



**Liceo Classico
Lorenzo Costa
La Spezia
-24 Maggio 2024-**

“Conferenza”

**Il sonar nella
navigazione dei
sottomarini italiani
dal 1960 ad oggi**

Relatore:

C. Del Turco già Dirigente

USEA / Alenia Elsig Sistemi Navali

www.sonar-info.info



Il sonar nei sottomarini:

Spiegazione del nome e delle funzioni



SONAR acronimo di:

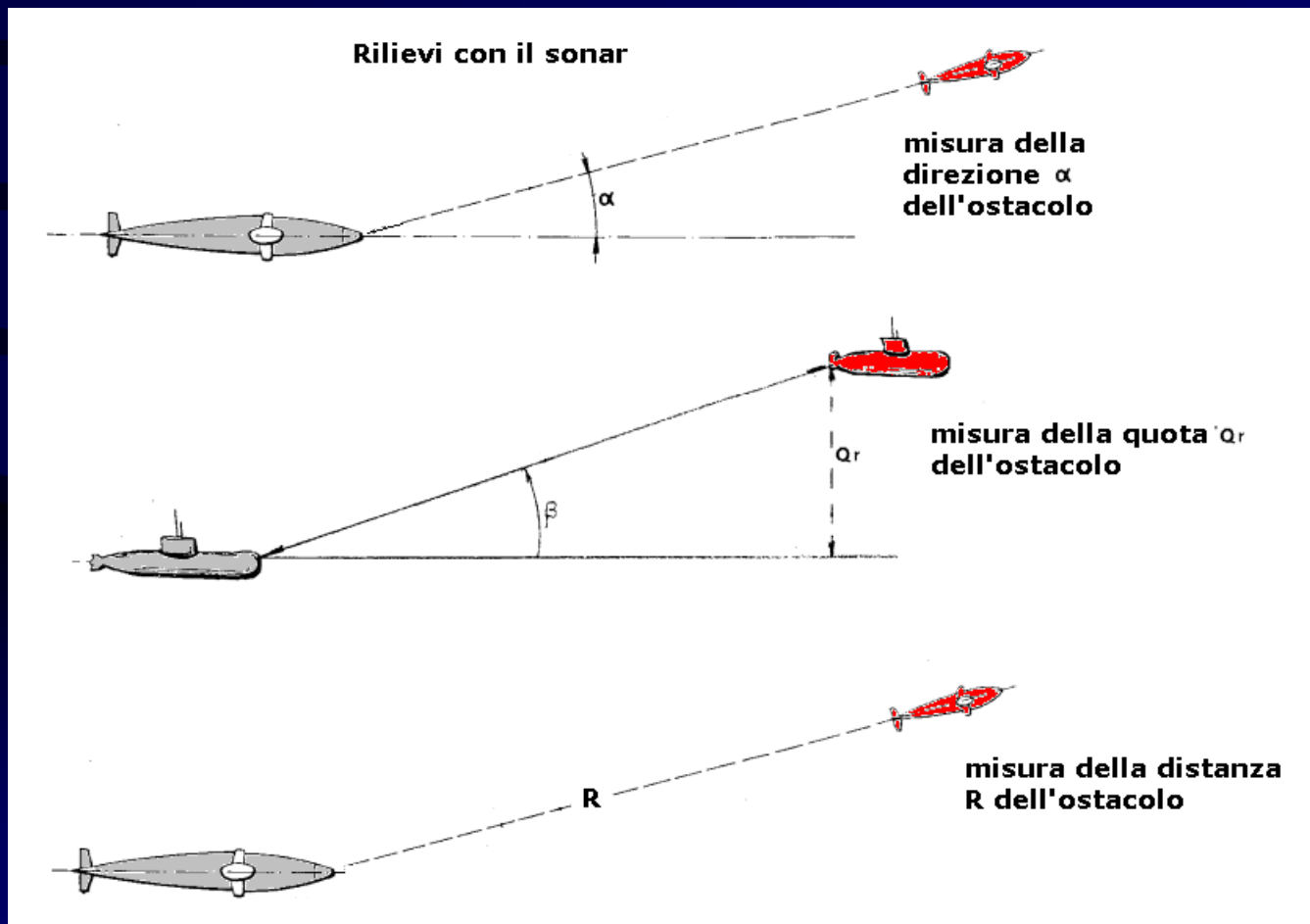
SOund

NAvigation

and Ranging

Navigazione e
Localizzazione
con il suono

Con il sonar si
determina la
direzione di un
semovente navale,
la quota e la
distanza.



Immagini e filmati di sottomarini italiani

1960-2024



Tre classi di sottomarini italiani 1960 – 2024

(Attualmente 8 unità)



Classe Toti

4 unità

Toti Mocenigo
Dandolo Bagnolini

L = 46 m

Sonar: USEA IP64

**Rad. ultimo della
serie 1997**

Diesel/generatori

**Visitabile: Museo delle
Scienze di Milano**



Classe Sauro

8 unità

Sauro di Cossato Da Vinci
Pelosi Prini Longobardo
Gazzana Marconi

L = 64 m

Sonar: USEA IP70/74

Rad. ultimo di 4 2002

4 ancora in servizio

Diesel/generatori

**Visitabile: Museo del Mare Galata
Genova**



Classe U212 (Cl. Todaro)

4 unità

Todaro Scirè
Venuti Romei

L = 56 m

In servizio

Sonar: Atlas W.E. CSU 90-138

Elettrici alim. con Fuel Cell

ad idrogeno ossigeno

**Visibile: prevalentemente in
navigazione da Taranto**

Filmato del sottomarino Toti in navigazione di superficie



WWW.DELPINEDACCLAIO.IT



Betason

IL GRUPPO SOTTOMARINO ARABICO

7 Filmato della cerimonia di presentazione del sottomarino Sauro



Filmato della presentazione di una squadriglia di sottomarini U212

L'indispensabilità del sonar per la navigazione dei sottomarini





Emersione Toti



Emersione Sauro

Sommersibile a quota profonda

Quando il sonar è indispensabile sia per la navigazione subacquea sia per l'emersione



a

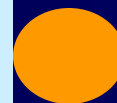


b

Il sonar può evitare questa situazione



Compito essenziale del sonar è la misura della direzione e della distanza dell'ostacolo



NB: Il SONAR non è un videogioco od un televisore che appena accesi consentono di fruire della visione desiderata.

Il SONAR è una macchina molto complessa che si deve confrontare con il mare per consentire, quando possibile, la scoperta dei semoventi

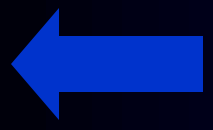
Sul principio di funzionamento del sonar.

Con rif. produzione
USEA 1960-1970



14 Il funzionamento del sonar si basa sulla propagazione del suono in mare e sull'insiemi di sensori acustici, gli idrofoni piezoelettrici, manufatti derivati dai noti microfoni da tavolo adattati all'ambiente subacqueo.

Idrofono a pistone



**Idrofono a stecca
-piezoelettrico-**



46 elem.

Microfono da tavolo

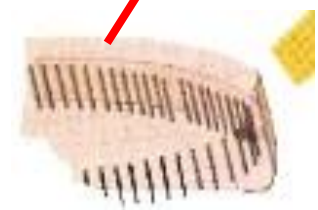
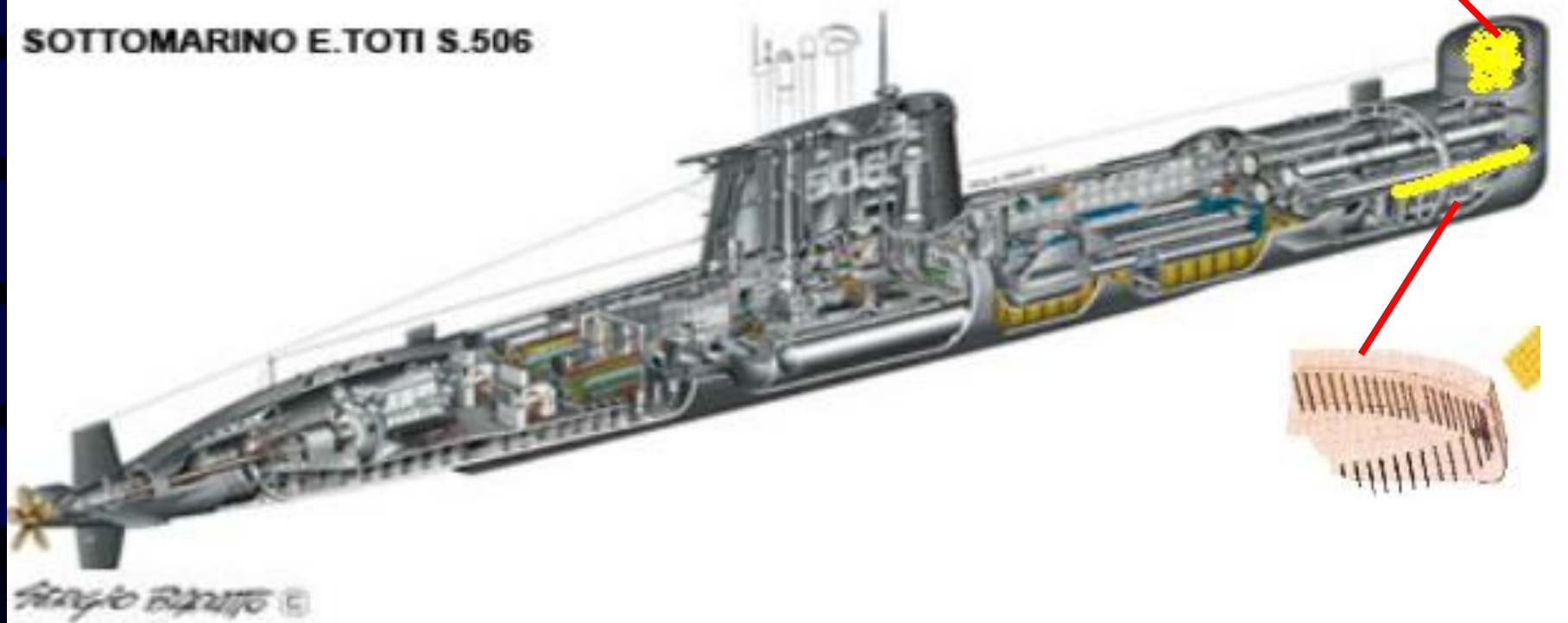


Disposizione dei sensori acustici a bordo di sottomarini





SOTTOMARINO E.TOTI S.506



Cuffia idrodinamica per ridurre la cavitazione

Basi acustiche Sauro



base circolare



base conforme

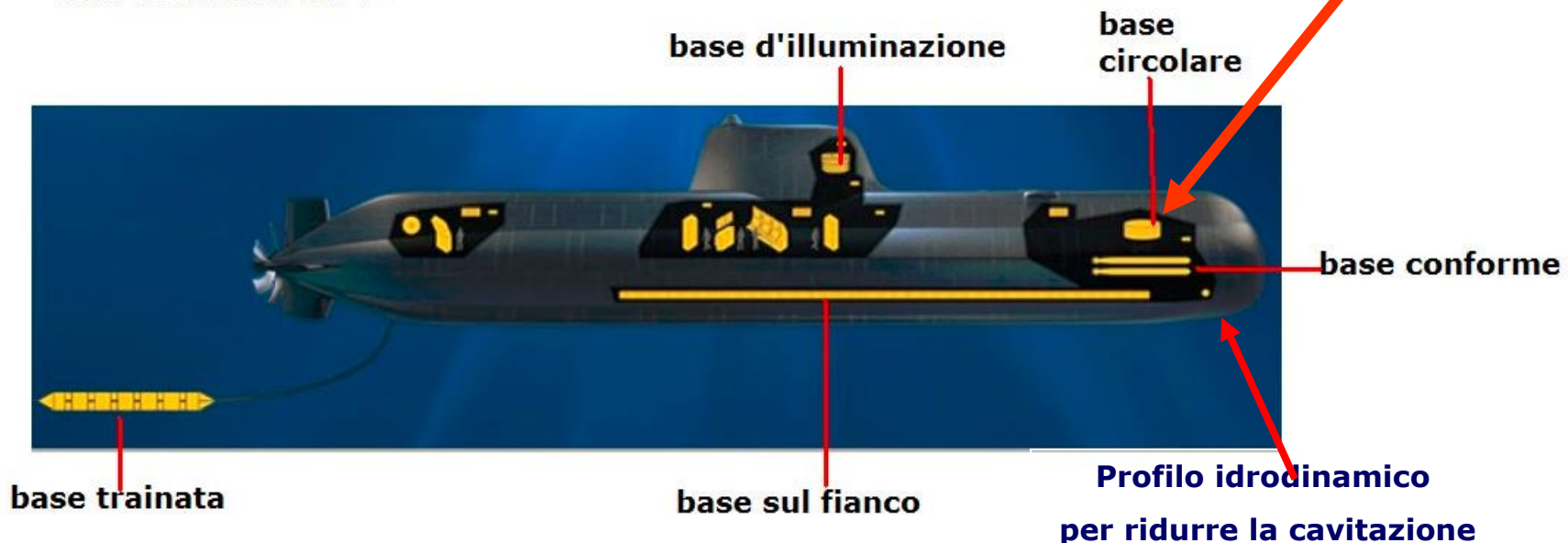


Cuffia idrodinamica per ridurre la cavitazione





Basi acustiche U212



Ascolto dei rumori con il sonar:

- modo passivo
- modo attivo



Esempi delle modalità di funzionamento del sonar per la localizzazione subacquea



In modo passivo

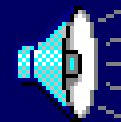
Per la ricezione e l'ascolto dei rumori emessi dai semoventi

Campo delle frequenze d'ascolto:
da 200 a 10000 Hz



State ascoltando il rumore di una nave in movimento

Localizzazione = stabilire la posizione angolare e la distanza del semovente



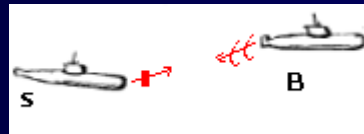
Esempi delle modalità di funzionamento del sonar per la localizzazione subacquea



In modo attivo

Per la ricezione e l'ascolto degli echi riflessi dagli ostacoli subacquei

**Campo delle frequenze di lavoro:
da 8000 a 30000 Hz**



State ascoltando l'emissione del sonar e l'eco dell'ostacolo

Localizzazione = stabilire la posizione angolare e la distanza del semovente

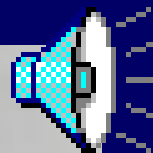


L'evoluzione del sonar; dai primordi ai sonar dei sottomarini italiani Toti e Sauro con presentazione video delle tracce dei semoventi



"sonar" ai primordi della sua storia

Si ascoltavano le onde acustiche, in modo diretto, mediante la vibrazione di sfere cave, immerse, connesse con un tubo flessibile all'orecchio dell'operatore - similmente agli areofoni -

