

Portate di scoperta del sonar: calcoli di massima

1) Generalità

Una tra le importanti variabili che condizionano il progetto di un sonar è relativa alla portata di scoperta; questa variabile, pur nell'incertezza della sua aderenza reale al fenomeno fisico, rappresenta comunque un elemento di valutazione che, se determinato secondo gli standard correnti, consente di paragonare tra loro le prestazioni dei sonar.

Gli esempi numerici che condurremo nel prosieguo di questa nota sono impostati nella ipotesi che la propagazione del suono nel mare avvenga per modi normali, escludendo perciò la propagazione anomala che, anche se fenomeno molto frequente, data la sua complessità di calcolo ci porterebbe lontano dallo spirito di un'esposizione sintetica come la presente.

2) Promemoria sulle caratteristiche della soglia di rivelazione

Il calcolo delle portate di scoperta si avvale, come variabile fondamentale, della soglia di rivelazione "DT" (detection treshold), questa variabile è funzione, tra altre, di un parametro "d" dipendente dalle probabilità accettate di rivelazione (Priv.) e di falso allarme (Pfa.), vediamo in dettaglio:

L'algoritmo che definisce il DT per un sistema di rivelazione strumentale (correlatore) è il seguente:

$$DT = 5 \text{ Log } (d w/2t)$$

Dove d=coefficiente legato alle probabilità Priv. E Pfa.

w=banda delle frequenze di lavoro del sonar

t=tempo di integrazione post rivelazione

Il valore di w, in Hz, si ottiene come differenza tra la frequenza superiore f2 della banda di lavoro del sonar e la frequenza inferiore f1 della stessa.

Il valore di t in Sec. si ottiene dal prodotto RC dei componenti la cellula di integrazione del dispositivo di rivelazione.

Il valore di d si ottiene da una famiglia di curve (curve ROC) in funzione di due variabili espresse in forma percentuale:

Priv. = percentuale di probabilità di rivelare il bersaglio

Pfa. = percentuale di probabilità di avere un falso allarme

Il valore di Priv. esprime il seguente concetto:

Dato che il segnale del bersaglio viene ricevuto dal sonar in presenza del disturbo, quest'ultimo ostacolerà la scoperta del bersaglio consentendone la rivelazione soltanto per una percentuale del tempo pari a Priv.

Il valore di Pfa. esprime il seguente concetto:

Dato che anche il disturbo viene ricevuto dal sonar ingannerà l'osservatore e darà l'impressione errata di presenza del bersaglio, anche quando il bersaglio è assente, per una percentuale del tempo pari a Pfa.

L'assunzione delle coppie di valori Priv. e Pfa. dalle quali ricavare il valore "d" è una libera scelta del progettista, più elevato sarà il valore della Priv. e più basso il valore della Pfa. migliori dovranno essere le prestazioni del sonar se non se ne vorrà ridurre la portata di scoperta.

Il diagramma della famiglia delle curve ROC al quale abbiamo accennato è riportato in figura 1, da questa possiamo vedere ad esempio come ricavare il valore di "d" in funzione delle coppie Priv. Pfa.

Se assumiamo ad esempio che il sonar oggetto del nostro progetto debba avere:

Priv= 99.8% e Pfa.=0.1% il valore di "d" sarà $d=36$

Se assumiamo invece che il sonar oggetto del nostro progetto debba avere:

Priv= 90% e Pfa.=5% il valore di "d" sarà $d=9$

Se assumiamo che il sonar oggetto del nostro progetto sia di tipo passivo e che debba avere i valori standard di Priv e Pfa. normalmente riconosciuti nell'ambito degli addetti ai lavori dovrà scegliere la coppia :

Priv= 50% e Pfa.=10% ; per ottenere il valore di "d" corrispondente si dovrà interpolare tra le curve ottenendo $d=2$

