

## 7) Il sonar FALCON per la misura dell'angolo di esposizione del bersaglio

Il sistema per la misura dell'angolo di esposizione  $\delta$  del bersaglio si avvale dell'unità **B** come punto sorgente del segnale, che identifica la posizione del bersaglio vincolato, e dell'unità **A** come punto ricevente in grado di rilevare l'angolo  $\gamma_f = BRQ$  che si forma tra la posizione della sorgente e l'asse della "nave pilota"; l'angolo di esposizione si calcola con i valori di  $\gamma_f$ ;  $\alpha$   $\beta$  (si veda figura 5) secondo la seguente espressione che si ricava facilmente dalla figura citata:

$$\delta = \beta + \gamma_f + 180 - \alpha$$

dove:

$\delta$  = angolo di esposizione del bersaglio

$\alpha$  = angolo tra l'asse del bersaglio ed il nord che deve essere rilevato, se possibile al momento dell'ancoraggio del sommergibile, o durante l'immersione dello stesso e comunicato alla "nave pilota" a mezzo telefono subacqueo.

$\beta$  = angolo tra l'asse della "nave pilota" ed il nord che deve essere ricavato per ciascuna posizione della nave dalla bussola propria.

$\gamma_f$  = angolo tra l'asse nave e il bersaglio

Dagli elementi esposti emerge chiaramente che l'unica variabile che non può essere rilevata con la bussola è  $\gamma_f$ , variabile da misurare esclusivamente mediante un rilevamento sonar da parte della nave. A questo scopo è previsto l'impiego, sulla nave, del sonar prototipico, portatile, passivo FALCON, disponibile presso l'Arsenale di La Spezia, oltre ad una base idrofonica circolare Bf ad esso collegata. Il complesso (FALCON + base Bf) consente la rivelazione precisa della posizione del bersaglio, individuabile mediante l'emissione del segnale di rumore da parte del trasduttore Gn dell'unità **B**.

### 7.1 Il sonar FALCON

Il FALCON è un sonar passivo ausiliario portatile in grado di essere impiegato, a scopo di misura, per il controllo degli impianti operativi e delle loro basi acustiche.

La struttura prototipica del FALCON è formata da due unità:

\*un contenitore del tipo miditower, con maniglia, contenente tutta la componentistica elettronica

\*un personal computer portatile sul quale è implementato il programma F2000-F125vpc necessario al funzionamento dell'apparato.

Il miditower è predisposto per essere collegato alla base circolare del sonar operativo, il P.C. è collegato al miditower e svolge il compito di consolle comando ed interfaccia con l'operatore.

Lo schema a blocchi dell'apparato è mostrato in figura 11:

in essa si vedono i 4 componenti più significativi che sono alloggiati nel miditower, componenti dei quali iniziamo una descrizione secondo le funzioni che ciascuno di questi è chiamato a svolgere nel FALCON.

\*Il blocco dei preamplificatori (sezione 1), destinato a ricevere i segnali dalla base idrofonica del sonar operativo, ha il compito di portare il livello delle tensioni generate dai singoli trasduttori della base ad un'ampiezza tale da consentire le forme di trattamento successive.

Il numero dei preamplificatori è stato fissato in sede di progetto a 18 unità per ottimizzare il funzionamento generale dell'apparato, tutti i preamplificatori sono contenuti in un'unica scheda.

\*I segnali amplificati sono applicati ad un gruppo di filtri passa basso (sezione 3) che ha la funzione, sia di limitare la banda di ricezione nel campo definito in fase progettuale, sia d'equalizzare la risposta della base circolare presa a modello per il FALCON.

Il numero dei filtri è ovviamente uguale a quello dei preamplificatori, i 18 filtri sono contenuti in un'unica scheda.

\*I segnali all'uscita dei filtri seguono due percorsi diversi; da un lato sono applicati alla scheda video (sezione 4) che interfaccia con il P.C, dall'altro sono applicati alla scheda audio .

La scheda video ha il compito di eseguire una prima elaborazione dei segnali idrofonici prima di inviarli al P.C. per il trattamento matematico FALCON.

\*La scheda audio (sezione 2), su indirizzamento del P.C. tramite la scheda video, provvede alla costruzione del fascio d'ascolto che l'operatore può puntare sul bersaglio prescelto.