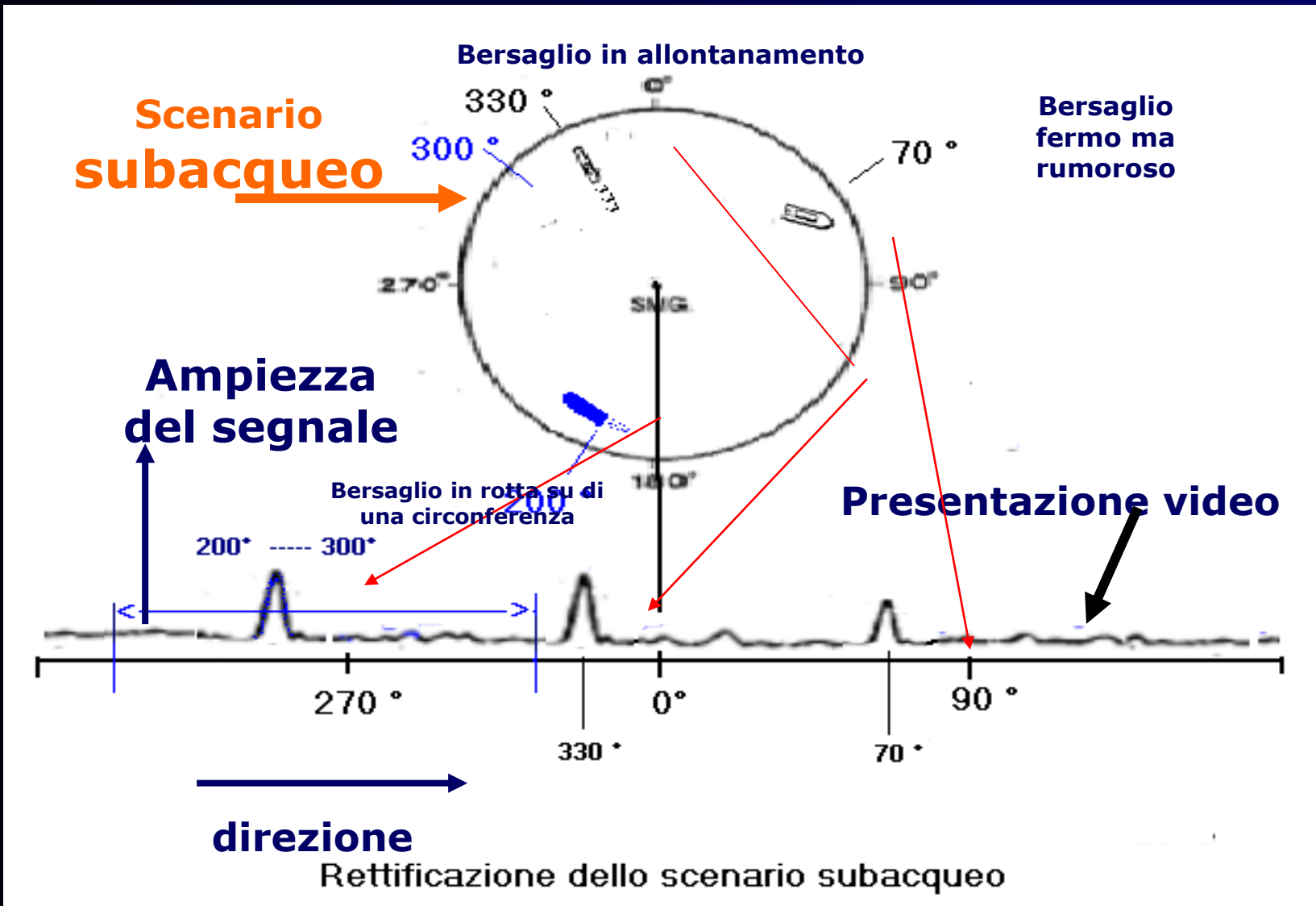


Con lo sviluppo delle tecnologie elettroniche s'inizia a visualizzare su tubi a raggi catodici la posizione dei semoventi come ausilio all'ascolto del loro rumore; nascono così i sistemi di scoperta sonar a fasci preformati che consentono il controllo simultaneo di tutto l'orizzonte subacqueo

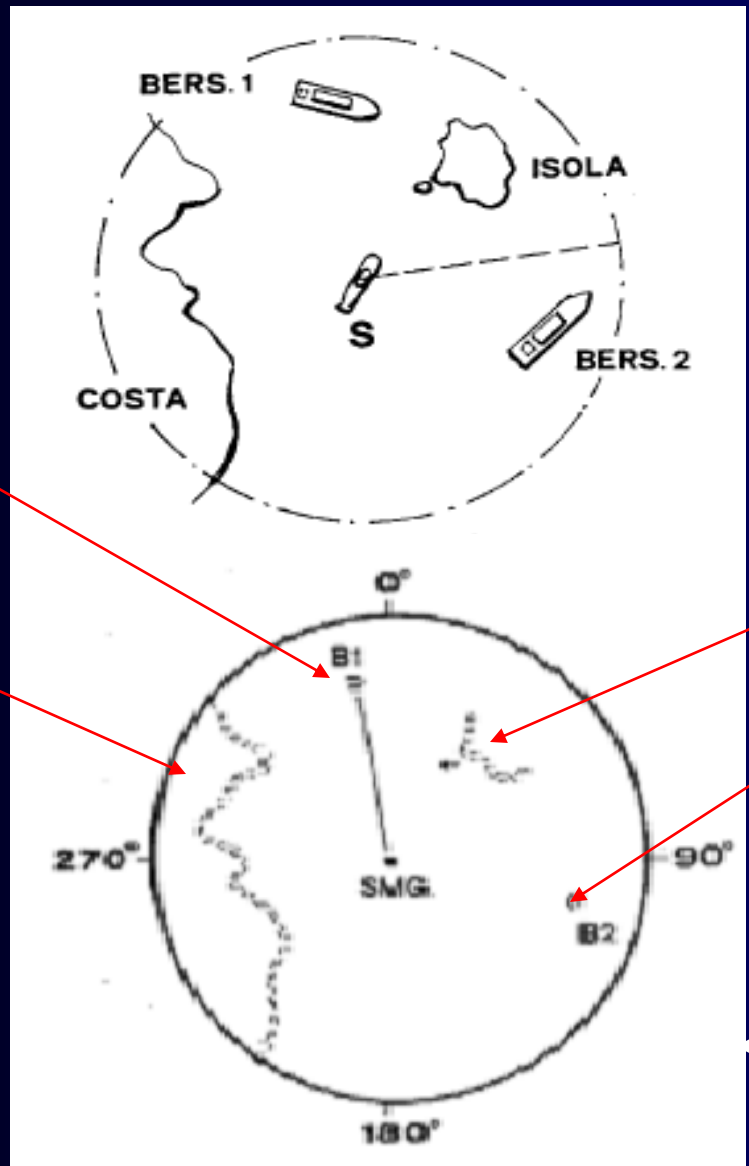
Inseguimento automatico di un semovente leggero in accostata verso il sonar:



Presentazione video tipo A in coordinate cartesiane per tre semoventi che generano rumore



Presentazione video tipo PPI (coordinate polari) per alcuni ostacoli fermi rivelati con il metodo dell'eco



Scenario subacqueo



eco da semovente 1

echi dalla costa

echi dall'isola

eco da semovente 2

Presentazione video

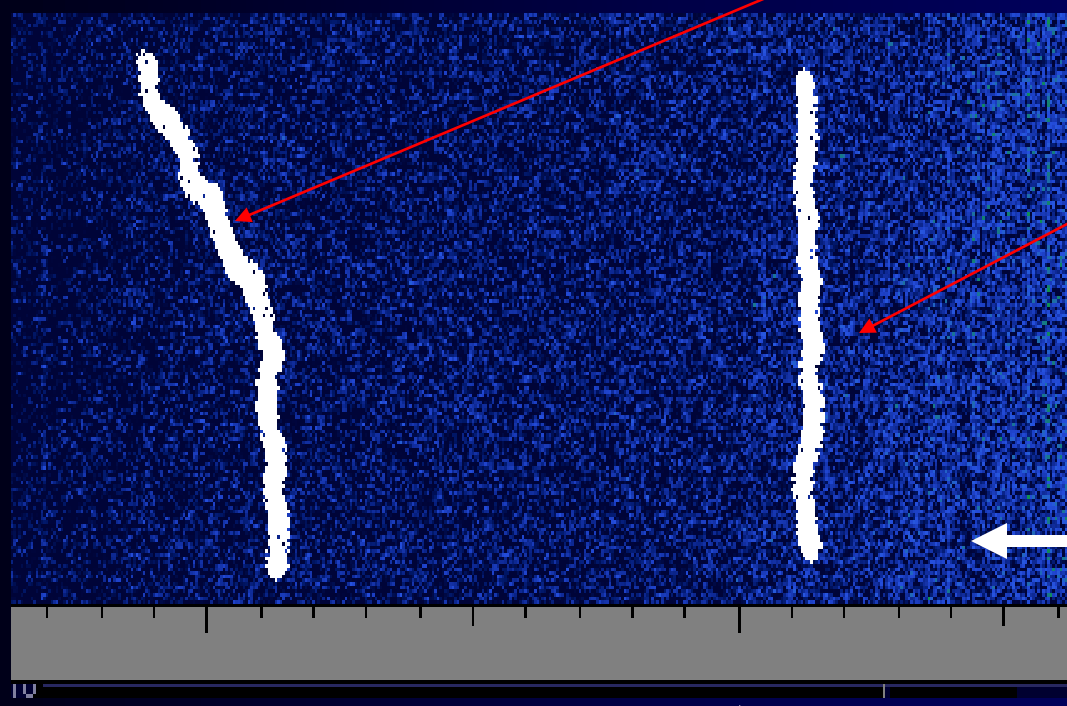
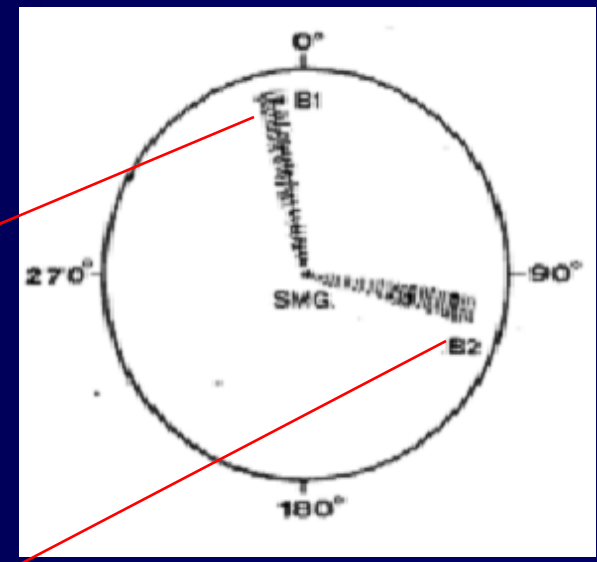


Presentazione video a cascata per due semoventi che generano rumore

Per consentire la memoria nel tempo delle cinematiche effettuate dai semoventi

rumore

Scenario subacqueo



Presentazione video

direzione

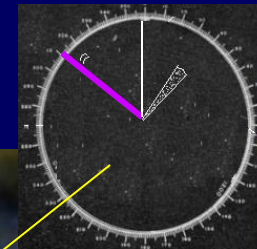
I sonar di produzione italiana



Sonar operativo IP64 per sottomarini Classe Toti USEA 1960 – La Spezia –

La console comando e controllo

Presentazione
polare



**Sistema ricevente e
trasmittente con
ascolto audio e
presentazione video
delle tracce dei
semoventi.**

TECNOLOGIA:

**Circuiti a
semiconduttori, gruppi
elettromeccanici,
valvole termoioniche e
tubi a raggi catodici.**

**Sonar con dimensioni ridotte
studiato per piccoli sommergibili:**

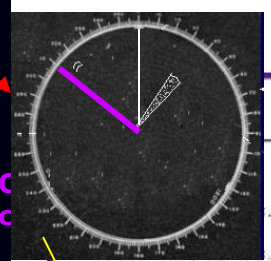
Cls. Toti



Sonar operativo IPD70 per sottomarini Classe Sauro 1^ serie USEA / SELENIA - 1970

Present. polare

IP 70 integrated sonar system



CONSOLE COMANDO E CONTROLLO



REPETITORE PER ATTIVAZIONE E RICEZIONE DEL SONAR



TRASMETTITORE

BASE ACUSTICA AF



RICEVITORE



BASE ACUSTICA BF



IDROFONO TRASDUTTORI



INDICAZIONE DELLA PASSIVA SONAR
INDICAZIONE DELLA ATTIVA SONAR

ALIMENTAZIONE PER IL SONAR ATTIVO E IL TRASDUTTORE IDROFONO

TRASDUTTORE E FORMAZIONE DEI RAGGI PER IL SONAR ATTIVO E PASSIVO

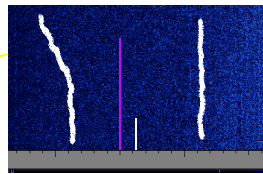
Sonar operativo IPD74 per sottomarini Classe Sauro 2^a serie USEA / ELSAG - 1974

-Computer ESA24-

**Present.
a cascata**

IPD 74 integrated sonar system

Consolle comando e controllo



Sistema ricevente e trasmettente con ascolto audio e presentazione video delle tracce dei
Circuiti integrati digitali e analogici,
computer ESA 24, gruppi elettromeccanici,
tubi a raggi catodici.

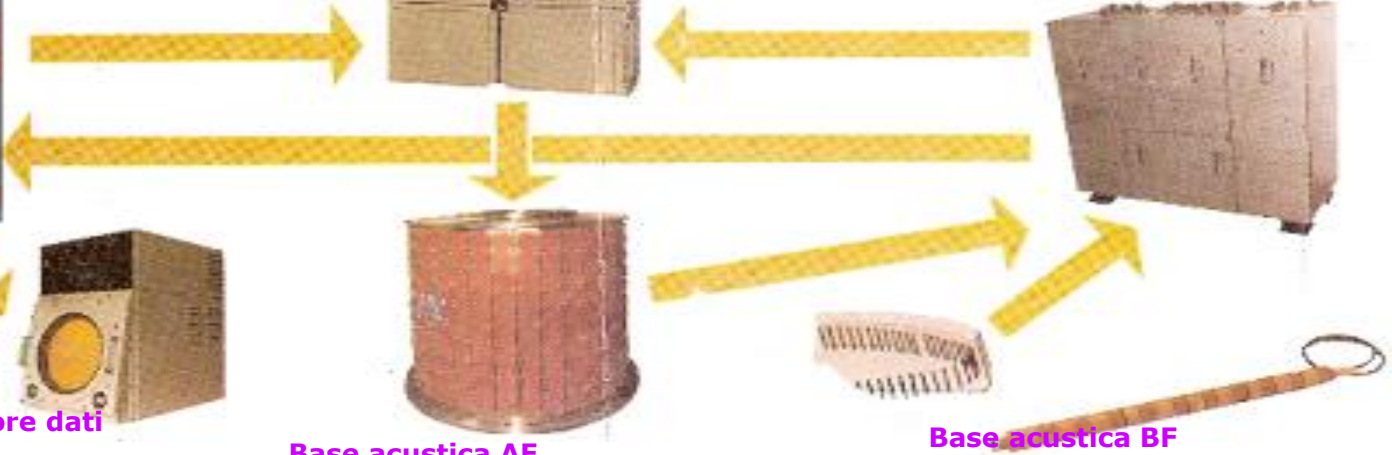
Trasmittitore

Ricevitore

Ripetitore dati

Base acustica AF

Base acustica BF



Sonar d'emergenza FALCON per sottomarini Classi Toti e Sauro Arsenale M.M.I. La Spezia - 2000



S/N (dB) RC (Sec.) BRQ (gradi) R.Stim. (Km) R.Port. Tempo di Acc.

+1 0,1 95,00 [] [] 1'

270° 0° 90°

Integrazione RC=0.1 Puntamento<> Ins. Aut. G.video - G.video +

Simul. Smorzat. Calcoli di portata Vb (Kn) SS Prop. Interp. Puntam. Audio Ez

Calcolo

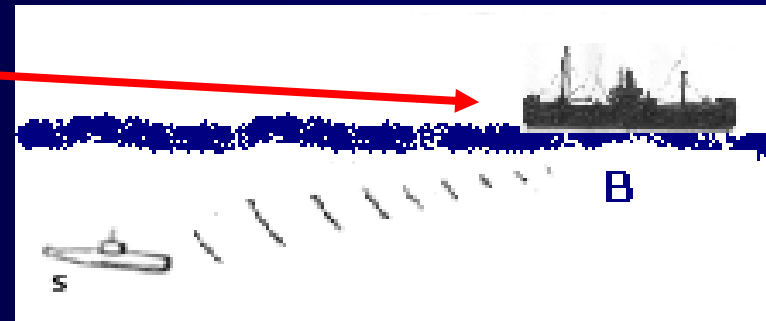
FALCON 2000

La scoperta strumentale dei segnali idrofonici

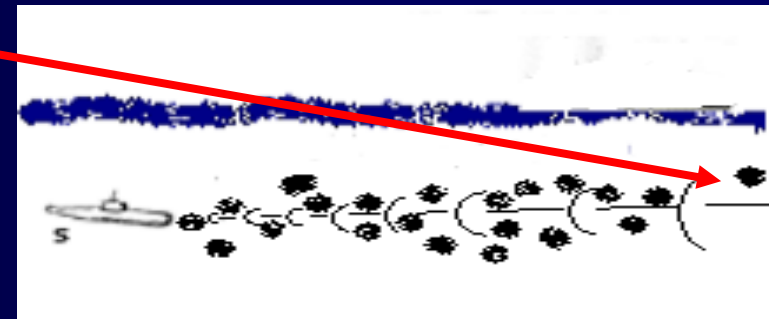


Sonar per sottomarini Cl. Sauro. La prima realizzazione in Italia con rivelazione video in correlazione

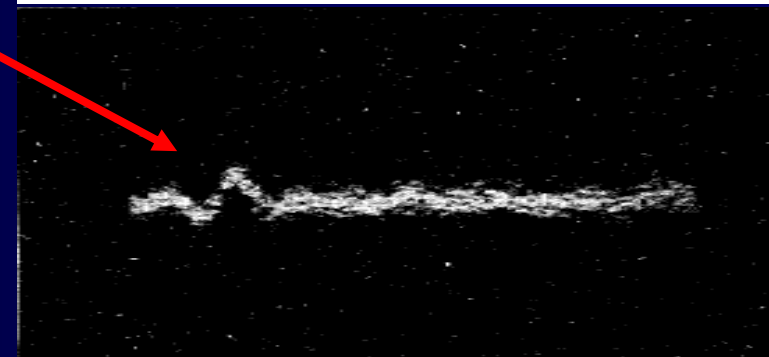
Se il semovente è relativamente vicino l'operatore può stabilirne la posizione mediante l'ascolto del rumore irradiato



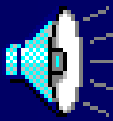
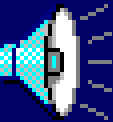
Se il semovente è molto lontano il suo rumore è mascherato dal rumore del mare e l'operatore non riesce più a discriminarlo; la scoperta è affidata a rilievi strumentali



I rilievi sono basati sulle **funzioni di correlazione** che consentono di scoprire un semovente anche quando il suo segnale è inferiore al rumore del mare ad una condizione:



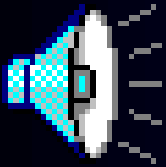
accettare coppie di Pfa e Priv. (probabilità percentuali di falso allarme e di rivelazione) così come



35 Segnale di ampiezza "S" con rumore casuale di ampiezza "N" visti con oscilloscopio: il segnale si rivela con semplicità.