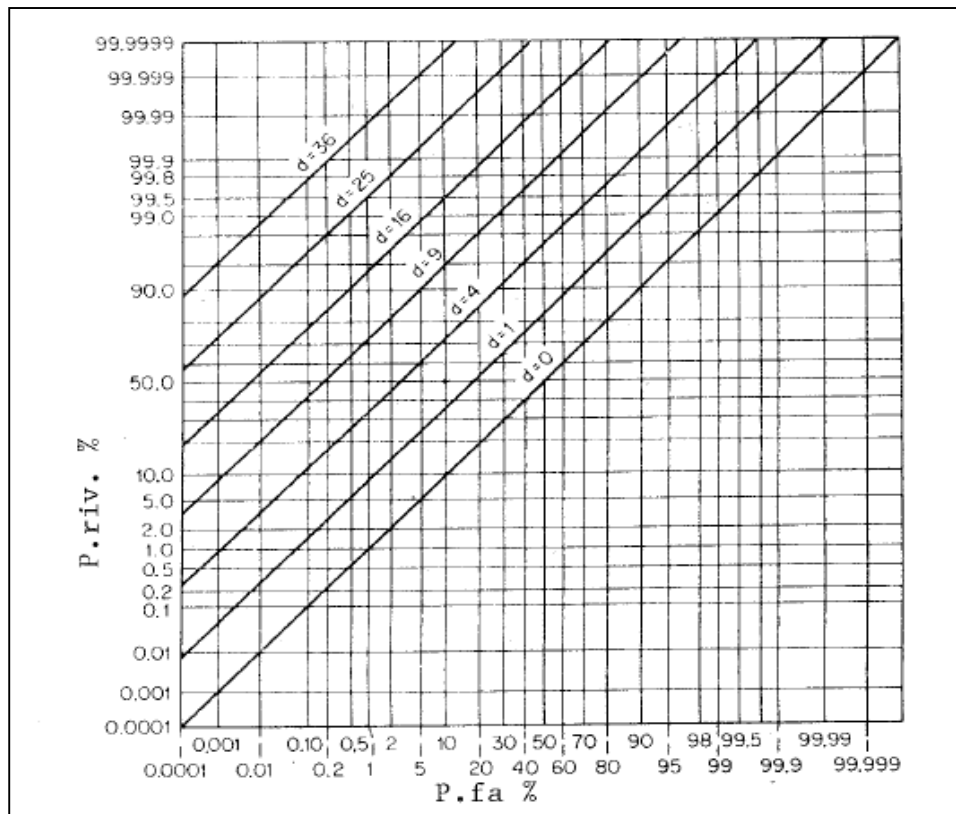


Figura 1

3) Le equazioni del sonar

Le applicazioni di calcolo per la valutazione delle portate di scoperta dei sonar sono legate alle equazioni:

Per la localizzazione passiva

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

Per la localizzazione attiva gli algoritmi che governano il fenomeno sono due; il primo definisce l'equazione in presenza del solo rumore del mare

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

Il secondo definisce l'equazione in presenza della riverberazione

$$SL-2TL+TS = RL+DT$$

Le variabili che compaiono nelle equazioni sono:

SL = Source Level

NL = Noise Level

DI = Directivity Index
DT = Detection Treshold
TL = Trasmission Loss
TS = Target Strength
RL = Reverberation Level

Utilizzando opportunamente ciascuna di queste equazioni è possibile eseguire i calcoli di portata del sonar, sia nel caso di localizzazione passiva, sia nel caso di localizzazione attiva.

4) Esempio di calcolo della portata di un sonar passivo

Il calcolo della portata di un sonar passivo è impostato sull'equazione:

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

che con più dettaglio può essere scritta:

$$SL - (60+20 \text{ Log } R + R(0.2f + 0.00015 f^2)) = NL-DI + 5\text{Log} (d w /2t)$$

ovvero

$$(60+20 \text{ Log } R + R(0.2f + 0.00015 f^2)) = SL - [NL-DI + 5\text{Log} (d w /2t)]$$

dove con R si indica la distanza del bersaglio in Km , distanza che se l'equazione è soddisfatta si identifica nella portata di scoperta.

