bersaglio
 - frequenza inferiore f_1 della banda di ricezione del sonar
 - frequenza superiore f_2 della banda di ricezione del sonar
 - stato del mare
 - sensibilità dell'idrofono ricevente
 - livello delle tensioni all'ingresso del canale di amplificazione
- vediamo di quantizzarle per sviluppare l'esercizio:

-si sceglie la propagazione di tipo sferico

-Si ipotizza come bersaglio un cacciatorpediniere navigante alla velocità di 15 nodi (il livello spettrale di questo bersaglio è inserito come dato fisso nel programma di calcolo che esporremo)

-si imposta per f1 il valore di 5000 Hz

-si imposta per f2 il valore di 10000 Hz

-si ipotizza lo stato del mare a forza 4

-si assume la sensibilità dell'idrofono ricevente pari a $SI = -80 \text{ dB}/\mu\text{V}/\mu\text{Pa}$

-si assume per il DI dell'idrofono il valore $DI = 4 \text{ dB}$

le ultime variabili della serie:

-livello delle tensioni all'ingresso del canale di amplificazione devono essere l'obiettivo del nostro esercizio; obiettivo che si raggiunge tracciando la curva del livello della tensione all'uscita dell'idrofono ricevente secondo la funzione di R (distanza dal bersaglio) per la tensione di segnale dovuta al bersaglio stesso:

$$V_{us} = SL + BW + (60 + 20 \text{ Log } R + R(0.2f + 0.00015 f^2)) + SI$$

e tracciando la curva della tensione all'uscita dell'idrofono ricevente generata dal rumore del mare:

$$V_{un} = NL + BW - DI$$

con V_{us} e V_{un} espresse in $\text{dB}/\mu\text{Volt}/\text{BW}$

Il tracciamento delle curve è fatto mediante una routine di calcolo in Qbasic che gira su P.C. Il programma è di seguito illustrato:

```
'CALCOLO LIVELLI TENSIONI IDROFONICHE
'sorgente tipo: cacciatorpediniere a 15 nodi
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, 170)-(480, 170)
LOCATE 1, 2: PRINT "dB/micr.V"
LOCATE 5, 1: PRINT "+"
LOCATE 13, 1: PRINT "0dB"
LOCATE 21, 1: PRINT "-"
LOCATE 3, 62: INPUT "f1"; f1
LOCATE 4, 62: INPUT "f2"; f2
LOCATE 5, 60: PRINT "Sensibilit... idro"
LOCATE 6, 58: INPUT "dB/micrV./micrPa"; sens
LOCATE 7, 58: INPUT "DI idrof."; DI
LOCATE 8, 58: INPUT "forza del mare"; ss
LOCATE 21, 62: PRINT "asseX = 2.5Km/div"
LOCATE 22, 62: PRINT "asseY = 10dB/div"

propagaz:
a$ = INKEY$

LOCATE 9, 60: PRINT "Popagaz. S or C/S ? "
IF (a$) = CHR$(115) THEN LOCATE 10, 60: PRINT "Propagaz.Sfer."
IF (a$) = CHR$(115) THEN hhh = 20
IF (a$) = CHR$(115) THEN GOTO procedi
IF (a$) = CHR$(99) THEN LOCATE 11, 60: PRINT "Propagaz.Sfer/Cil"

```

IF (a\$) = CHR\$(99) THEN hhh = 10

IF (a\$) = CHR\$(99) THEN GOTO procedi

GOTO propagaz

procedi:

'Tabella livello rumore del mare a 1000 Hz in funzione dello stato
' del mare SS'