$S = 1$

$N = 0.5$

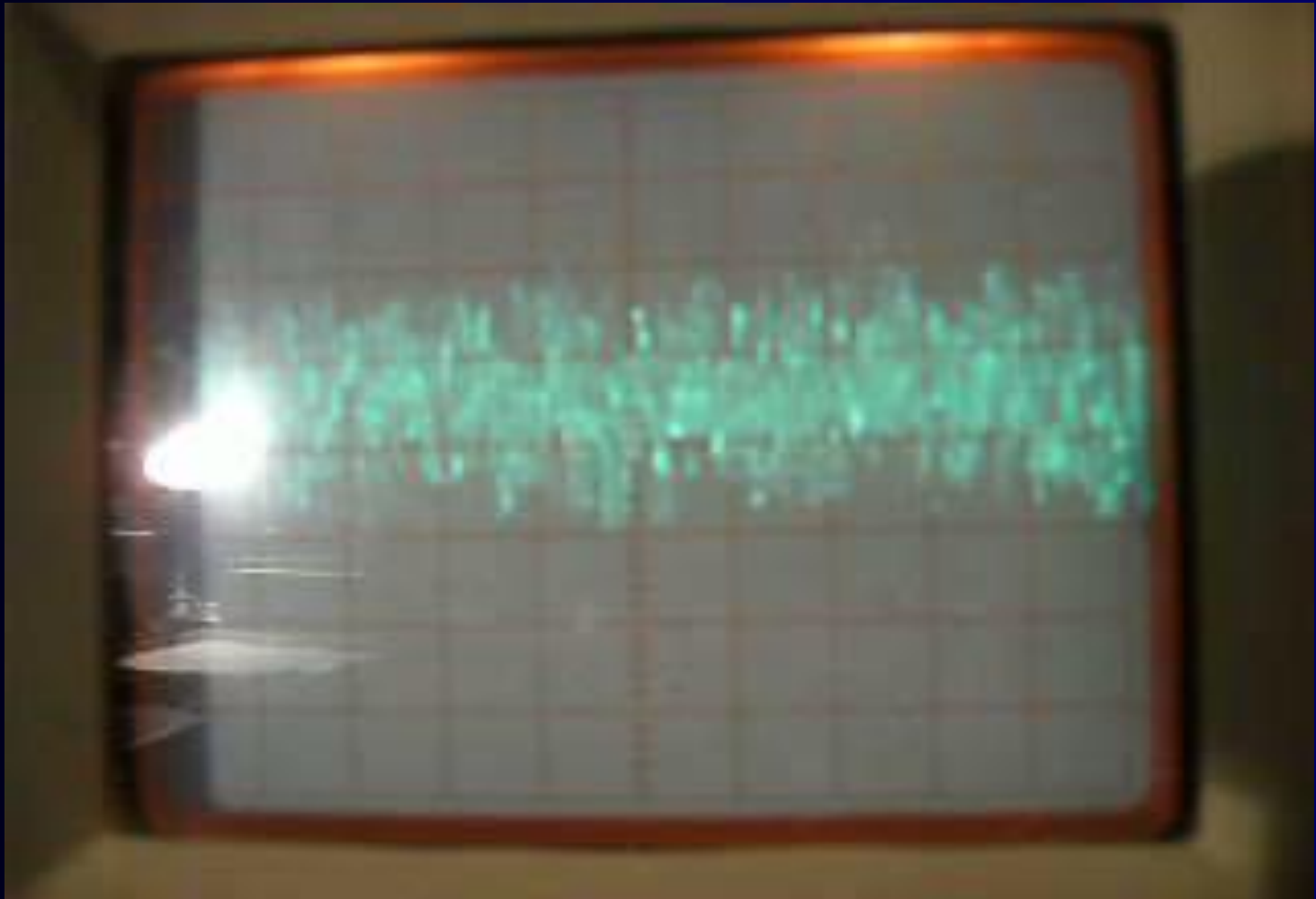


Segnale di ampiezza "S" coperto dal rumore ambiente di ampiezza "N" visti con oscilloscopio: il segnale è rivelabile soltanto con le funzioni di correlazione.

S =

0.1

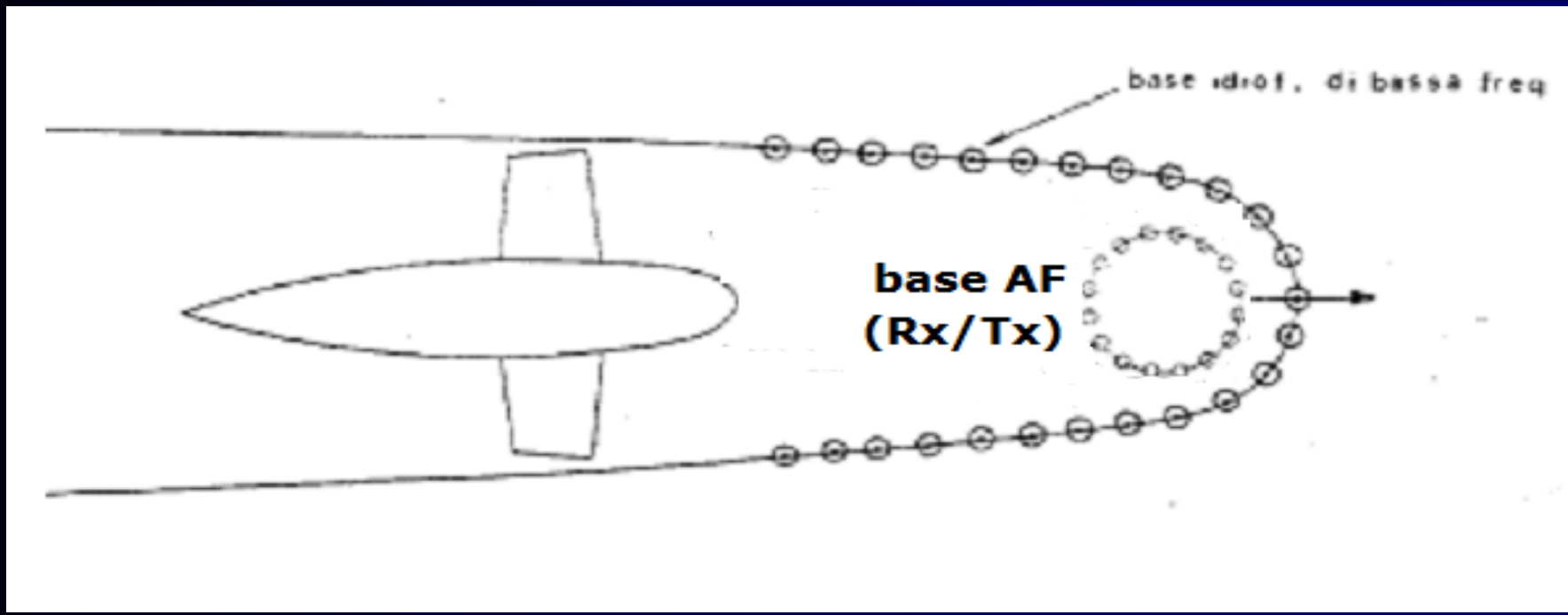
N = 1



Sulle caratteristiche e la sistemazione dei sensori elettroacustici dei sottomarini classe Sauro



"Sonar per sottomarini Cl. Sauro" disposizioni basi acustiche ric. e trasm. sullo scafo (geometria non in scala)



"Sonar per sottomarini Cl. Sauro" disposizione base acustica ricevente sullo scafo (geometria in scala)

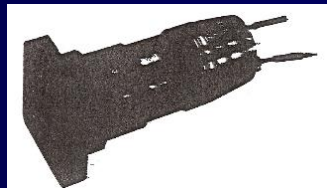


"Sonar per sottomarini Cl. Sauro" idrofoni e basi di ricezione e trasmissione

Base ricevente / trasmittente a proravia
Diametro: circa 1 m: Cifra d guadagno = 26
pari ad un incremento del segnale d 20 volte

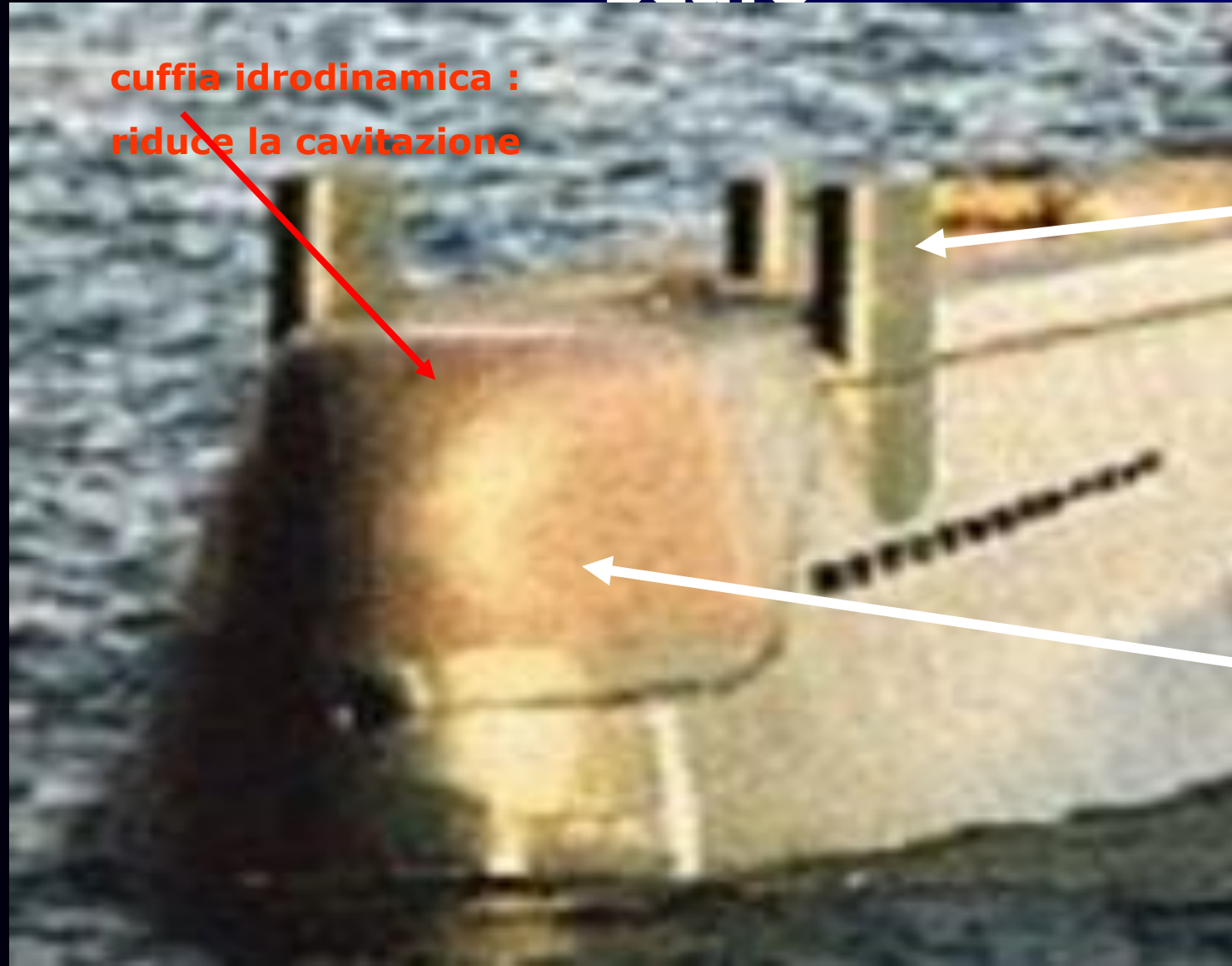
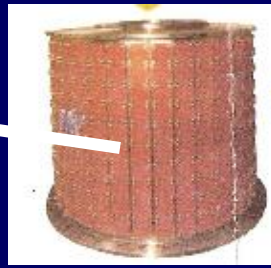


Singolo trasduttore base circolare

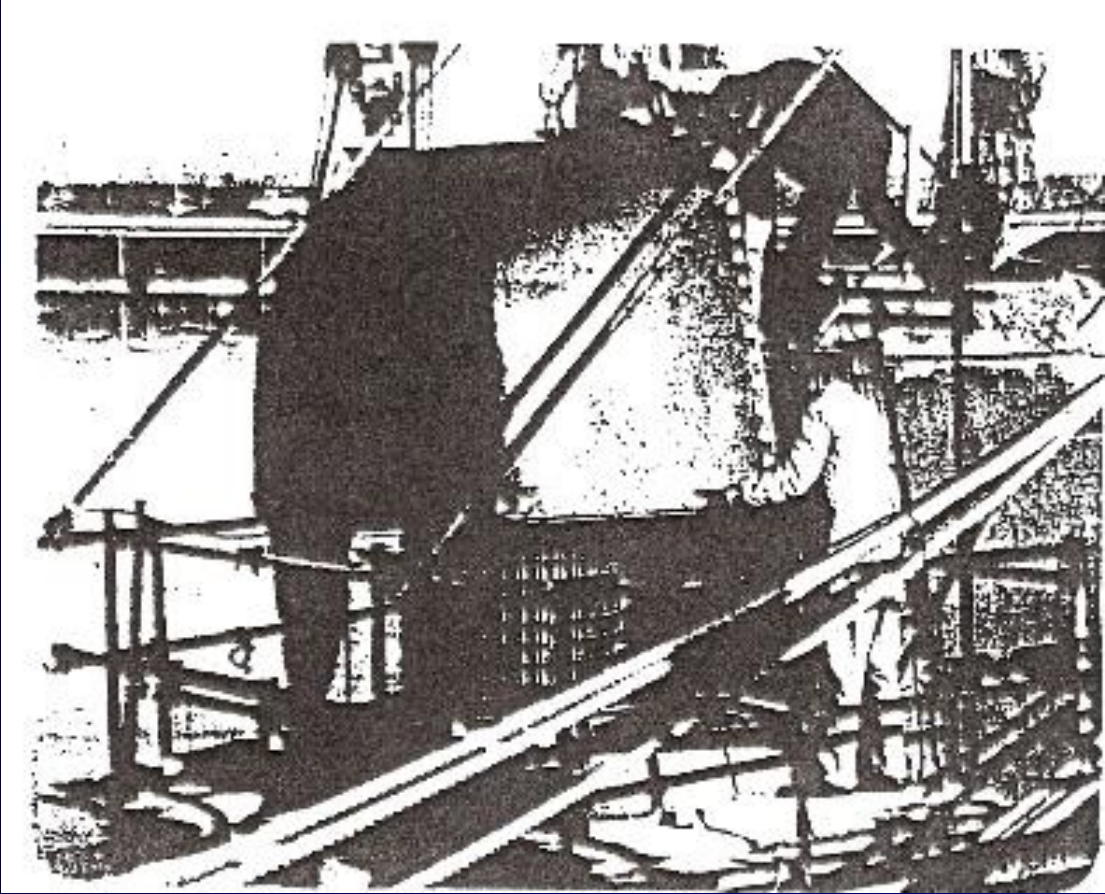
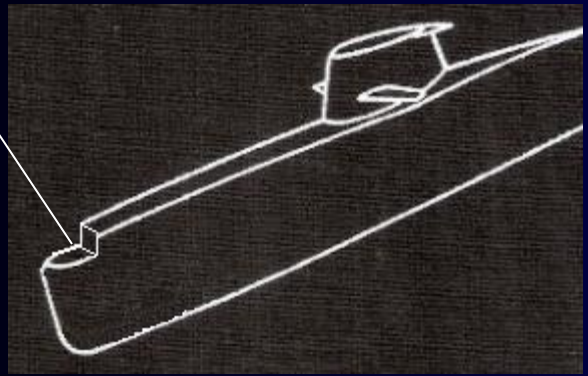


"Sonar" basi acustiche sottomarini. Cl. Sauro - sopra scafo- -

**cuffia idrodinamica :
riduce la cavitazione**



"Sonar" basi acustiche: montaggio cuffia idrod. su sottomarino Cl. Sauro.