E' evidente che la soluzione dell'equazione ha come scopo di stabilire il valore di R una volta assegnate le variabili che in essa compaiono; è altresì evidente che l'equazione in oggetto essendo del tipo trascendente non può essere risolta mediante una formula; l'equazione deve essere risolta graficamente tracciando una curva in funzione di R per la funzione al primo membro ed una retta, indipendente da R, per il secondo membro, il valore dell'ascissa R corrispondente al punto di intersezione dei due tracciati risolverà il problema.

La soluzione grafica dell'equazione, che un tempo si eseguiva con il regolo, carta e matita, può essere risolta oggi rapidamente e semplicemente con l'impiego di un adatto programma da fare girare sul P.C.

Prima di vedere il programma di calcolo è anzitutto è necessario definire gli elementi del problema fissando tutte le variabili che compaiono nell'equazione mediante una serie di scelte sull'ipotesi delle condizioni generali dell'ambiente e del sonar al momento ipotizzato per la valutazione della portata di scoperta quali ad esempio:

a) ipotesi sul tipo di propagazione:
propagazione sferica

b) definizione della banda di frequenze di lavoro:

$f_1 = 10000 \text{ Hz}$, $f_2 = 15000 \text{ Hz}$

c) definizione del tipo di bersaglio:
cacciatorpediniere navigante a 15 nodi

d) definizione dello stato del mare:
 $SS = 2$

e) definizione della costante di tempo post integrazione:
 $t = R_c = 1 \text{ Sec.}$

f) definizione del guadagno di direttività della base idrofonica ricevente
 $DI = 22 \text{ dB}$

g) definizione dei valori accettati di Priv. e Pfa.
posto Priv. = 90% , Pfa. = 5 % si ha $d = 9$

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 del DT sulla base dei dati inseriti d , R_c , f_1 , f_2
- 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

con questi valori traccia, sia la curva dell'attenuazione in funzione di R (curva bianca), sia la retta (curva gialla) dei parametri indipendenti da R .

Dalla presentazione grafica delle due curve si individua l'ascissa in R del loro punto di intersezione, il valore di questa ascissa è la portata del sonar nelle condizioni imposte.

Mediante una routine di computo automatico, inoltre, la portata R viene estrapolata e presentata in forma numerica sul video del P.C.

Ci si può chiedere perché, se la portata viene calcolata in modo automatico, vengano comunque visualizzate le curve; la ragione risiede nel fatto che i grafici mostrano nella sua globalità il fenomeno dell'attenuazione dei segnali del bersaglio, cosa che non può essere resa dalla lettura di un singolo numero.

Il listato del programma in Qbasic è il seguente:

'CALCOLO PORTATA IDROFONICA

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 21, 62: PRINT "asseX = 5Km/div"

LOCATE 22, 62: PRINT "asseY = 10dB/div"

LOCATE 2, 62: INPUT "rc"; rc

LOCATE 3, 62: INPUT "f1"; f1

LOCATE 4, 62: INPUT "f2"; f2

LOCATE 5, 62: INPUT "SS"; ss

LOCATE 6, 62: INPUT "d"; d

LOCATE 7, 62: INPUT "DI"; DI

propagaz:

a\$ = INKEY\$

LOCATE 8, 60: PRINT "Popagaz. S or C/S ? "

IF (a\$) = CHR\$(115) THEN LOCATE 9, 60: PRINT "Propagaz.Sfer."