\*L'interfaccia tra operatore e sonar è costituita dallo schermo del P.C; sullo schermo compaiono, in modo virtuale, tanto i pulsanti di comando quanto gli indicatori alfanumerici delle variabili significative per il sonar.

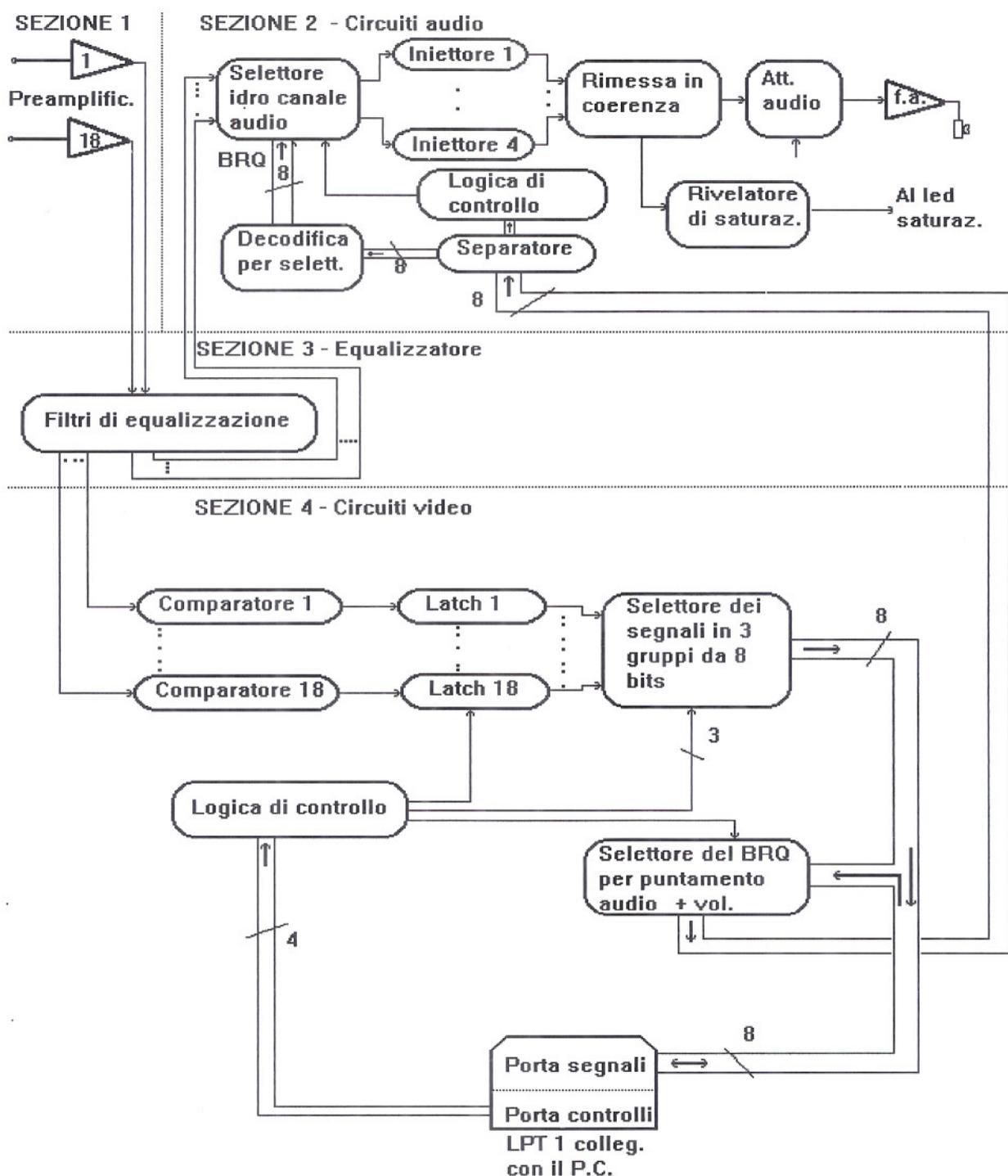
L'impiego del FALCON nel sistema per la misura del target strength dei sommergibili risulta estremamente pratico perché consente un tipo di rilievi che altrimenti richiederebbero una "nave pilota" dotata di sonar operativo.