IF ss = 0 THEN N = 44

IF ss = 1 THEN N = 55

IF ss = 2 THEN N = 62

IF ss = 3 THEN N = 65

IF ss = 4 THEN N = 67

IF ss = 5 THEN N = 69

IF ss = 6 THEN N = 70

k = SQR(f2 * f1) 'frequenza centrale in Hz

k1 = (f2 - f1) 'banda in Hz

k2 = k / 1000 'frequenza centrale in Khz

SL = 138 - 20 * LOG(k / 1000) / LOG(10) 'dB/microPa/Hz CT a 15 nodi

NL = N - 16.6 * LOG(k / 1000) / LOG(10) 'dB/microPa/Hz

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

BW = 10 * LOG(k1) / LOG(10) 'incremento rumore dovuto alla banda di
'ricezione

SLt = SL + BW 'SL in tutta la banda

livdb = SLt + sens 'tensione di segnale ai capi del trasduttore
' db/micro.V/BW

NLt = NL + BW - DI 'rumore del mare in banda

ntra = NLt + sens 'tensione di rumore ai capi del trasduttore
db/micro.V/BW

```

'ANELLO PER IL TRACCIAMENTO CURVA FINO A 50 Km
FOR R = 1 TO 50000 STEP .1 'R è espresso in metri
Tlp = (livdb) - (hhh * LOG(R) / LOG(10)) - a * (R / 1000)
'equazione attenuazione f(R)'IF Tlp < 0 THEN Tlp = 0
If Tlp < -100 THEN Tlp = -100
PSET ((R * 9.2 / 1000 + 20), (10 + 160 - 1.6 * Tlp)), 14
PSET ((R * 9.2 / 1000 + 20), (10 + 160 - 1.6 * ntra)), 4
NEXT
fine:
a$ = INKEY$
IF (a$) = CHR$(27) THEN END
IF (a$) = CHR$(114) THEN GOTO ini
GOTO fine

```

Prendiamo ora in esame il programma nel quale dobbiamo inserire i dati sopra impostati, la routine, data per fissa la velocità del bersaglio a 15 nodi, calcola:

- la banda di lavoro
- la frequenza media geometrica degli estremi della banda di lavoro
- il livello di pressione spettrale SL emesso dal cacciatorpediniere a 15 nodi
- il livello di pressione SL
- il livello spettrale del rumore del mare NL alla forza prescelta
- il valore dell'attenuazione per divergenza, sferica o sferico/cilindrica, in base alla scelta fatta.
- il valore dell'attenuazione per assorbimento secondo la formula di Thorp
- il livello della tensione di segnale in uscita dall'idrofono
- il livello della tensione di rumore in uscita dall'idrofono

Una volta inserite tutte le variabili richieste dal programma compare nel video il tracciato riportato in figura 1; per comprendere meglio il significato della figura specificiamo:

Il tracciato cartesiano ha in ascisse 20 divisioni, a ciascuna di esse è stato attribuito l'intervallo in distanza pari a 2500 metri per un totale a fondo scala di 50000 metri.

L'asse delle ordinate è stato diviso in 20 intervalli, a ciascuno di essi è stato attribuito un intervallo di 10dB.