IF (a\$) = CHR\$(115) THEN hhh = 20

```

IF (a$) = CHR$(115) THEN GOTO procedi
IF (a$) = CHR$(99) THEN LOCATE 10, 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 mare a 1000 Hz in funzione dello stato 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
DT = 5 * LOG(d * k1 / (2 * rc)) / LOG(10) 'SOGLIA DI Riv.CORRELAZ.
BW = 10 * LOG(k1) / LOG(10) 'incremento rumore dovuto alla banda
TL = SL + DI - NL - DT + BW 'MAX ATTENUAZIONE CONSENTITA
'ANELLO PER IL TRACCIAMENTO CURVE FINO A 100 Km
FOR R = .1 TO 100 STEP .1
Tlp = (60 + hhh * LOG(R) / LOG(10) + a * R) 'attenuazione f(R)
IF INT(Tlp) > 200 THEN Tlp = 200
PSET ((R * 4.6 + 20), (330 - (320 / 200) * Tlp))
PSET ((R * 4.6 + 20), (330 - (320 / 200) * TL)), 14

```

NEXT

'ANELLO PER IL CALCOLO AUTOMATICO DELLA PORTATA

FOR R = .1 TO 100 STEP .1

Tlp = (60 + hhh * LOG(R) / LOG(10) + a * R)'equazione attenuazione

IF INT(Tlp) = INT(TL) THEN distanza = R 'rivelazione distanza R

NEXT

LOCATE 19, 55: PRINT ; " Portata(Km) = "; USING "###.#"; distanza

fine:

a\$ = INKEY\$

IF (a\$) = CHR\$(27) THEN END

IF (a\$) = CHR\$(114) THEN GOTO ini

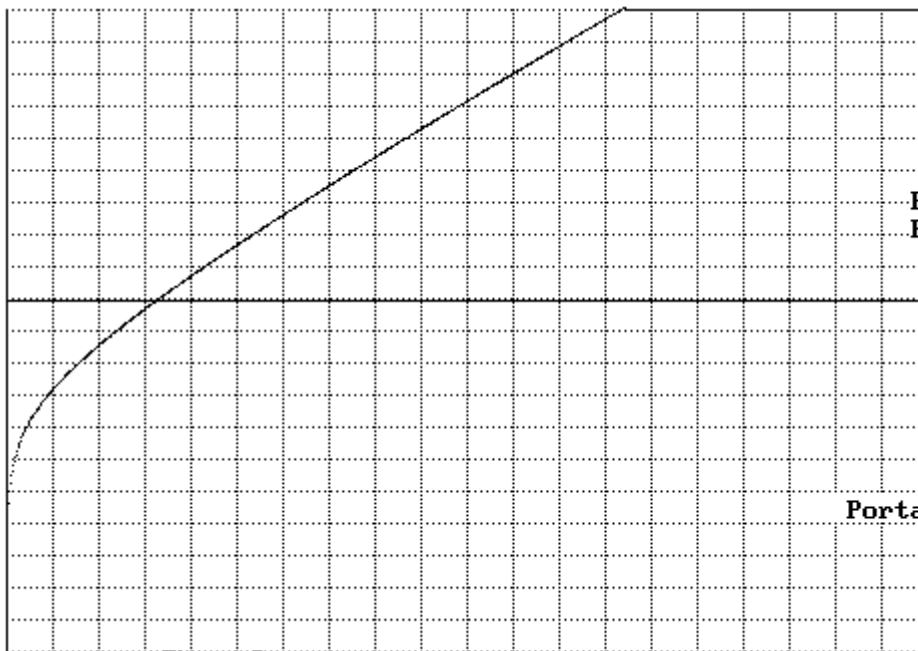
GOTO fine

Inserendo i dati impostati per l'esercizio il programma presenta sul video del P.C. quanto mostrato in figura 2; dalla figura si evince che la portata è di 16500 metri e che il livello di attenuazione del segnale a tale distanza è di circa 110 dB.

E' di notevole interesse vedere come varia la portata variando i parametri; non sarebbe certo significativo variarli tutti insieme, dato che la portata cambierebbe, ma non ci renderemmo conto di come la stessa varia se ad esempio lo stato del mare cambia da SS=2, come nell'esempio fatto, a SS=4.