Per eseguire questa prestazione il FALCON necessita di una base circolare Bf che, in questo caso particolare d'impiego, deve essere costruita appositamente utilizzando però elementi riceventi disponibili in ambiente M.M.I.

Il prototipo FALCON è stato progettato per operare in bassa frequenza nella banda 1500-3000 Hz, pertanto, sia la base Bf, sia il trasduttore d'emissione Gn saranno impiegati per tale campo dello spettro acustico.

Sulla conoscenza delle caratteristiche di sensibilità del FALCON sarà basata l'analisi delle variabili acustiche che interessano, come in precedenza già si è detto, sia la base Bf sia il trasmettitore e il trasduttore Gn. oggetto di questa analisi sarà il paragrafo seguente 7.1

Figura 11



## 7.2 Le variabili acustiche per l'impiego del FALCON

Abbiamo accennato nel paragrafo 7.1 al fatto che il FALCON è stato progettato per operare nella banda di frequenze comprese tra 1500 e 3000Hz, per questa ragione i calcoli delle variabili acustiche per l'impiego di questo sonar sono sviluppati in questo campo dello spettro, restando immutata a 10000 Hz la frequenza di lavoro di tutto il restante sistema per il rilievo del target strength.

Per il calcolo delle variabili acustiche dobbiamo fissarne tre sulla base di diverse considerazioni:

\*Previsione del rumore del mare per la pratica operatività del campo, mare a forza 2 pari a:

$$NL = 56 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\text{Hz})^{1/2} \text{ a } 2250 \text{ Hz (frequenza media della banda di ricezione)}$$

\*Rapporto S/N all'ingresso dell'elaboratore FALCON per consentire il 100% di P.riv. con  $T=1 \text{ Sec.}$

S/N = 0 dB" (dove T è la costante di tempo d'integrazione post rivelazione)

\*Guadagno della base Bf nella banda 1500 – 3000 Hz computato sulla scorta delle dimensioni già indicate al paragrafo 5.5:  $G = 3 \text{ dB}$ , valore che deve essere ridotto di 3 dB perché il FALCON elabora i segnali in correlazione sulle due parti della base, si ha pertanto:

$$G_c = 0 \text{ dB}$$

Con questi elementi impostiamo l'equazione per la determinazione del livello d'emissione SLgn che deve essere emesso da Gn nel rispetto dei dati sopra esposti:

$$SL_{gn} = TL + NL + S/N - G_c + \Delta b$$

dove

$\Delta b$  = incremento del livello in funzione della banda di lavoro

TL = attenuazione per propagazione

R = 1000 m

$\alpha R$  = attenuazione per assorbimento irrilevante

$$TL = 20 \text{ Log } R = 20 \text{ Log } 1000 = 60 \text{ db}$$

$$\Delta b = 10 \text{ Log } (\Delta f) = 32 \text{ dB} \quad \text{dove } \Delta f = (3000-1500) = \text{banda di lavoro}$$

$$\text{Risulta pertanto} \quad SL_{gn} = 60 + 56\text{dB}/\mu\text{Pa}/(\text{Hz})^{1/2} + 0 \text{ dB} + 0 + 32 = 148 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta f)^{1/2}$$

Per considerazioni in merito al calcolo di SLgn si veda in appendice.

### 7.3 Il generatore del rumore di posizione

Con il valore di SLgn calcolato al 7.2 determiniamo la potenza del generatore di trasmissione che deve essere collegato al trasduttore Gn partendo proprio dalle caratteristiche di quest'ultimo: Abbiamo stabilito di utilizzare come trasduttore del rumore di posizione il tipo ITC 1001; dai grafici di figura 12 si osserva che la sua risposta a 2250 Hz è di 112 dB/ $\mu\text{Pa}/V$  e la sua resistenza di carico è di 25  $\Omega$ , la tensione da applicare al trasduttore deve essere:

$$148 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/(\Delta f)^{1/2} - 112 \text{ dB}/\mu\text{Pa}/V = 36 \text{ dB}/V/(\Delta f)^{1/2} \text{ pari a } 63 \text{ V}_{\text{eff}}/(\Delta f)^{1/2}$$

corrispondente ad una potenza di:

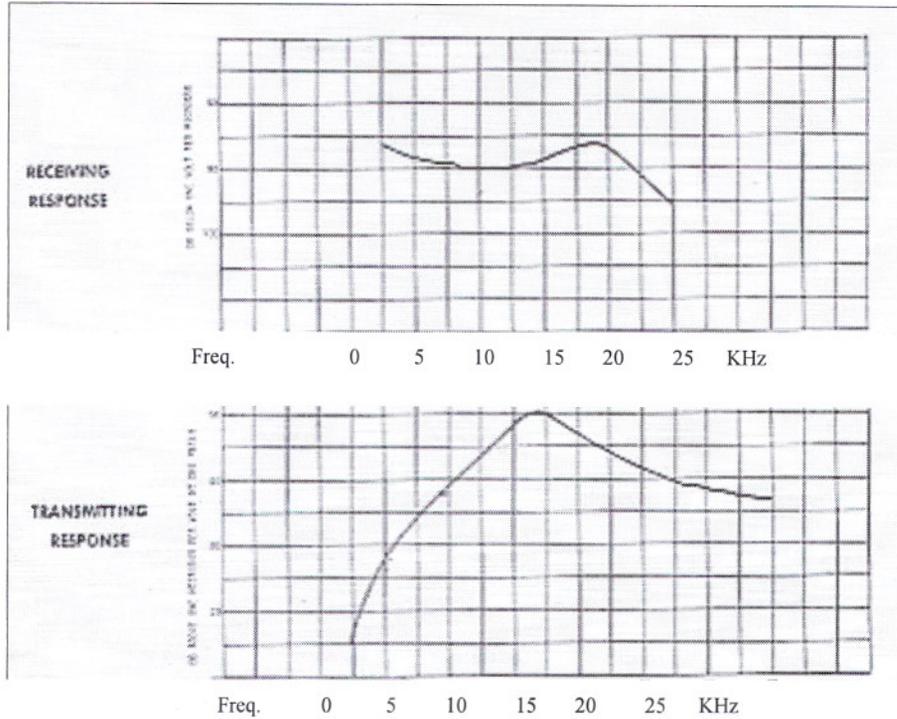
$$63^2 / 25 = 158 \text{ W}$$

Data la caratteristica d'impedenza del trasduttore e la potenza in gioco questo deve essere opportunamente rifasato per collegarlo al generatore.

Nel caso di un trasmettitore a tensione costante la sua impedenza d'uscita deve essere almeno 1/10 del carico previsto:  $Z_u < 2 \Omega$ .

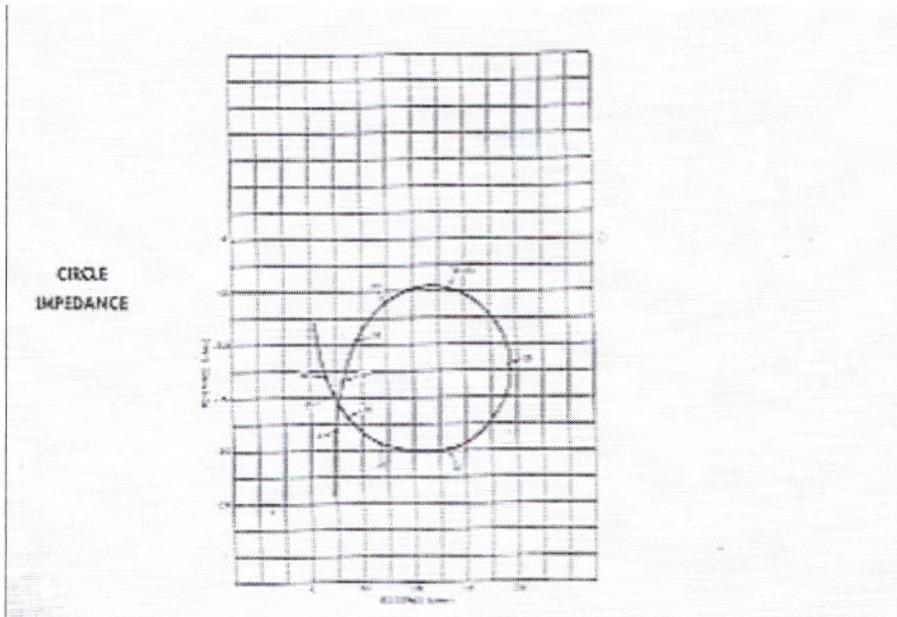
E' importante osservare che il funzionamento di questo generatore non è continuo, esso è attivato soltanto ad intervalli per pochi minuti durante la fase di misura dell'angolo di esposizione del bersaglio; ne consegue che i problemi legati alla dissipazione ed al consumo durante l'impiego sono molto ridotti.