“Sonar” basi acustiche sottomarini. Cl. Sauro – sotto falso scafo – disegno non in scala

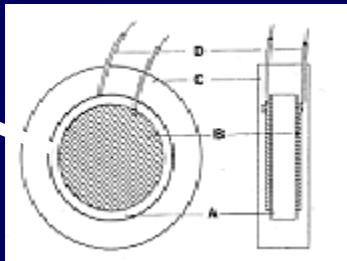
Vista base ricevente dallo spaccato del falso scafo



"Sonar" una delle 6 pinne per MD dei sottomarini. Cl. Sauro



Pinna per misuratore passivo della distanza



**L'orientamento della
45 caratteristica di
direttività di una
cortina d'idrofoni.**

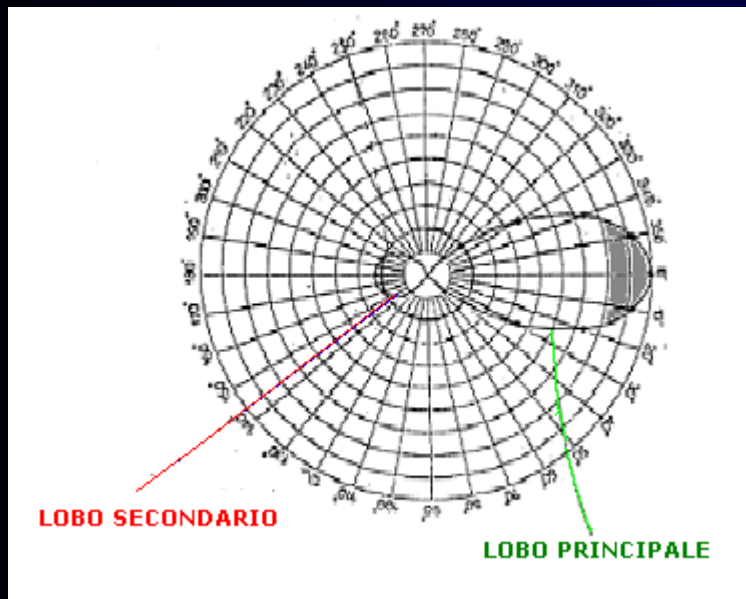
**Lobo ruotante
manualmente o fasci
di lobi**



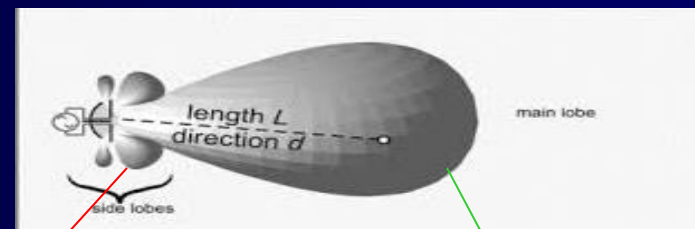
Presentazione del lobo di direttività in coordinate polari

Sono ottimamente ricevibili soltanto le onde acustiche provenienti dalla direzione attorno al massimo della zona ombreggiata, la direzione può variare a comando dell'operatore al sonar

Caratteristica di direttività in coordinate polari



Analogia a seguire:

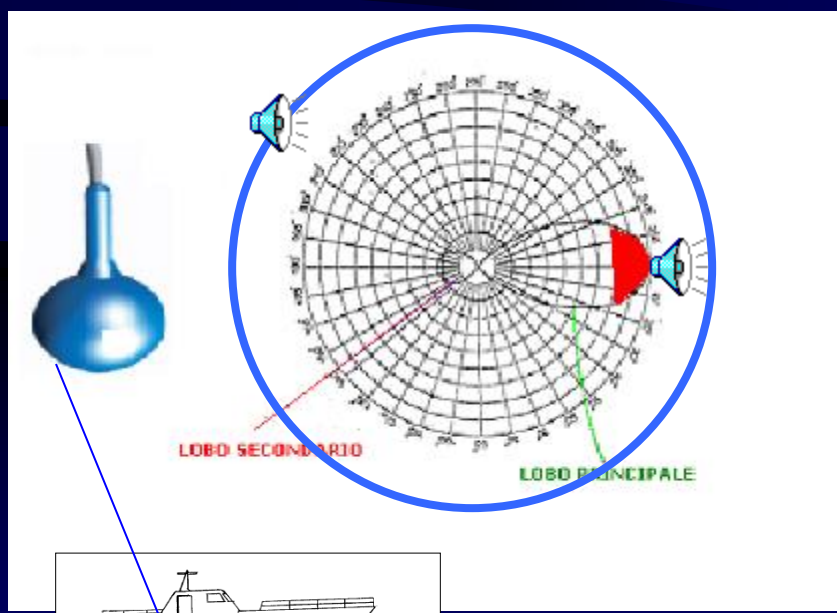


Lobo secondario

Lobo principale

“Sonar” caratteristica di direttività di una cortina idrofonica – lobo di ricerca manuale dell’ostacolo-

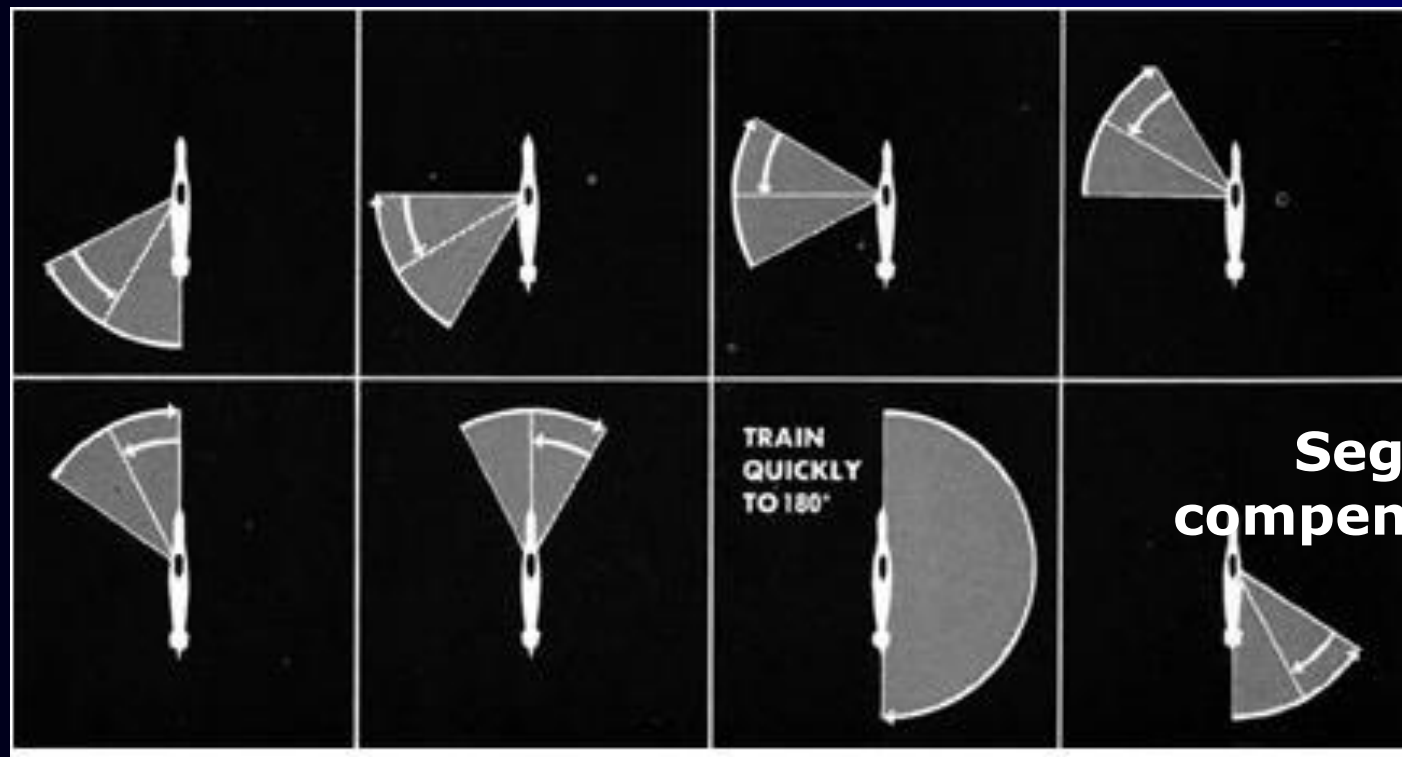
Sono ottimamente ricevibili soltanto le onde acustiche provenienti dalla direzione attorno al massimo della zona ombreggiata, la direzione può variare a comando dell’operatore al sonar



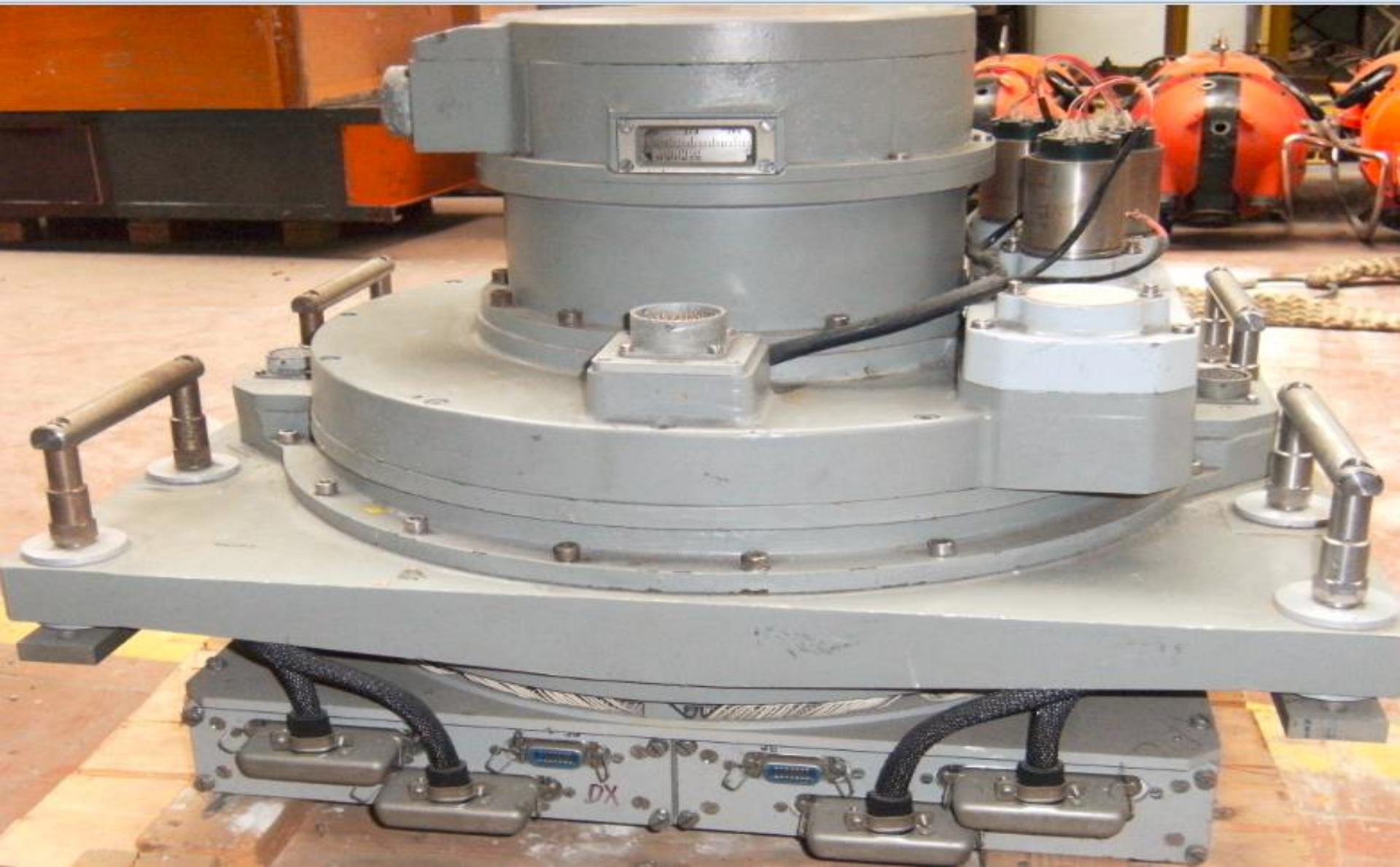
“Sonar” caratteristica di direttività di una cortina d'idrofoni – lobo di ricerca manuale -

Simulatore 

La direzione del lobo di ricerca manuale è posizionabile sui 360° dell'orizzonte

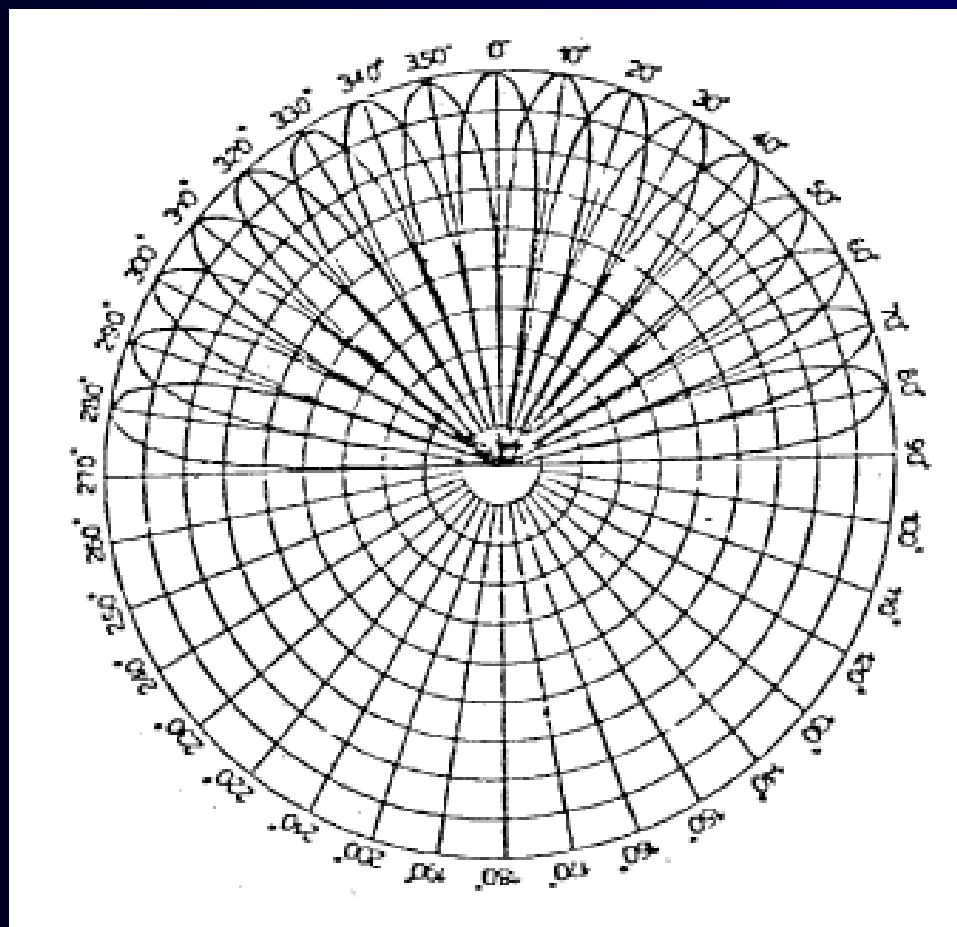


Compensatore sonar Sauro



“Sonar” caratteristica di direttività di una base d'idrofoni – ricerca automatica con fasci di lobi