Per ottenere delle variazioni significative si devono lasciare inalterati tutti i parametri a meno di uno, ad esempio la forza del mare, variabile che nel nuovo esempio che ci accingiamo a svolgere avrà il valore di SS=5.

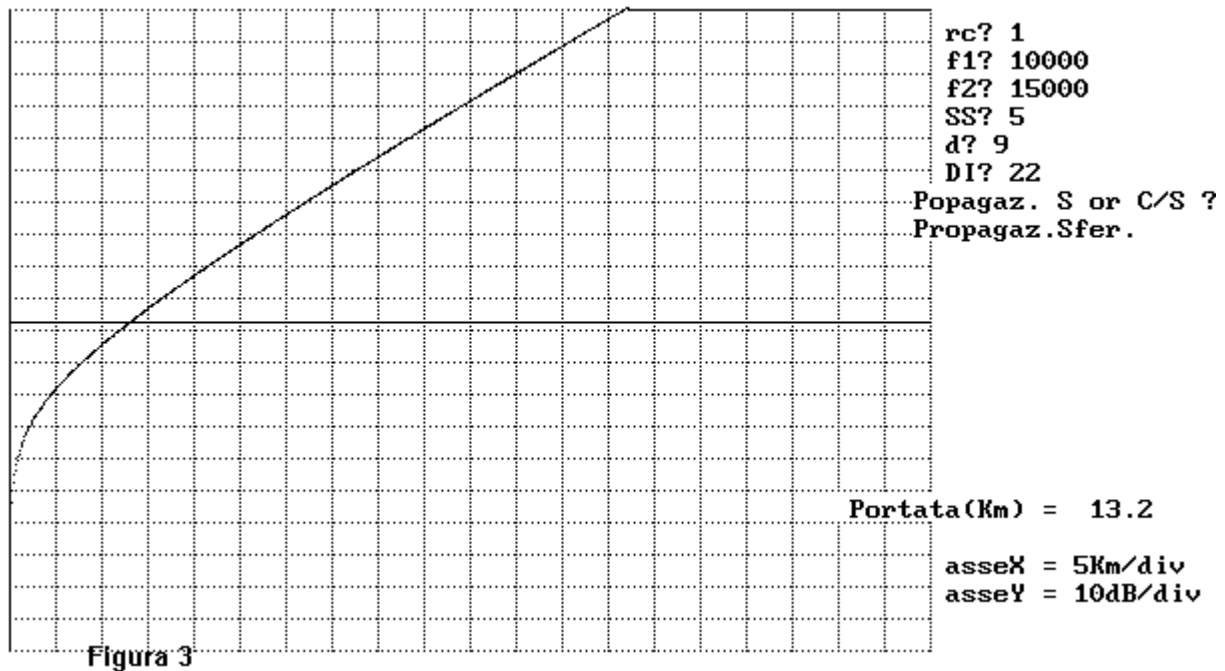
Il risultato di questo nuovo computo è riportato in figura 3, da questa si osserva come la portata sia scesa a 13200 metri, ben 3300 metri di meno che nell'esempio precedente, differenza questa di notevole peso strategico nelle operazioni di localizzazione dei bersagli.



rc? 1
 f1? 10000
 f2? 15000
 SS? 2
 d? 9
 DI? 22
 Propagaz. S or C/S ?
 Propagaz. Sfer.

Portata(Km) = 16.5
 asseX = 5Km/div
 asseY = 10dB/div

Figura 2



5) Esempio di calcolo della portata di un sonar attivo

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

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

che con più dettaglio può essere scritta:

$$SL - 2(60 + 20 \log R + R(0.2f + 0.00015 f^2)) + TS = NL - DI + 5 \log (d w / 2t)$$

ovvero

$$2(60 + 20 \log R + R(0.2f + 0.00015 f^2)) = SL + TS - [NL - DI + 5 \log (d w / 2t)]$$

dove con R si indica la distanza del bersaglio in Km, distanza che se l'equazione è soddisfatta si identifica nella portata di scoperta.