Per l'eventuale impiego di un trasduttore più adatto allo scopo, non disponibile però in ambito M.M.I, si veda in appendice.



**Figura 12**

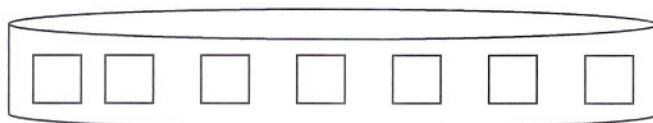
Nella lettura dei diagrammi si deve prestare attenzione perché le scale delle sensibilità sono espresse in microbar; le letture devono pertanto essere trasformate in microPascal.



#### 7.4 La base ricevente Bf del FALCON

Per la base ricevente del FALCON abbiamo già definito il singolo elemento nel paragrafo 5.5; dobbiamo soltanto puntualizzare che la struttura meccanica di sostegno della base deve accogliere 18 elementi USEA tipo 422/ESB/A, distanziati angularmente di 20° l'uno dall'altro, ed incastonati in un tamburo di materiale non trasparente al suono del diametro di 0.8 m. così come mostrato in figura 13

**Figura 13**



E' importante osservare come l'utilizzo degli elementi USEA 422/ESB/A , in ricezione, nel campo di frequenze compreso tra 1500 e 3000 Hz risulta in un tratto della curva di figura 6 notevolmente lontano dalla zona di massima sensibilità; ciò è una libera scelta per consentire l'utilizzo di trasduttori facilmente reperibili, in ogni caso dai calcoli sotto riportati si può vedere che anche in questa zona della risposta del trasduttore il livello della tensione da esso generata è ancora più che sufficiente per essere utilizzato dal sonar FALCON.

Sulla scorta dei dati relativi esposti nel paragrafo 7.2 si può scrivere:

$$P_{BF} = SL_{gn} - TL$$

Dove:

$P_{BF}$  = pressione incidente sulla base

$SL_{gn} = 148 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$

$TL$  = attenuazione per propagazione

$R = 1000 \text{ m}$

$\alpha R$  = attenuazione per assorbimento irrilevante

$$TL = 20 \text{ Log } R = 20 \text{ Log } 1000 = 60 \text{ db}$$

Da cui: 
$$P_{BF} = 148 \text{ dB}/\mu\text{Pa} - 60 \text{ dB} = 88 \text{ dB}/\mu\text{Pa}$$

Dato che la sensibilità del trasduttore a 2250 Hz risulta  $-215 \text{ dB}/\text{V}/\mu\text{Pa}$  circa, si veda figura 6, il livello di tensione di segnale all'ingresso del sonar FALCON sarà:

$$V_{if} = P_{BF} - 215 \text{ dB}/\text{V}/\mu\text{Pa} = 88 \text{ dB}/\mu\text{Pa} - 215 \text{ dB}/\text{V}/\mu\text{Pa} = -127 \text{ dB}/\text{V}$$

pari ad  $0.4 \mu\text{V}_{eff}$ . valore di tensione che si adatta perfettamente alle caratteristiche di sensibilità del sonar FALCON.

### **7.5 Calcolo degli errori di rilevamento dovuti al collegamento acustico**

Il calcolo degli errori di rilevamento, dovuti al collegamento acustico, si esegue analizzando le caratteristiche del sonar FALCON che ha il compito istituzionale di rilevare la posizione angolare del "Sommergibile Bersaglio" rispetto all'asse della "Nave Pilota".