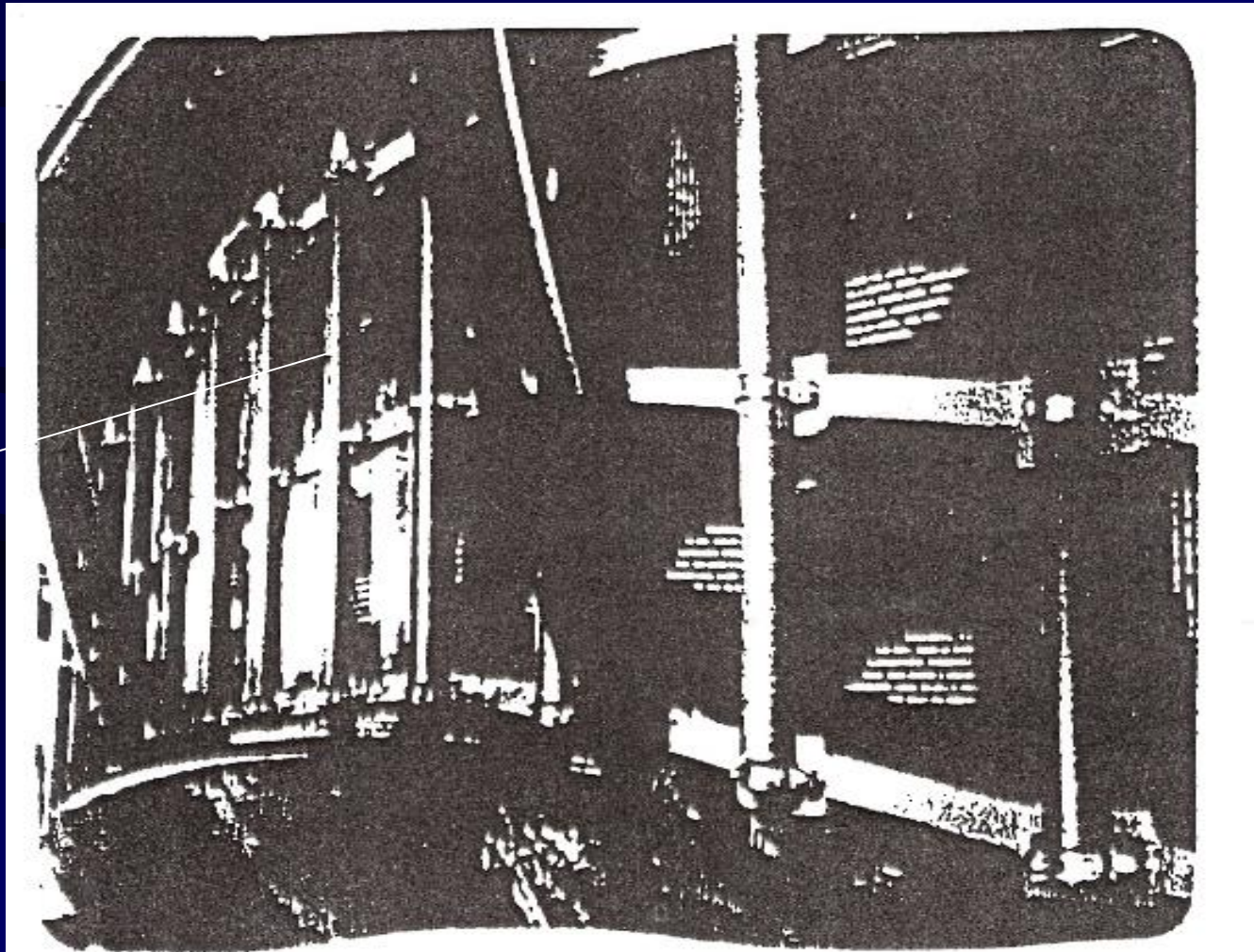
Esplorazione



È l'equivalente di un
elevato numero di
sistemi di ricerca
manuale che operano
simultaneamente

La cortina acustica dei sottomarini Cl. Sauro

Particolare degli idrofoni montati sotto il falso scafo

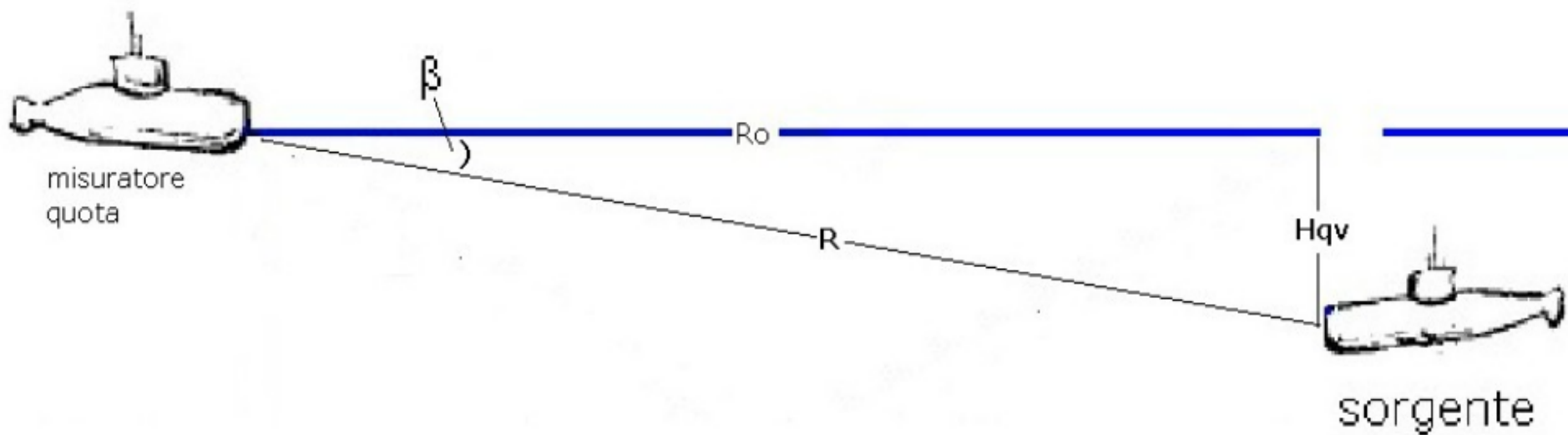


La misura della quota di un semovente

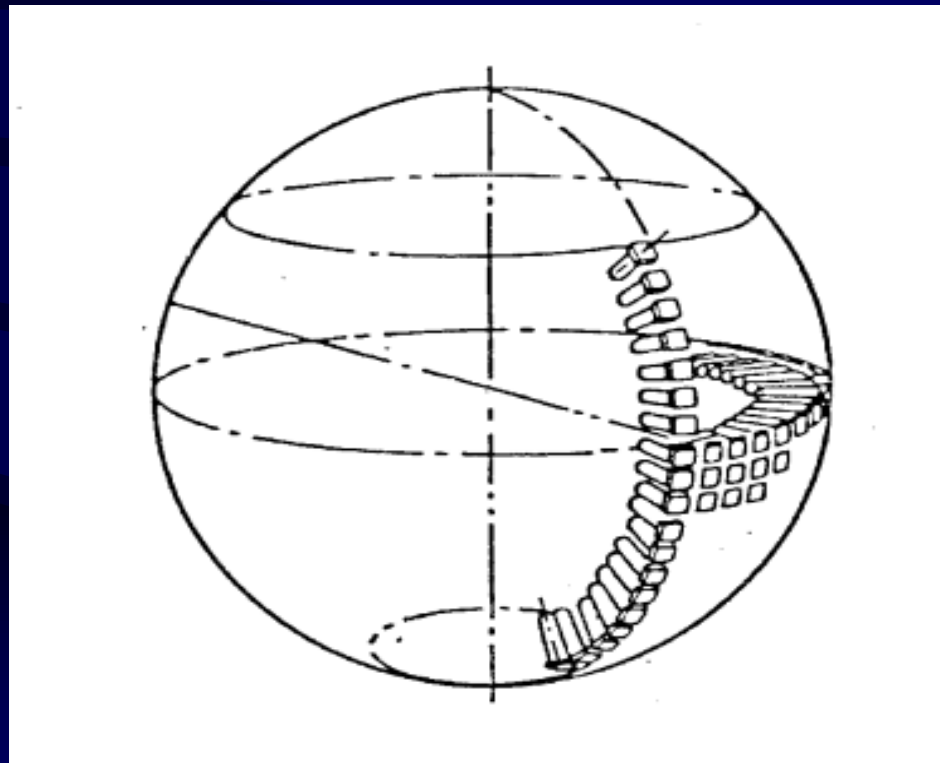


La misura della quota H_{qv} di un semovente si ricava dal rilievo dell'angolo di sito β

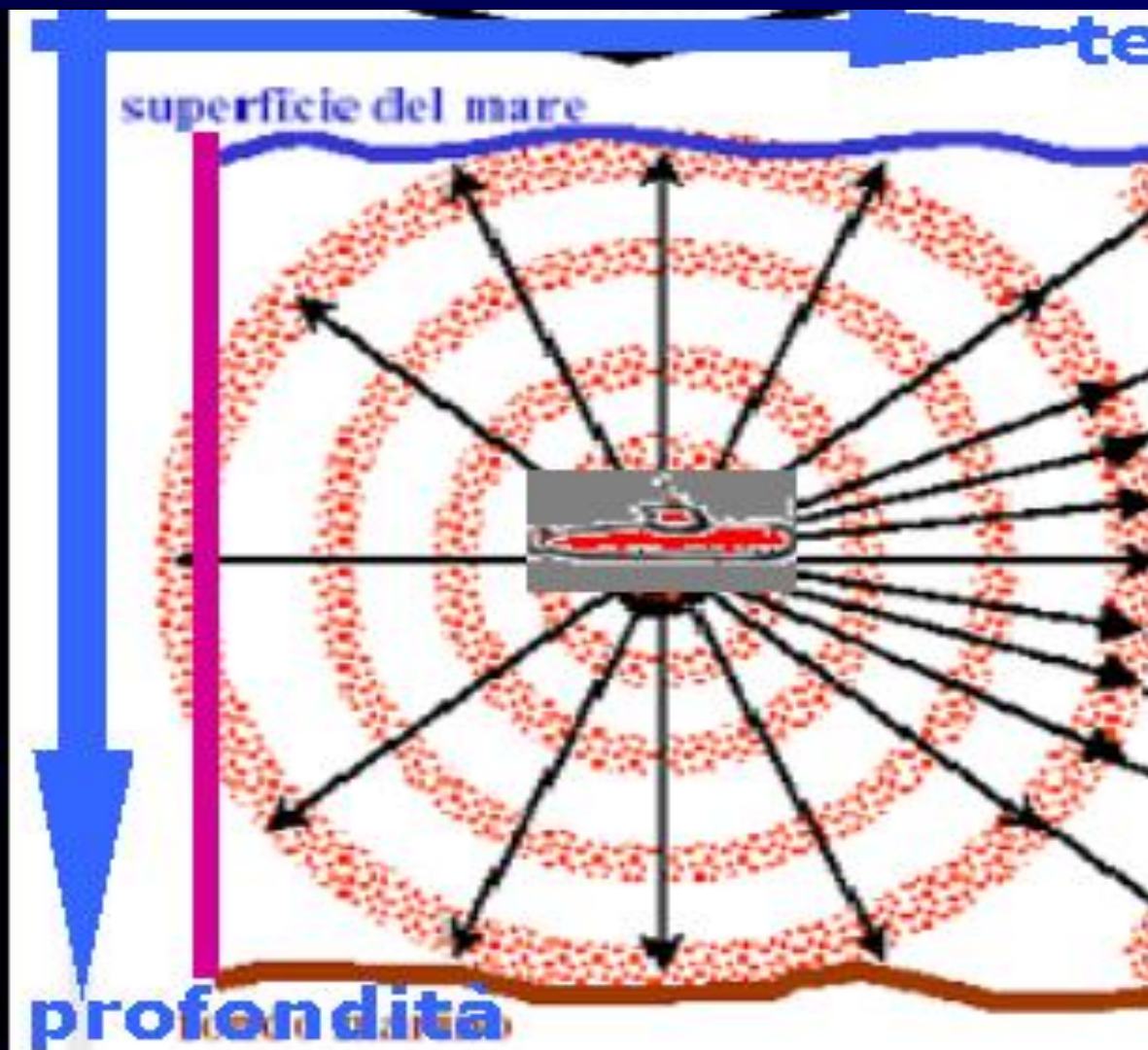
$$H_{qv} = R \text{ Sen}(\beta)$$



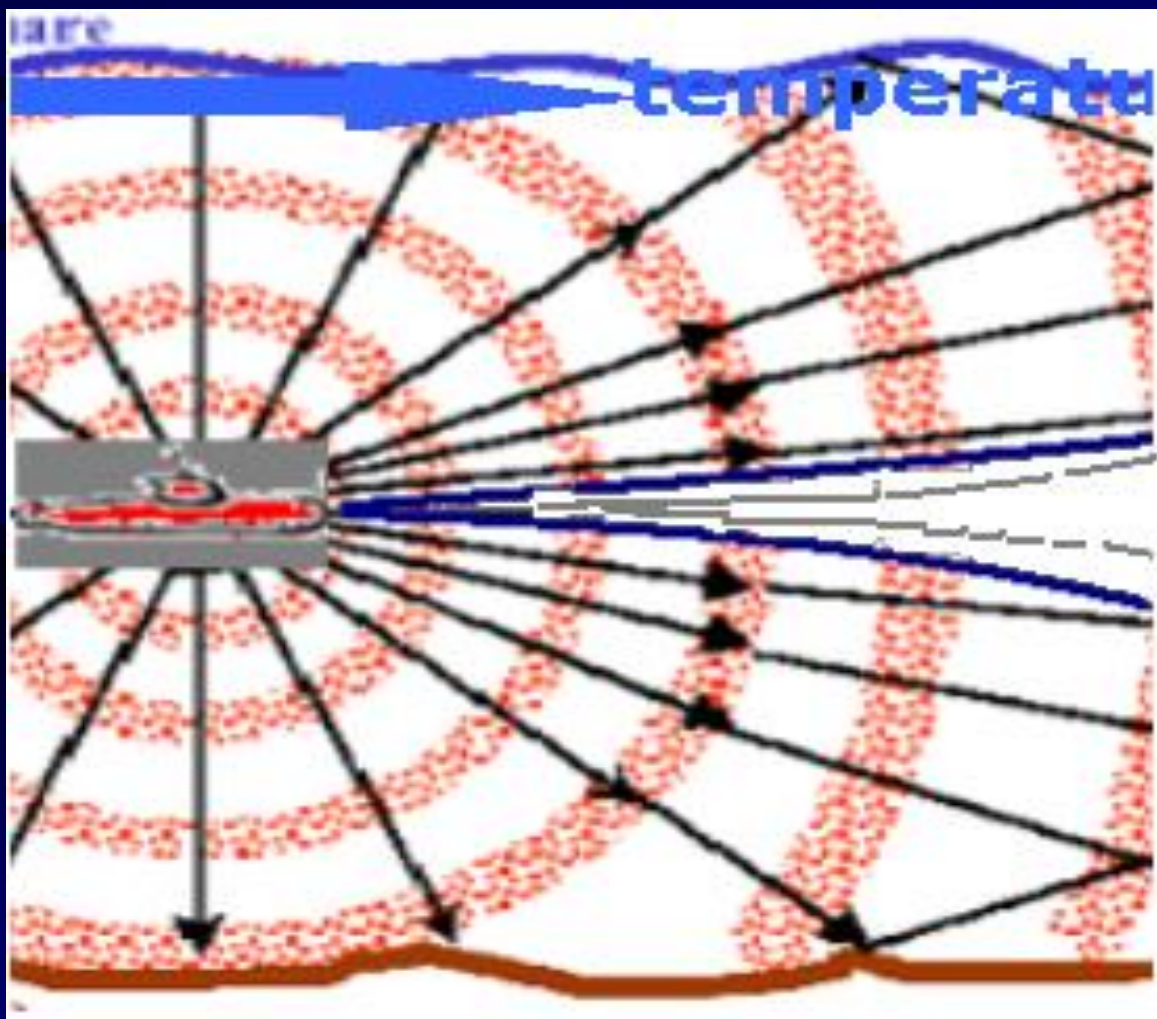
La misura dell'angolo di sito β è ottimizzata se la base idrofonica del sonar ricevente è del tipo sferico



Se la propagazione del suono è **NORMALE** (secondo i raggi di una sfera) la misura di β è corretta



Se la propagazione del suono è ANOMALA i raggi acustici si flettono e la misura dell'angolo di sito non è corretta