Prima di vedere il programma di calcolo è anzitutto necessario definire gli elementi del problema fissando tutte le variabili che compaiono nell'equazione mediante una serie di scelte sull'ipotesi delle condizioni generali dell'ambiente e del sonar al momento ipotizzato per la valutazione della portata di scoperta quali ad esempio:

- a) ipotesi sul tipo di propagazione:
 propagazione sferica

b) definizione della frequenza di lavoro:

$$f = 9000 \text{ Hz}$$

c) definizione del livello di emissione:

$$SL = 230 \text{ dB}/\mu\text{Pa} \text{ (impulso non ripetitivo)}$$

d) definizione del TS del bersaglio:

$$TS = 20 \text{ dB}$$

e) definizione dello stato del mare:

$$SS = 2$$

f) definizione della costante di tempo post integrazione per un impulso di emissione della durata di 60 mSec:

$$t = R_c = 0.06 \text{ Sec.}$$

g) definizione del guadagno di direttività della base ricevente

$$DI = 24 \text{ dB}$$

h) definizione dei valori accettati di Priv. e Pfa.

posto Priv. = 50% , Pfa. = 0.1 % si ha $d = 10$

i) definizione della larghezza di banda di ricezione;

$$w = 500 \text{ Hz}$$

Prendiamo ora in esame il programma nel quale dobbiamo inserire i dati sopra impostati, la routine calcola:

-il livello spettrale del rumore del mare NL alla forza prescelta

-il valore del DT sulla base dei dati inseriti d , RC , w

-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

con questi valori traccia, sia la curva dell'attenuazione in funzione di R (curva bianca), sia la retta (curva gialla) dei parametri indipendenti da R .

Il listato del programma in Qbasic è il seguente:

```
'CALCOLO PORTATA ECOGONIOMETRICA
```

```
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 21, 62: PRINT "asseX = 5Km/div"
LOCATE 22, 62: PRINT "asseY = 20dB/div"

LOCATE 2, 62: INPUT "SL"; SL
LOCATE 3, 62: INPUT "rc"; rc
LOCATE 4, 62: INPUT "f"; f1
LOCATE 5, 62: INPUT "SS"; ss
LOCATE 6, 62: INPUT "d"; d
LOCATE 7, 62: INPUT "DI"; DI
LOCATE 8, 62: INPUT "TS"; TS
LOCATE 9, 62: INPUT "w"; w

propagaz:
a$ = INKEY$

LOCATE 10, 60: PRINT "Popagaz. S or C/S ? "
IF (a$) = CHR$(115) THEN LOCATE 11, 60: PRINT "Propagaz.Sfer."
IF (a$) = CHR$(115) THEN hhh = 20
IF (a$) = CHR$(115) THEN GOTO procedi
IF (a$) = CHR$(99) THEN LOCATE 12, 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 funzione dello stato 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 = f1 'frequenza centrale in Hz

k1 = w 'banda in Hz

k2 = k / 1000 'frequenza centrale in Khz

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
DT = 5 * LOG(d * k1 / (2 * rc)) / LOG(10) 'SOGLIA DI RIVELAZIONE
'strumentale

TL = SL + TS + DI - NL - DT 'MAX ATTENUAZIONE CONSENTITA

'ANELLO PER IL TRACCIAMENTO CURVE FINO A 100 Km

FOR R = .1 TO 100 STEP .1

Tlp = (60 + hhh * LOG(R) / LOG(10) + a * R) 'equazione
'attenuazione f(R)

IF INT(2 * Tlp) > 400 THEN Tlp = 400

PSET ((R * 4.6 + 20), (330 - (320 / 400) * 2 * Tlp))

PSET ((R * 4.6 + 20), (330 - (320 / 400) * TL)), 14

NEXT

'ANELLO PER IL CALCOLO AUTOMATICO DELLA PORTATA
FOR R = .1 TO 100 STEP .1