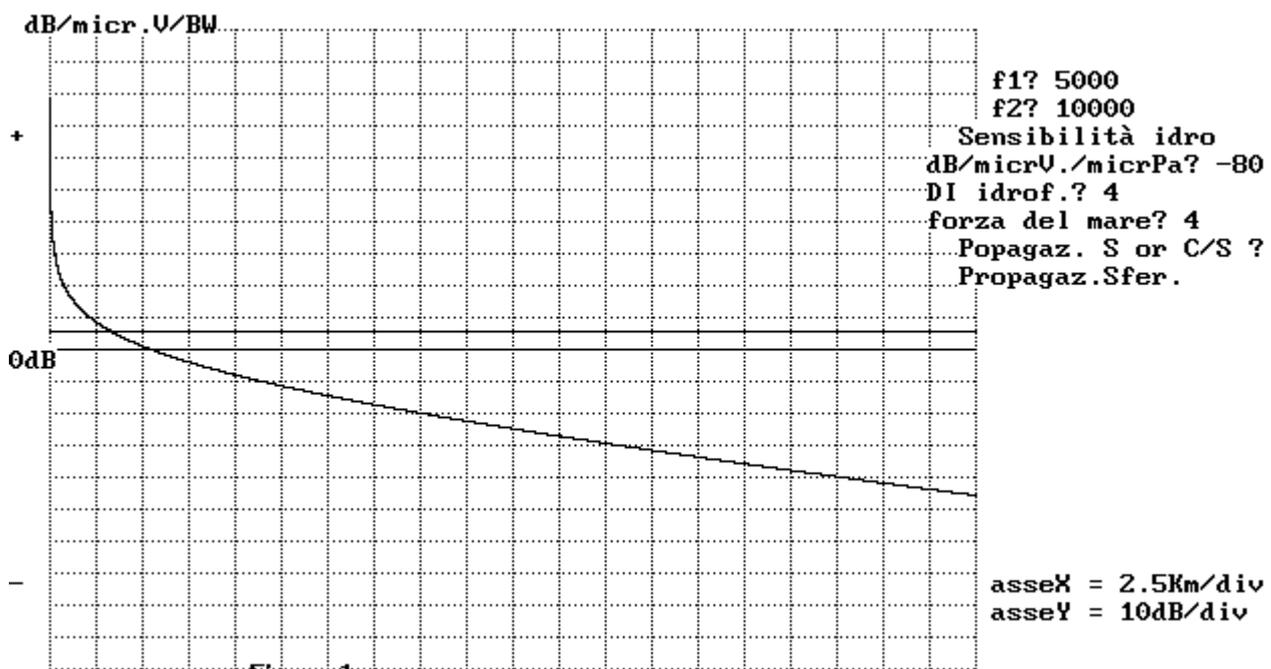
Sull'asse delle ordinate compaiono una linea bianca con la scritta 0 dB e due campi, l'uno superiore (+), l'altro inferiore (-); al livello 0 dB corrispondono le tensioni in uscita dall'idrofono ricevente che hanno il valore di 0dB/ μ Volt corrispondente ad 1microvolt, il campo superiore accoglie i livelli di tensione da 0 fino a 100dB/ μ Volt, il campo inferiore accoglie livelli di tensione da 0 fino a -100dB/ μ Volt.

L'interpretazione delle curve è la seguente:

La retta di colore rosso, parallela all'asse delle ascisse, rappresenta il livello di tensione V_{un} , causato dal rumore del mare all'uscita del trasduttore, livello che ha un valore di circa +5dB/ μ Volt nella banda impostata, corrispondente ad una tensione di 1.8 microvolt.

La curva di colore giallo, con andamento decrescente con il crescere di R, mostra che a 2500 metri di distanza dal bersaglio, il rumore emesso da questo genera una tensione di segnale ai capi del trasduttore di circa +8dB/ μ Volt pari 2.5 μ Volt nella banda impostata.

Alla distanza di 25000 metri il bersaglio genera ai capi dell'idrofono un livello di tensione di circa -24dB/ μ Volt pari a 0.06 μ Volt nella banda impostata.



I valori delle tensioni idrofoniche che emergono dai grafici della figura 1 danno l'impressione di una situazione estremamente difficile per il livello del segnale che per distanze del bersaglio superiori a circa 3000 metri risulta nettamente sotto il

livello del disturbo causato dal rumore del mare; ciò corrisponde alla realtà dei fatti ma dato che, nell'ipotesi fatte per questo tipo di valutazioni, non viene considerato il guadagno di direttività dell'insieme dei singoli idrofoni che costituiscono poi la base ricevente del sonar, la situazione dei livelli non deve essere considerata negativa ma indicativa della dinamica dei livelli stessi che condizioneranno poi il progetto dei canali di amplificazione.

Si ha facilmente un'indicazione, d'esempio, della dinamica che deve essere accolta dagli amplificatori del sonar osservando:

*il livello più elevato del segnale, che può essere misurato a 1000 metri dal bersaglio, ad un valore di circa $+15\text{dB}/\mu\text{Volt}$

*il livello più basso del segnale, che può essere misurato a 30000 metri dal bersaglio, con $-30\text{ dB}/\mu\text{Volt}$

con una variazione complessiva(dinamica)di 45 dB.