La misura della distanza di un semovente



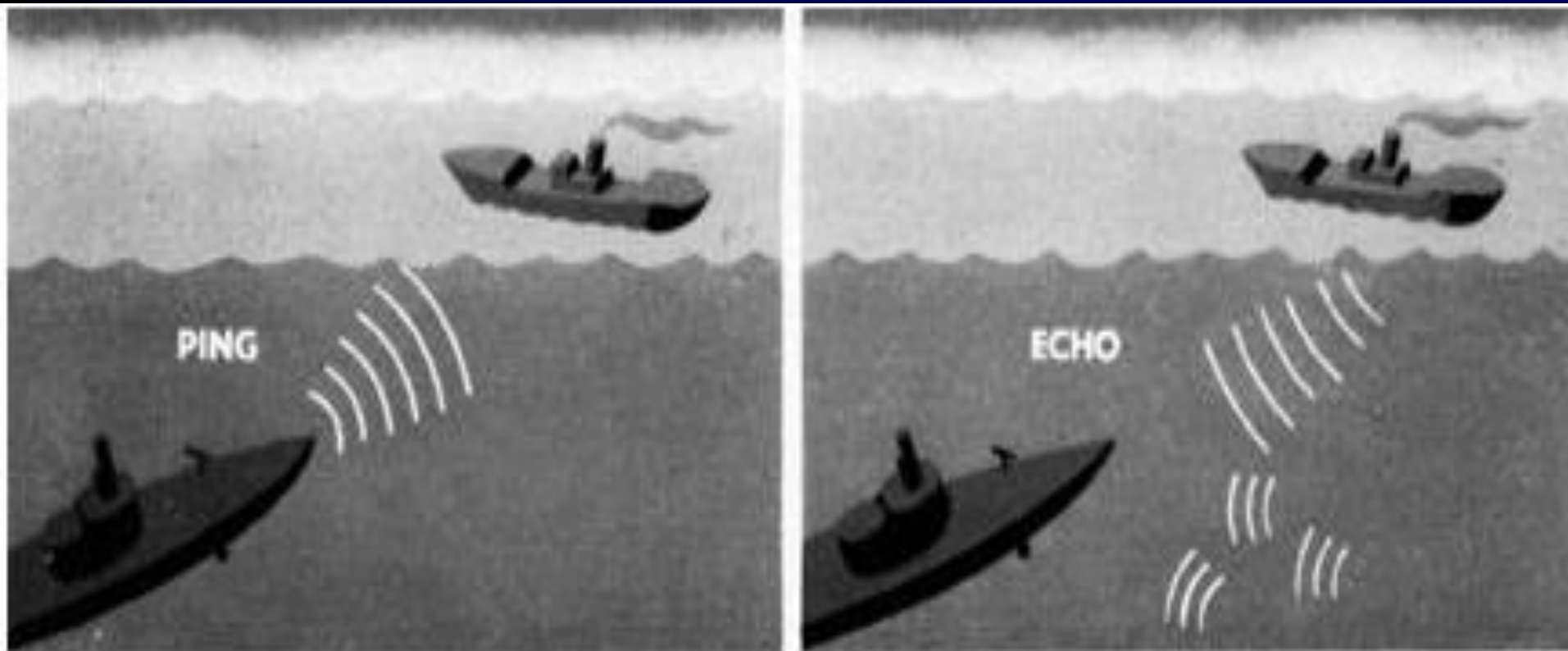
"Sonar" dopo l'impulso la misura della distanza



$$R = T C / 2$$

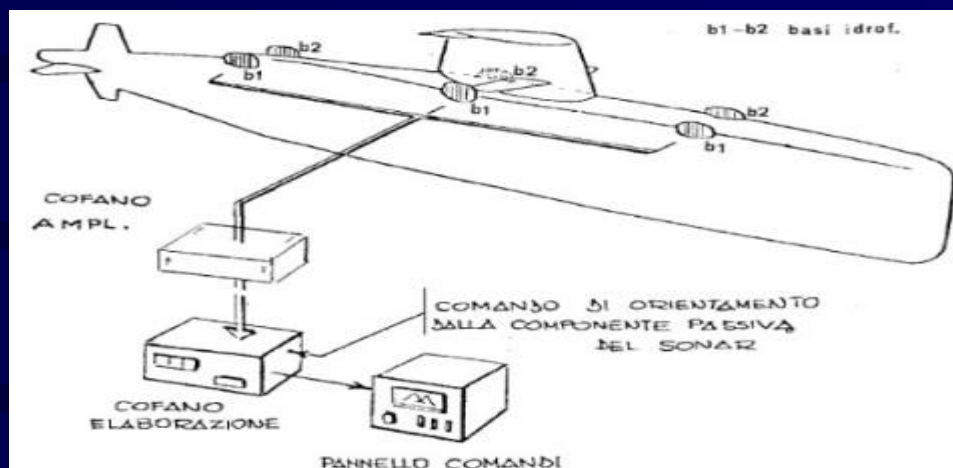
Misura della distanza R sulla base del tempo T tra emissione impulso e ricezione eco, con C = velocità del suono in mare.

In questo modo operativo l'emissione rivela la posizione del sottomarino.



"Sonar Sauro" la misura della distanza dell'ostacolo (1)

Misura della distanza sulla base delle caratteristiche temporali dell'onda emessa dal semovente
Metodo di misura che non rivela la posizione del sommergibile.



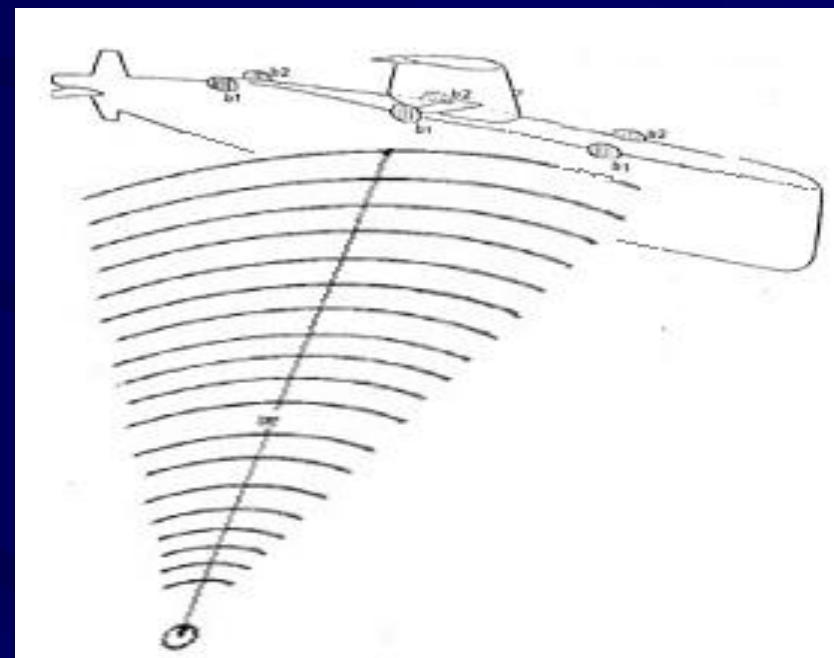
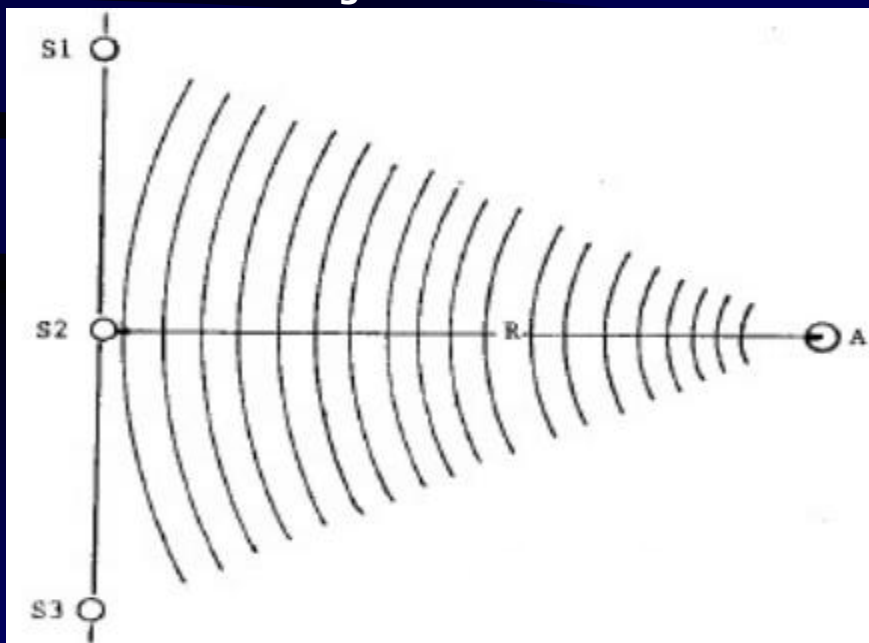
"Sonar Sauro" la misura della distanza dell'ostacolo (2)

Misura della distanza R sulla base delle caratteristiche temporali dell'onda emessa dal semovente.

$$R = D^2 / 2f$$

D = lunghezza semibase, f = freccia

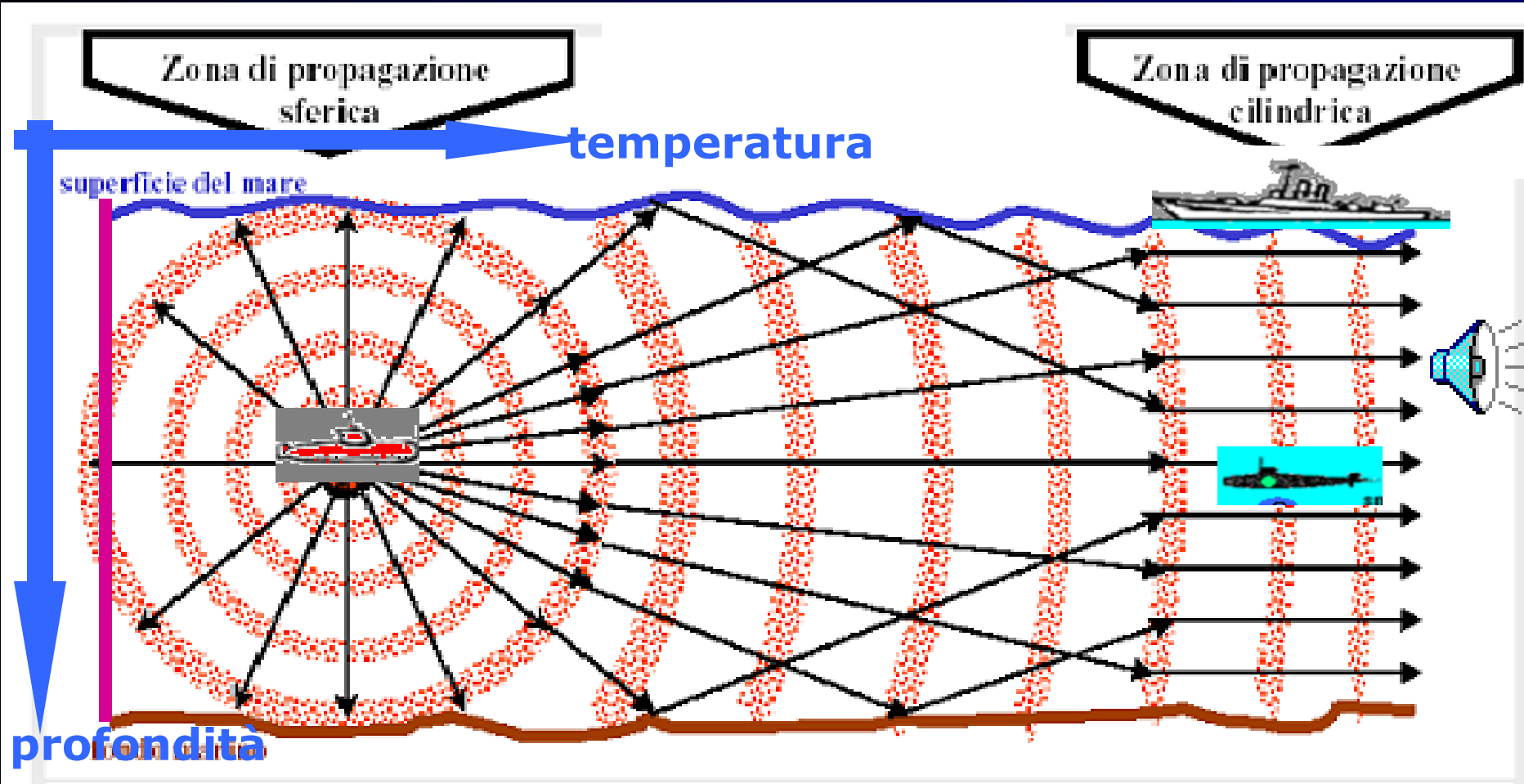
Metodo di misura che non rivela la posizione del sommergibile.



Le caratteristiche del mare e le sue implicazioni sul funzionamento del sonar

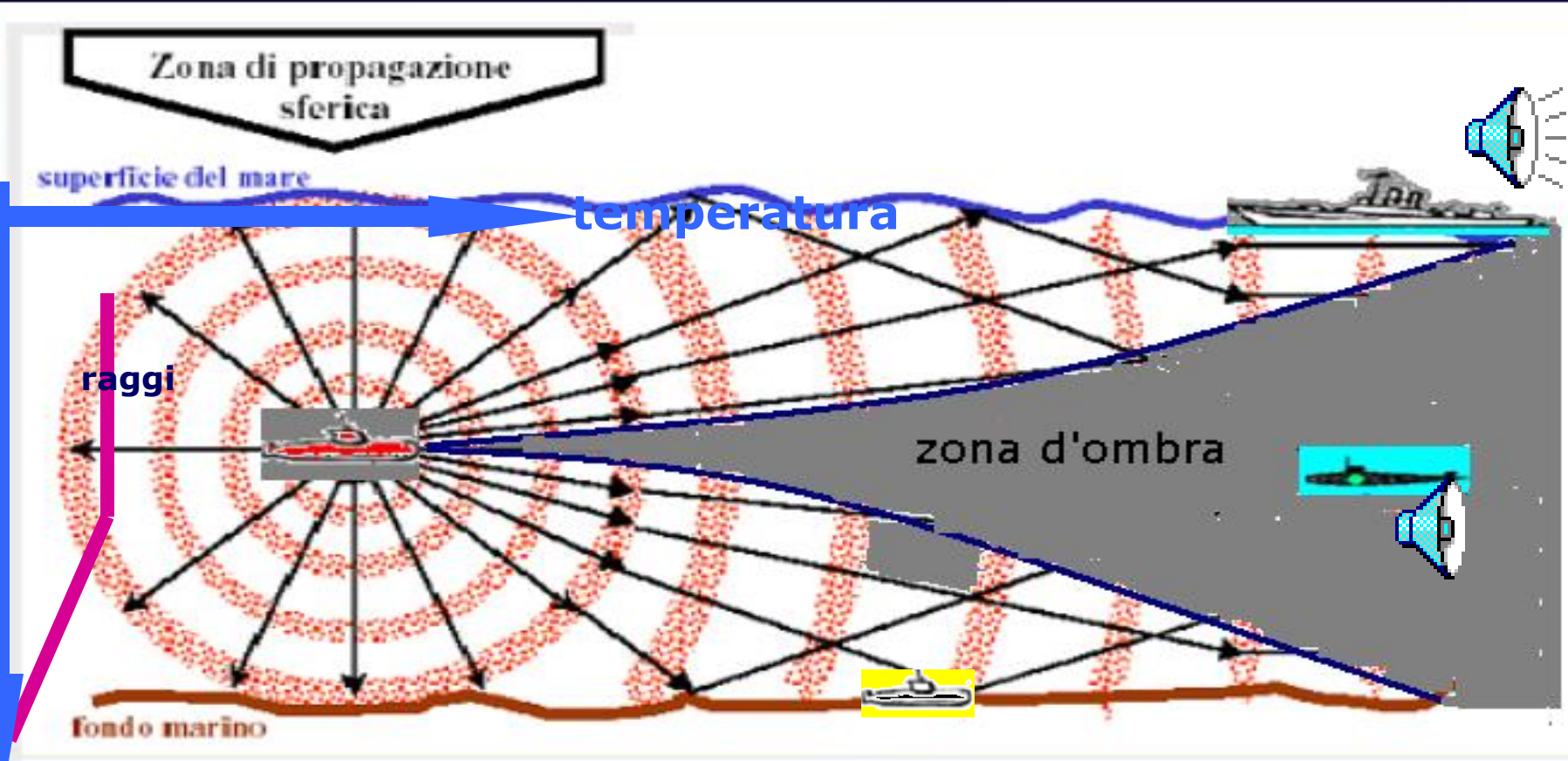


Le forme normali di propagazione del suono in mare (1): Secondo i raggi di una sfera o di un cilindro



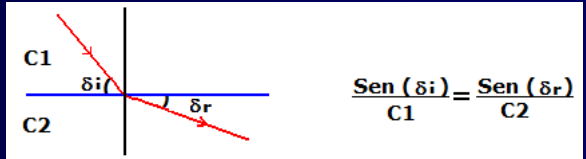
propagazione = legge di spostamento del suono.
Per divergenza e assorbimento