```

```

Tlp = (60 + hhh * LOG(R) / LOG(10) + a * R) 'equazione `
                                     `attenuazione f(R)
IF INT(2 * Tlp) = INT(TL) THEN distanza = R'rivelazione distanza R
NEXT
LOCATE 19, 55: PRINT ; " Portata(Km) = "; USING "###.#"; distanza
fine:
a$ = INKEY$
IF (a$) = CHR$(27) THEN END
IF (a$) = CHR$(114) THEN GOTO ini
GOTO fine

```

Inserendo i dati impostati per l'esercizio il programma presenta sul video del P.C. quanto mostrato in figura 4; dalla figura si evince che la portata del sonar attivo, con cadenza impulsi non ripetitiva, è di 18500 metri e che il livello di attenuazione del segnale a tale distanza è di circa 205 dB.

Anche in questo caso è interessante vedere come varia la portata variando i parametri; lasciamo al lettore questa esercitazione che sarà utile per comprendere meglio tutta la problematica relativa al calcolo delle portate del sonar.

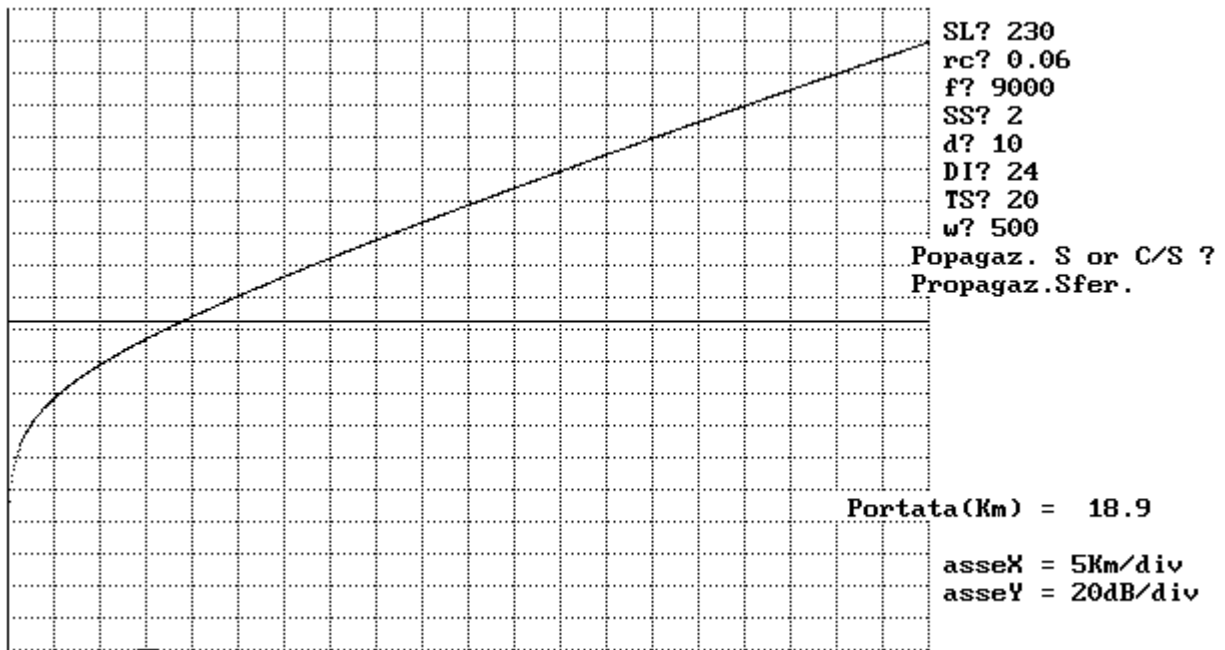


Figura 4