Una parola deve ancora essere spesa sulle caratteristiche di impedenza dell'idrofono ricevente preso ad esempio nel nostro esercizio; se ad accompagnare il valore della sensibilità indicato in $SI=-80\text{ dB}/\mu\text{Volt}/\mu\text{Pa}$ ci fosse un valore di impedenza dell'ordine di $-j20000\text{ ohm}$, le caratteristiche di ingresso dell'amplificatore idrofonico, necessarie per garantire perdite d'inserzione nulle e sfasamento dell'ordine di un solo grado elettrico, dovrebbero indicare una impedenza d'ingresso di circa 1 Mohm.

Un secondo esempio molto significativo, che mette in evidenza come gioca l'attenuazione per assorbimento sul livello dei segnali in uscita dall'idrofono, si ha quando il sonar è delegato a scoprire bersagli in campi di frequenza elevati; supponiamo di ripetere l'esercizio precedente con le identiche impostazioni di variabili eccezione fatta per il campo di frequenza di lavoro che si modifica dal precedente 5000-10000 Hz al nuovo da 15000-30000 Hz.

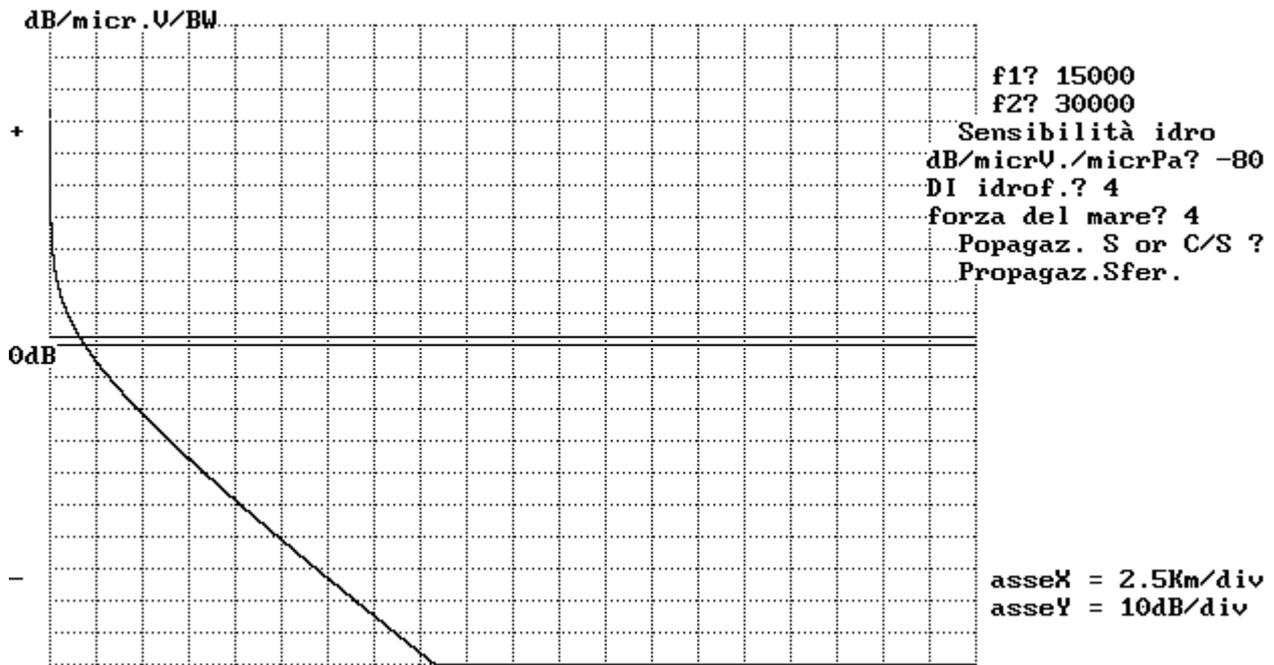
Impostando nuovamente i dati con la nuova banda di ricezione abbiamo il tracciato di figura 2.

La retta di colore rosso, parallela all'asse delle ascisse, rappresenta il livello di tensione V_{un} , causato dal rumore del mare all'uscita del trasduttore, livello che con la nuova banda di ricezione ha un valore di circa $+2\text{dB}/\mu\text{Volt}$, corrispondente ad una tensione di 1.2 microvolt; questo valore è inferiore a quello dell'esempio precedente perché il rumore del mare decresce con il crescere della frequenza.