63 Le forme anomale di propagazione del suono in mare (2): le zone d'ombra



$$F_t = m \times 3.28 ; Y_d = m \times 1.09 ; F^\circ = C^\circ (9/5) + 32$$

Rifrazione legge di Snell



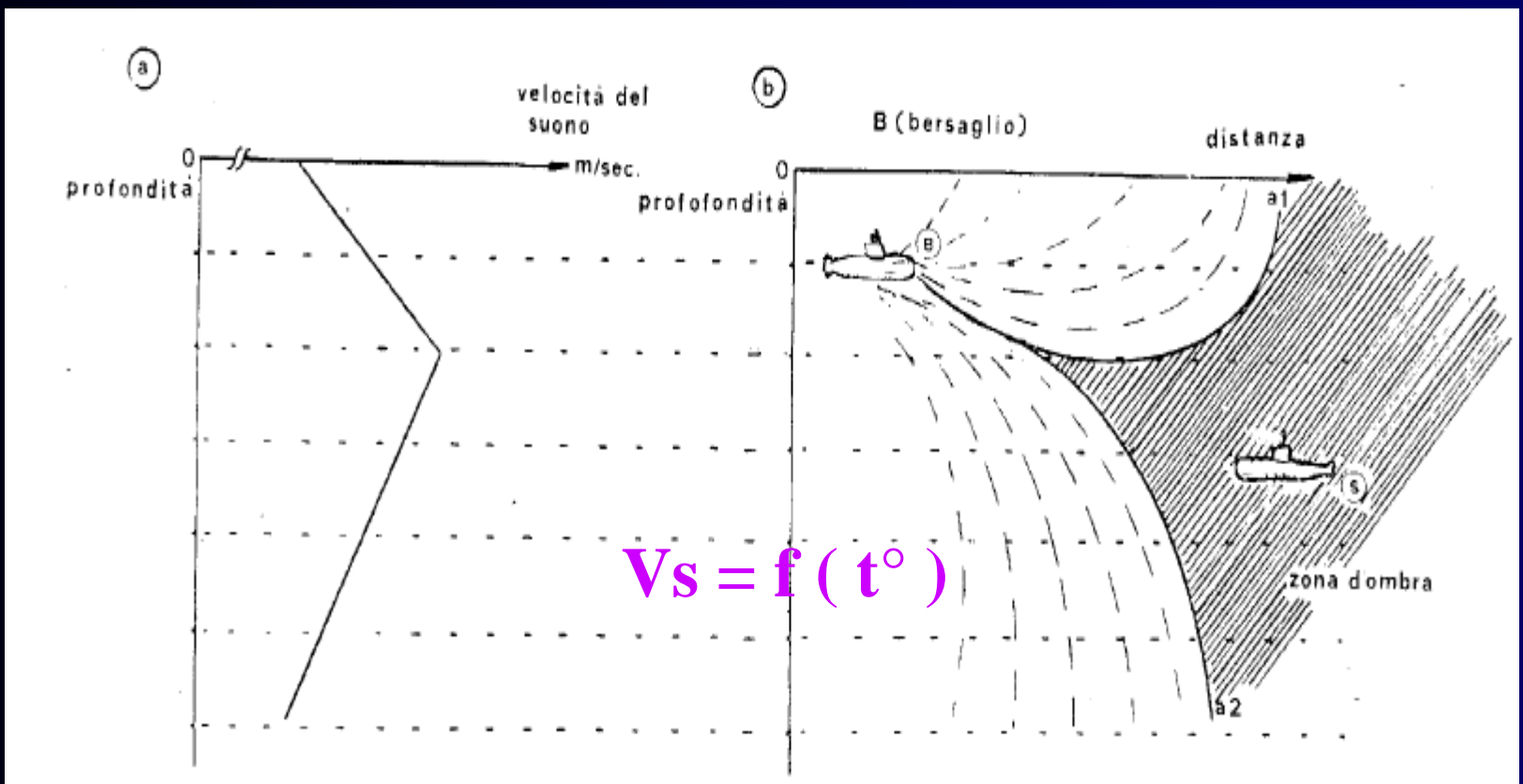
“sonar” la propagazione anomala del suono in mare (3)

Calcolo



Zona d'ombra dovuta alla variazione della temperatura con la quota.

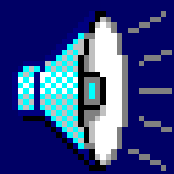
I semoventi nella zona d'ombra sono, generalmente, non rilevabili ; esempio di calcolo



I rumori dei semoventi navali: studio degli spettri, della distribuzione spaziale e della propagazione



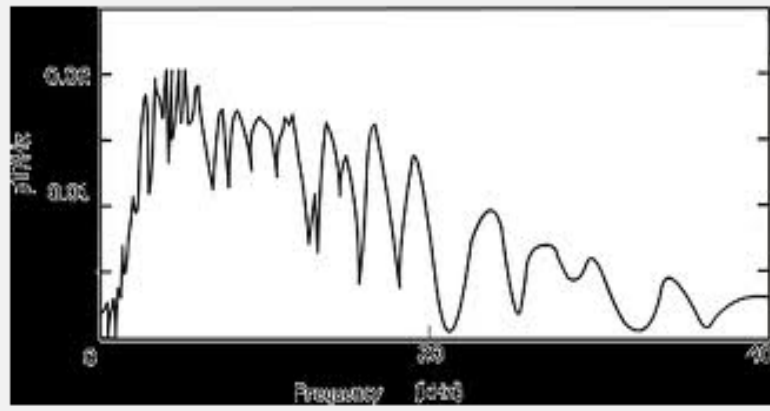
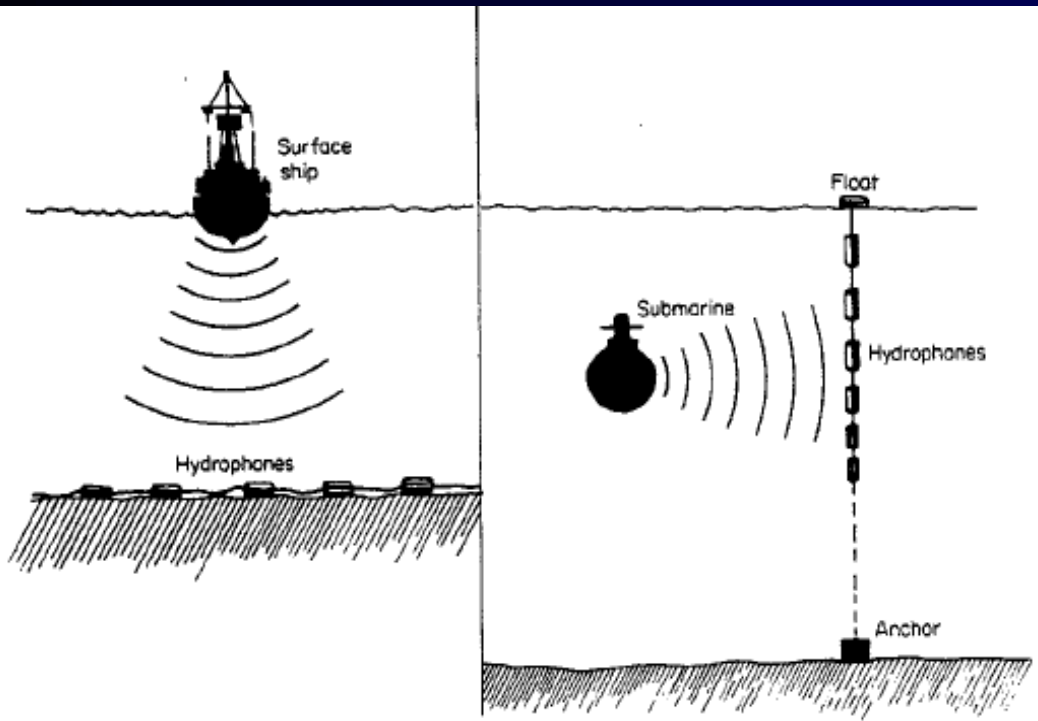
"sonar" misura e ascolto del rumore emesso dai sottomarini



Tecniche per il rilievo dei rumori emessi dai sottomarini

State ascoltando il rumore di alcuni battelli in fase di controllo

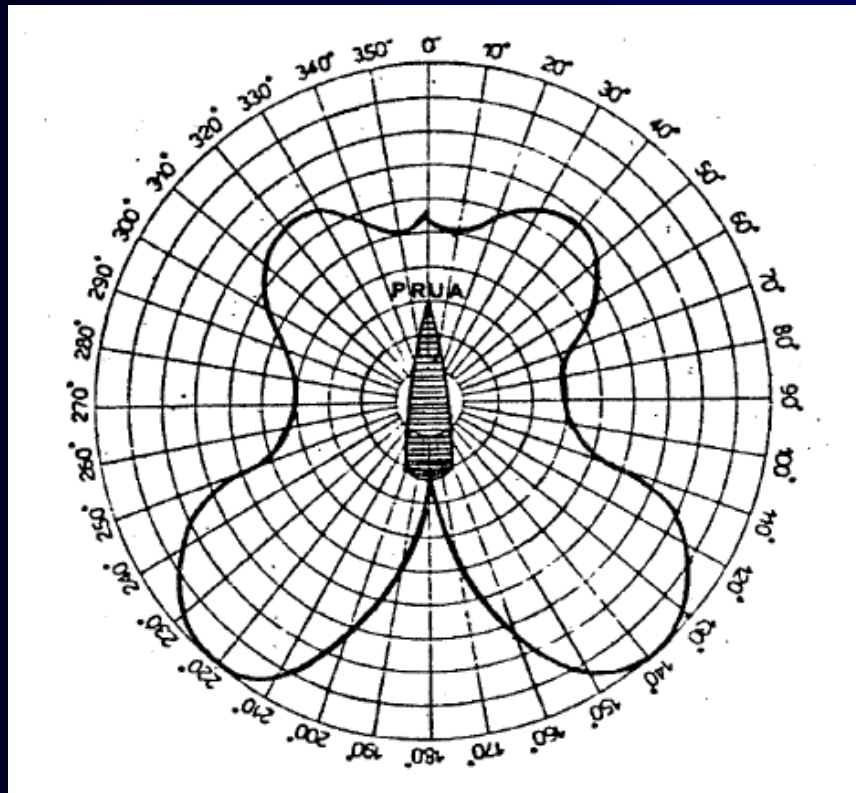
Il diagramma mostra lo spettro del rumore emesso dalla nave



“sonar” distribuzione spaziale del rumore emesso dai semoventi

“la carta d’identità dei semoventi”

Il diagramma mostra la variazione dell’intensità del
rumore della nave rispetto al suo asse



La propagazione

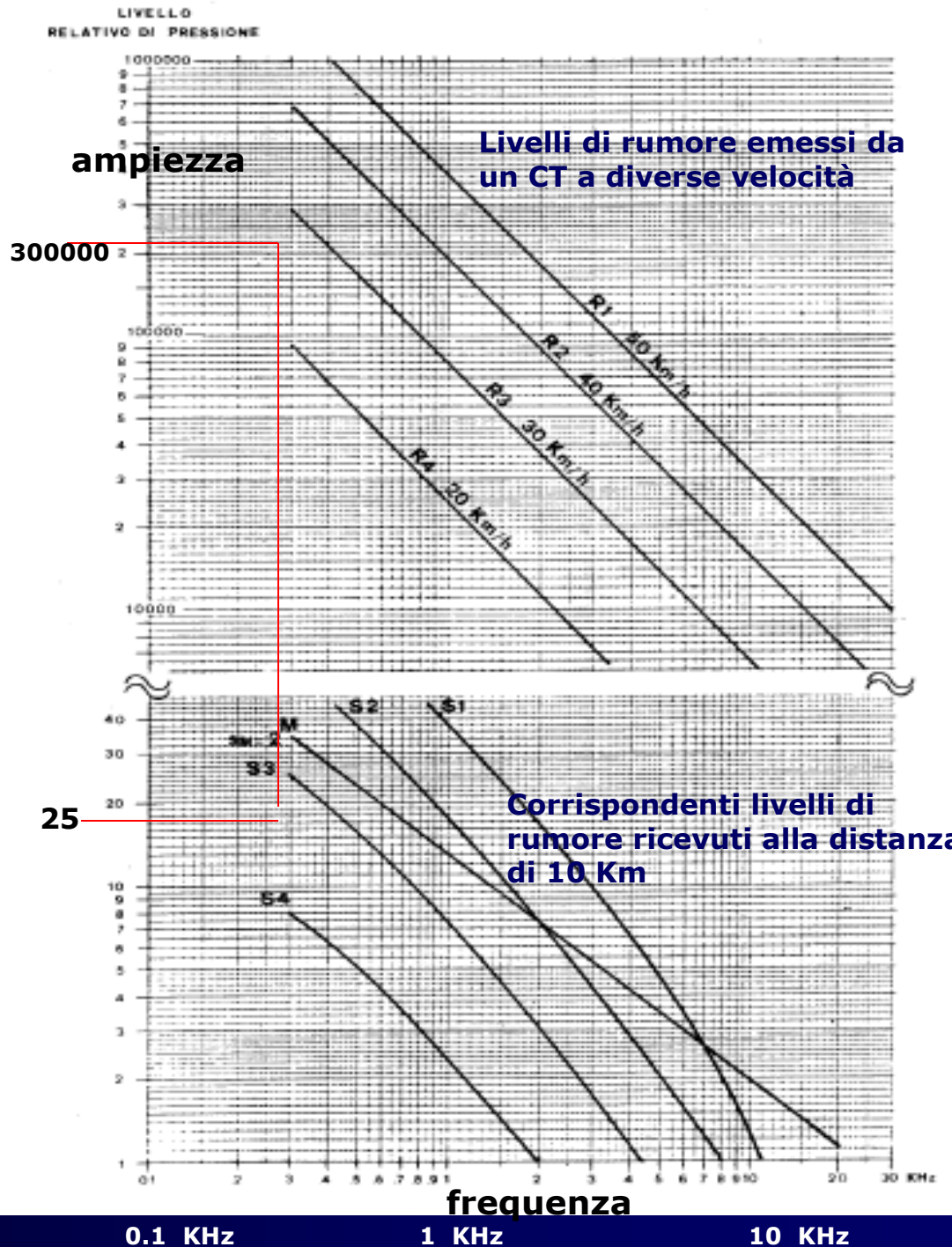
Attenuazione del suono in mare per divergenza e assorbimento: espressa in dB

$$TL = 60 + 20 \cdot \log_{10} R$$

$$\alpha = \left[\frac{0.1 \cdot f^2}{1 + f^2} \right] + \left[\frac{40 \cdot f^2}{4100 + f^2} \right] + \left[\frac{2.75 \cdot f^2}{10^4} \right]$$

livelli dei rumori di una nave ricevuti dal sonar comparati con rumore del mare (retta M) SS = 2

L'attenuazione dei rumori emessi è molto forte, dipende dalla distanza e dalla frequenza: nel grafico, ad esempio, un suono emesso a livello indicativo di 300000 viene ricevuto a livello 25



Analisi dei rumori nel mare visti come impedimenti al funzionamento del sonar



"sonar" il rumore dell'ambiente marino, il vento ed il conseguente moto ondoso.

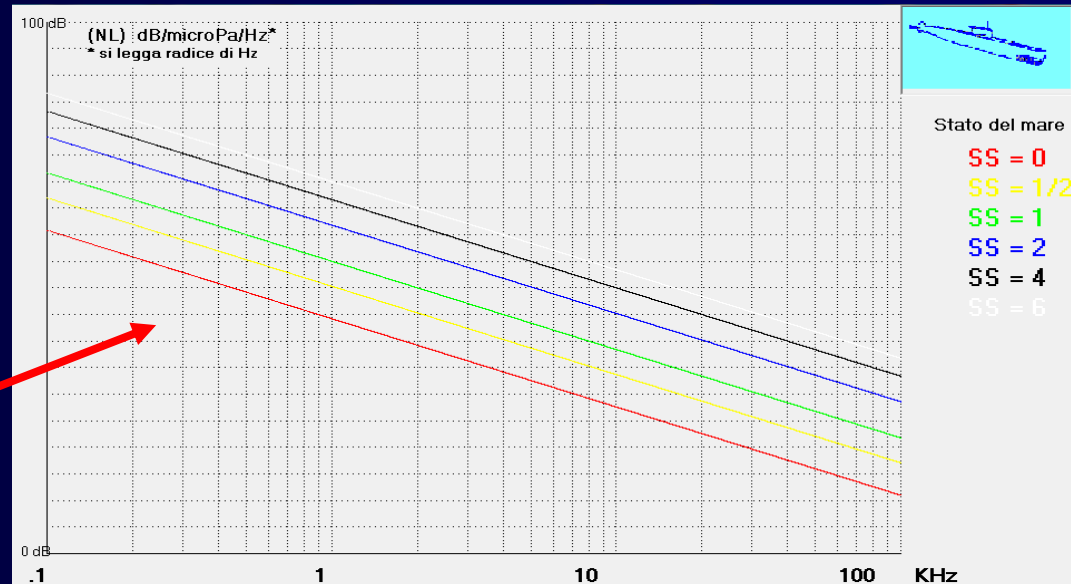
Stato del mare	Condizioni del mare
0	molto calmo
1	calmo
2	increspato
3	moderato
4	agitato
5	molto agitato
6	molto forte

Andamento del rumore del mare funzione dello stato e della frequenza

State ascoltando il rumore del mare allo stato mediano tra 2 e 3 (banda 200-1000 Hz)



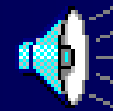
Curve secondo Knudsen



“sonar” il rumore dell’ambiente marino, l’effetto della pioggia.