Nell'analisi che andremo a condurre dovranno essere valutati tanto gli errori intrinseci del sonar (err.s), quanto gli errori dovuti alle condizioni ambientali (err.a) nelle quali il sonar stesso deve operare.

Per il calcolo degli errori di carattere strumentale, quelli per intenderci, che sono propri delle limitazioni progettuali del sistema sonar, si deve iniziare con l'esame della caratteristica di direttività della base ricevente nella banda di lavoro.

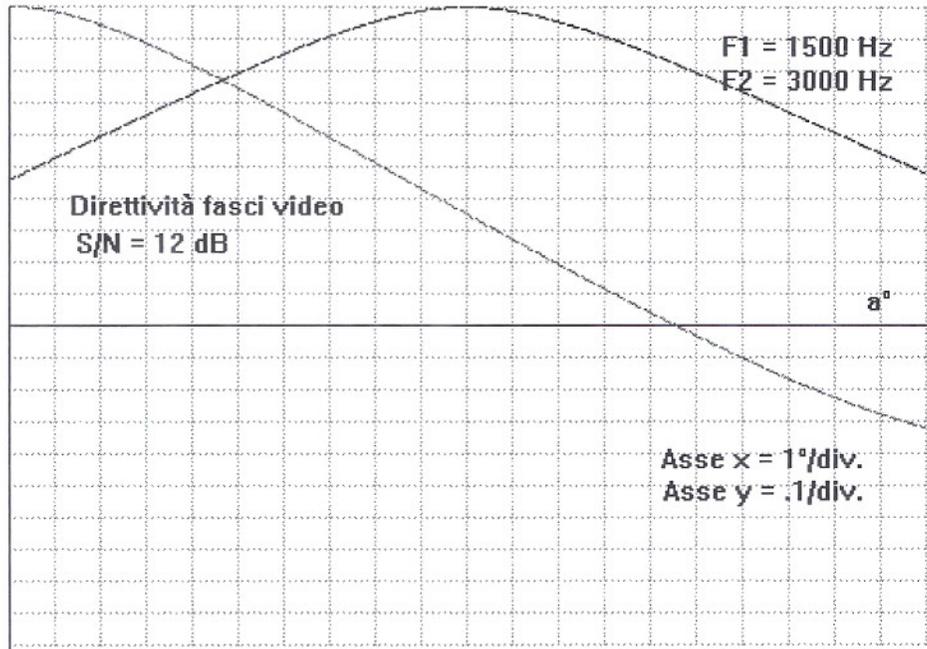
Nel calcolo della caratteristica di direttività della base è intimamente coinvolta la filosofia di funzionamento del FALCON, al punto che la caratteristica stessa ne rappresenta le proprietà dalle quali scaturiscono sensibilità e precisione di rilevamento.

La caratteristica di direttività si ricava da un'elaborata procedura di calcolo software; inserendo in questa, sia la banda delle frequenze di lavoro indicata nel paragrafo 7.2 tra 1500 e 3000 Hz., sia le

dimensioni della base ricevente che nel nostro caso è stata definita nel paragrafo 7.4 con un diametro di 0.8 m.

Ponendo a calcolo i dati sopra menzionati ed un valore di  $S/N = 12$  dB, si ottiene il grafico di figura 14.

**Figura 14**



Nella figura sono tracciate due curve di direttività relative a due fasci di rilevamento adiacenti, ciò perché nel FALCON, per ragioni progettuali, i fasci pari sono sensibilmente diversi dai fasci dispari. Infatti il fascio con il massimo per  $0^\circ$  ha una larghezza del semilobo di  $5.5^\circ$  mentre il fascio a  $10^\circ$  ha una larghezza del semilobo di  $6.5^\circ$ .

Nell'esame che andremo a completare prenderemo in considerazione la curva più larga in modo da valutare la condizione di massimo errore e ricorderemo che il FALCON è strutturato con 36 fasci preformati.