La curva di colore giallo, con andamento decrescente con il crescere di R, mostra ora che a 2500 metri di distanza dal bersaglio, il rumore emesso da questo genera una tensione di segnale ai capi del trasduttore di circa $-7\text{dB}/\mu\text{Volt}$ pari $0.4\ \mu\text{Volt}$, nella banda impostata, invece che di $8\text{dB}/\mu\text{Volt}$ come nell'esempio precedente; si ha un decadimento del livello del segnale a causa dell'attenuazione per assorbimento dell'ordine di 15 dB.

Il livello di segnale di $-24\text{dB}/\mu\text{Volt}$ che nell'esempio precedente era corrispondente ad una distanza del bersaglio di 25000 metri si trova ora ad una distanza di circa 7000 metri con un evidente peggioramento delle condizioni di scoperta.

Infatti alla distanza di 25000 metri dal bersaglio ora il livello di segnale, non più contenuto nel grafico, è inferiore a $-100\text{dB}/\mu\text{Volt}$ con un decadimento superiore a 80 dB.



Per sviluppare nuovi esempi di calcolo dei livelli si riporta una tabella nella quale sono indicati i livelli spettrali alla frequenza di 1000 Hz., di un cacciatorpediniere che naviga a diverse velocità; questi livelli possono essere sostituiti con quelli riportati in grassetto alla riga del programma:

$$SL = \mathbf{138} - 20 * \text{LOG}(k / 1000) / \text{LOG}(10) \text{ dB/microPa/Hz CT a } \mathbf{15} \text{ nodi}$$

Velocità del cacciatorpediniere in "nodi"	SLspettrale alla frequenza di 1000 Hz
10	+ 127 dB/ $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$
15	+ 138 dB/ $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$
20	+ 146 dB/ $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$
25	+ 151 dB/ $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$

4) Esempio di calcolo dei livelli elettrici in trasmissione

Prendiamo in considerazione il caso di trasmissione di impulsi acustici in modo omnidirezionale con una base circolare costituita da 40 stecche di emissione, in questo caso ciascun elemento che costituisce la base acustica di emissione deve generare in acqua la stessa pressione degli altri elementi.

Se si vuole generare una pressione acustica di 210 dB/ μ Pa in tutte le direzioni ciascuna stecca deve emettere tale pressione; se la risposta di ciascun elemento è ad esempio :

$$RT = 170 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/\text{Volt}$$

per generare 210 / μ Pa saranno necessari $210/\mu\text{Pa} - 170 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/\text{Volt} = 40\text{dB}/\text{Volt}$ pari a 100Volt.

Se la stecca presenta un carico resistivo puro di 50 ohm la potenza necessaria alla singola stecca sarà di

$$P = 100^2/50 = 200 \text{ w}$$

e la potenza richiesta per eccitare tutte le 40 stecche della base di emissione sarà di 8000 w.

Se il trasduttore di emissione presenta un carico non resistivo il trasduttore stesso deve essere "rifasato" in modo che il generatore dell'impulso di potenza possa lavorare correttamente.

Un semplice esempio di tale procedura di "rifasamento" è di seguito esposto:

Sia dato un trasduttore di emissione con le seguenti caratteristiche elettriche

-f -frequenza di lavoro = 8800 Hz

-Rp -resistenza parallelo = 26000 ohm

-Cp- capacità parallelo = 700 pF

si calcola la reattanza capacitiva di Cp alla frequenza di lavoro

$$X_{Cp} = 10^{12}/(6.28*8800*700\text{pF}) = 25850$$

si calcola l'induttanza di accordo (rifasamento)

$$L = 25850/6.28*8800 = 0.47 \text{ H}$$

Collegando in parallelo al trasduttore l'induttanza calcolata il circuito elettrico presenterà ora soltanto il valore della resistenza parallelo di 26000 ohm, questo rifasamento è accettabile da parte dell'unità di trasmissione per la frequenza di 8800 Hz e per un suo piccolo intorno.