L'errore strumentale di rilevamento si computa con i dati rilevati dalla curva in oggetto inseriti opportunamente nell'equazione:

$$\text{err.s}^\circ = 4 / \text{Exp} [ (n * 3.14 / 720)^2 * (a)^2 / \text{Log}(1 / k) ]$$

dove

n = numero dei fasci preformati

(a) = valore angolare (ascissa di k)

k = ordinata di ascissa a

le variabili si determinano come segue:

- il numero dei fasci preformati è stato indicato sopra in  $n = 36$

-l'ascissa angolare (a), da fissare sulla curva prescelta, è quella a mezzo lobo  $a = 6.5^\circ$

-l'ordinata k, corrispondente all'ascissa (a) nella curva prescelta, è  $k = 0.7$

con questi valori si ha :

$$\text{err.s}^\circ = 4 / \text{Exp} [ (36 * 3.14 / 720)^2 * (6.5)^2 / \text{Log}(1 / 0.7) ] = 0.21^\circ$$

l'errore strumentale calcolato è del tutto trascurabile e conferma le misure di precisione già eseguite a suo tempo in laboratorio sul sonar FALCON.

A questo punto non resta che calcolare l'errore di rilevamento dovuto alle condizioni ambientali nelle quali dobbiamo operare con il FALCON; le condizioni ambientali già considerate nel paragrafo 7.2 forniscono il seguente valore di S/N:

\*Rapporto S/N all'ingresso dell'elaboratore FALCON per consentire il 100% di P.riv. con  $T = 1$  Sec:  
" S/N = 0 dB"

l'equazione che consente il calcolo dell'errore di rilevamento in dipendenza delle condizioni ambientali, cioè del rapporto S/N che viene a trovarsi all'ingresso del sistema di rivelazione del FALCON a causa del rumore del mare ed in forza del segnale ricevuto dalla base idrofonica è:

$$\text{err.a}^\circ = \Delta\alpha * 0.354 * (1 + k)^{1/2} / k * (B * T)^{1/2}$$

dove

$\Delta\alpha$  = larghezza totale del lobo di direttività a -3 dB

B = larghezza di banda del ricevitore sonar

T = tempo di integrazione post rivelazione

$$k = (S/N)^2$$

S/N = rapporto tra la tensione del segnale e la tensione del disturbo all'ingresso del sistema di rivelazione del sonar

essendo

$$\Delta\alpha = 13^\circ$$

$$B = 1500 \text{ Hz}$$

assumendo  $T = 1$  Sec. (costante di tempo più che adatta a piattaforma e bersaglio praticamente fermi)

essendo (S/N)dB = 0 pari ad un rapporto adimensionale di  $S/N = 1$

deriva  $k = 1$

si ha :

$$\text{err.a}^\circ = 13^\circ * 0.354 * (1 + 1)^{1/2} / 1 * (1500 * 1)^{1/2} = 0.16^\circ$$

Anche in questo caso l'errore di rilevamento calcolato è insignificante.

Si deve però osservare che le formule impiegate, sia per il calcolo dell'errore strumentale, sia per il calcolo dell'errore dovuto all'ambiente, sono ricavate da modelli teorici che non sempre si adattano perfettamente alle situazioni fisiche che sono ipotizzate; se ora, per ragioni estremamente prudenziali, supponiamo che le formule indichino errori di una grandezza inferiore rispetto ai casi reali, i valori testé ricavati posso essere moltiplicati per 10 con il seguente risultato :

$$\text{err.s} * 10 = 2.1^\circ$$

$$\text{err.a} * 10 = 1.6^\circ$$

valori dai quali si può ipotizzare un errore totale di :

$$\text{err.t} = ( 2.1^2 + 1.6^2 )^{1/2} = 2.6^\circ$$

che risulterebbe sempre più che accettabile per le misure dell'angolo di esposizione del bersaglio.

Nel chiudere questo paragrafo è opportuno dare alcuni riferimenti in merito alle formule che sono state impiegate per i calcoli degli errori err.s ed err.a.

Per la formula di err.s si veda la pubblicazione:

Sul calcolo del minimo numero di fasci preformati per il sonar

C.Del Turco

Rivista Tecnica SELENIA Volume 11 n° 3 1990

Per la formula di err.a si deve menzionare:

Pubblicazione interna della Soc. SELENIA ,del Fusaro (Na), a cura del gruppo di studi per le applicazioni di localizzazione subacquea, che, prendendo lo spunto da un lavoro del M.I.T. sulla precisione di scoperta dei radar, lo ha adattato per l'impiego nel campo dell'acustica sottomarina.