**State ascoltando il
rumore della pioggia
molto intensa ricevuto
dal sonar**



“sonar” il rumore dell’ambiente marino, dovuto alle forme di vita.

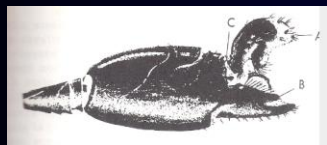


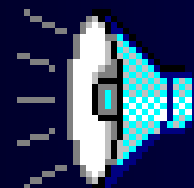
Immagine di un crangon; dimensioni da 2 a 5 cm



State ascoltando il rumore di alcuni organismi marini



Il rumore nell'ambiente marino, le balene.



State ascoltando i rumori generati dalle balene

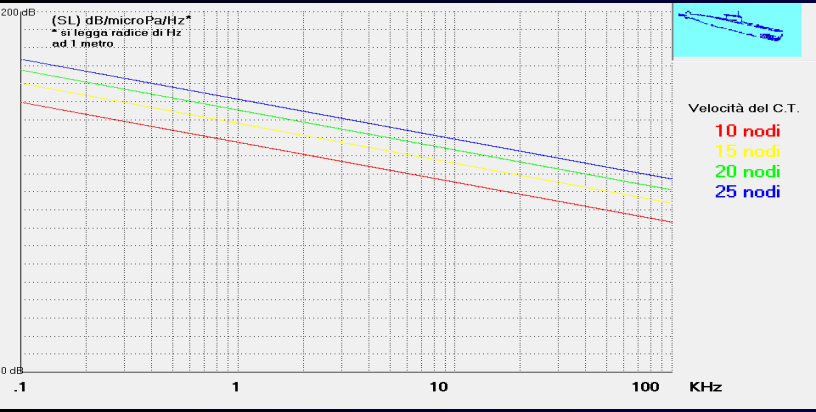
Il rumore nell'ambiente marino, la sommatoria di tutti i rumori provocati dal traffico marittimo



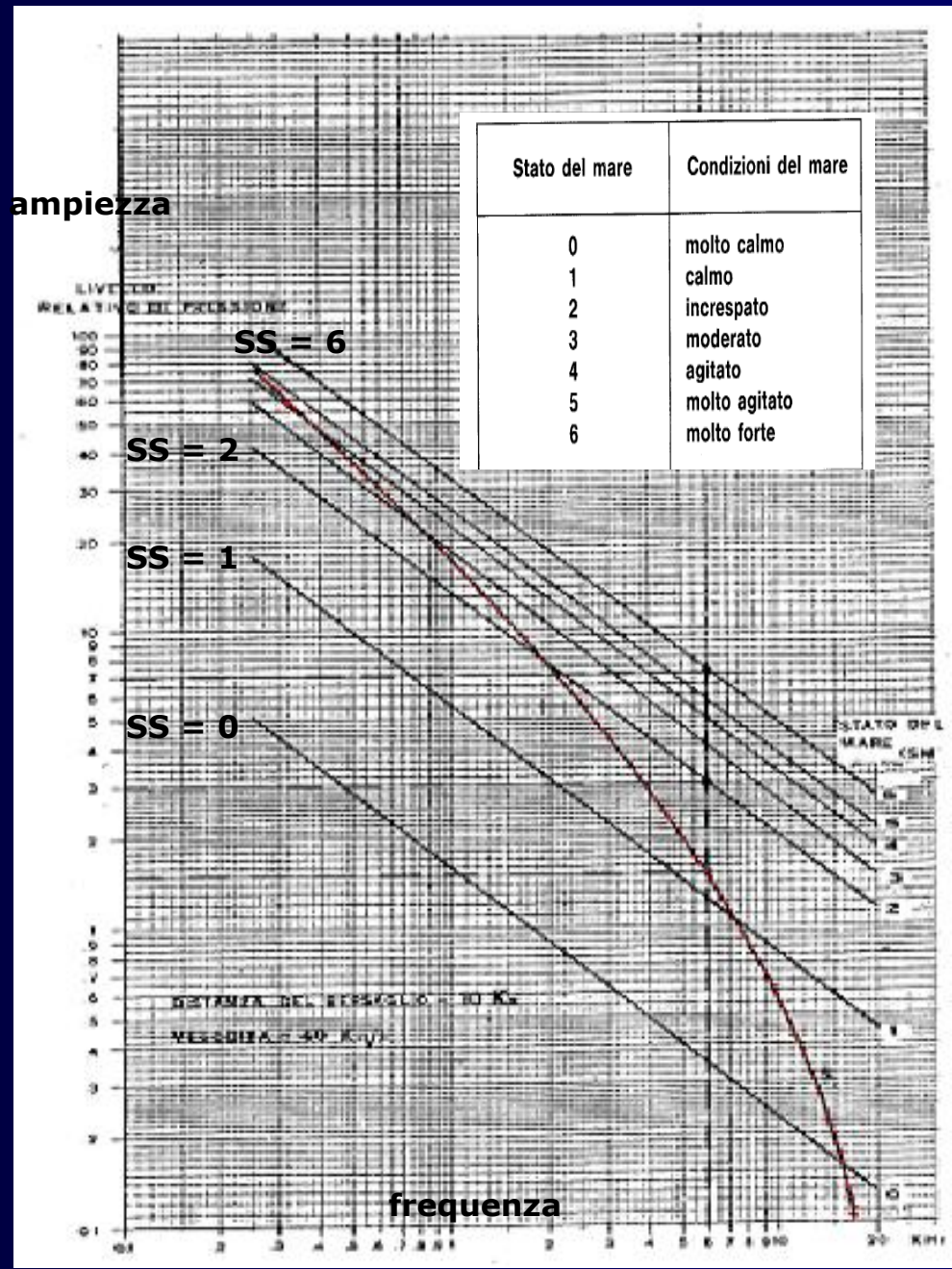
Questi rumori, prevalentemente distribuiti su bande di frequenze tra 10 e 200 Hz, sono la combinazione casuale delle vibrazioni in acqua delle unità navali a grande distanze

75 Confronto tra:

Curva rossa:
livelli del rumore del
segnale emesso da un
CT a distanza di 30 Km
che naviga a 40 Km / h
(funzione velocità e
frequenza)



Curve nere:
Rumore dell'ambiente
marino a diversi livelli
dello stato del mare.

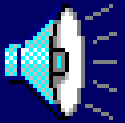


Simulazioni dinamiche di visualizzazione degli ostacoli sul sonar



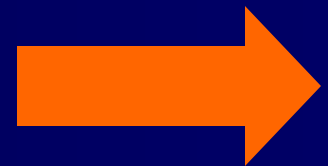
77

Emissione singolo impulso per ricerca ostacolo passivo su 360° Presentazione polare con rumore

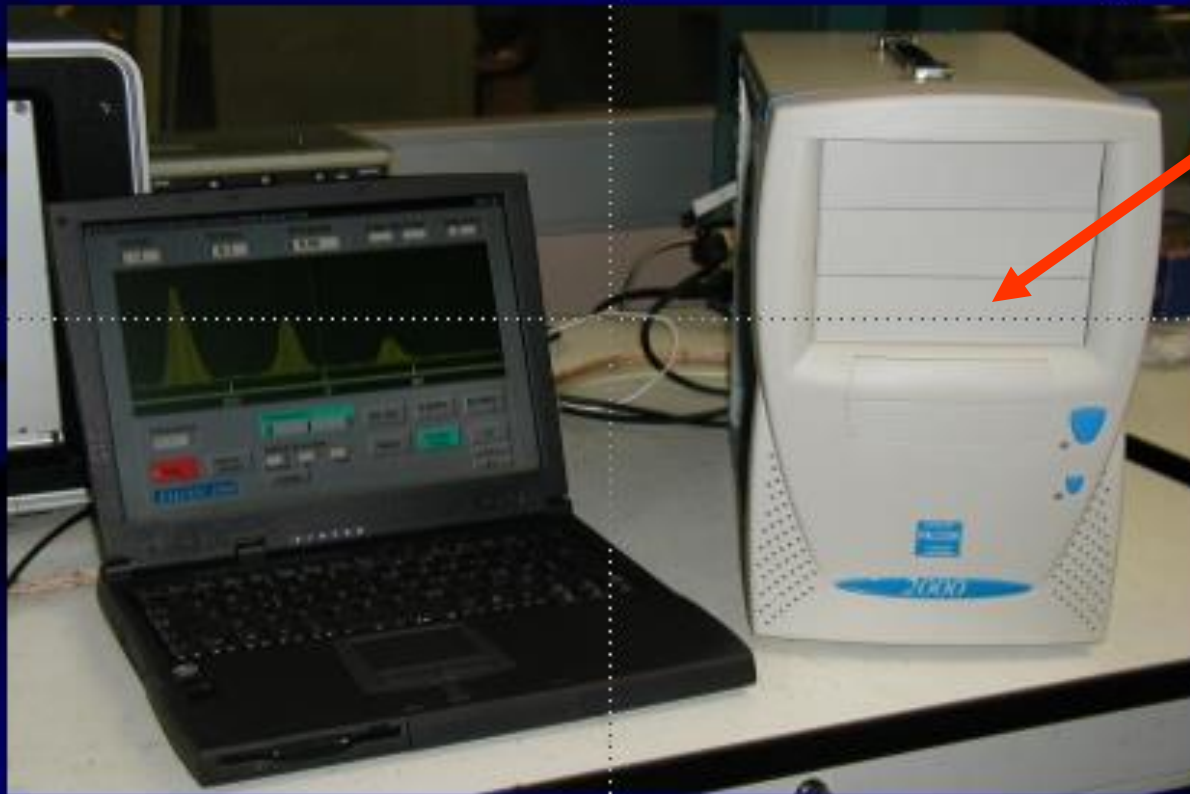


Ricerca semovente attivo nell'arco di 360°

Presentazione a cascata con rumore



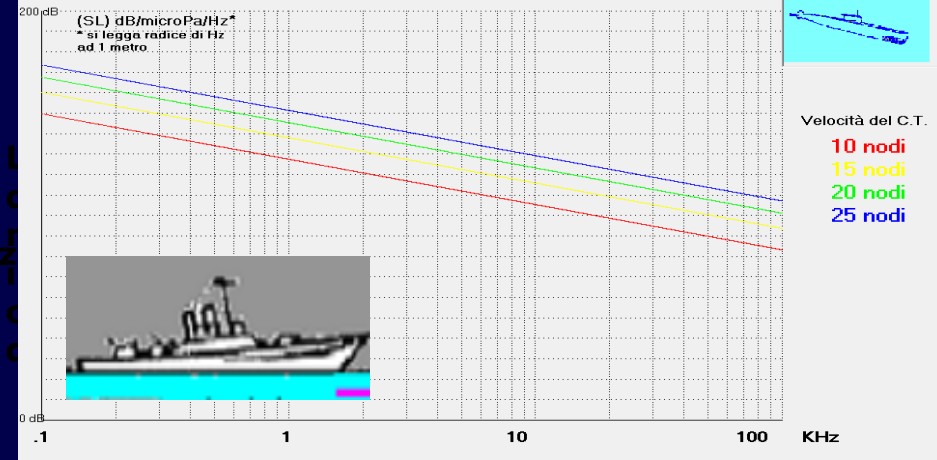
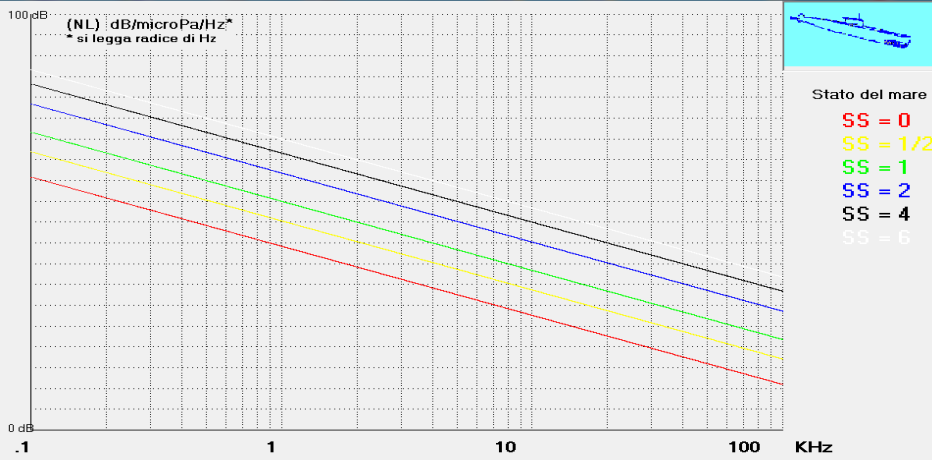
“Sonar d'emergenza FALCON” il segnale di una nave e il disturbo del mare



**Presentazione
dinamica a
chiusura
conferenza**

Analisi dei livelli dei segnali e dei rumori in mare per la valutazione delle portate di scoperta del sonar

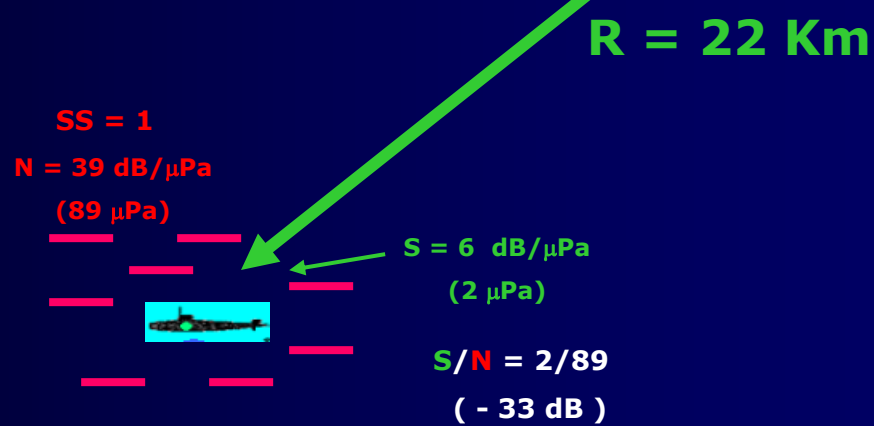




81
 Dati per la frequenza di 10000 Hz in dB/ μ Pa/Hz
 ($1\mu\text{Pa} = 10^{-8} \text{ gr} / \text{cmq}$)

SS = 2
V = 15 nodi
 (28 Km/h)
S = 116 dB/ μ Pa
 (630 μ Pa)

Esame dei livelli del rumore dell'ambiente marino (ss = 1) comparati con il livello dei segnali emessi da un CT che naviga a 15 nodi alla distanza: R = 22 Km

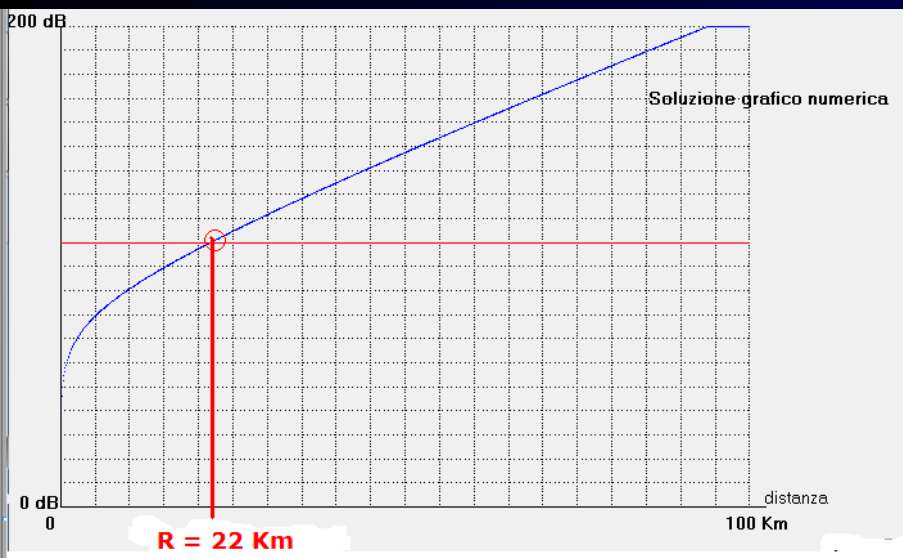


2

$$TL = 60 + 20 \text{ Log} (R) + a \quad R \quad (\text{prop. Sferica})$$

$$a = (0.1 \text{ fo}^2) / (1 + \text{fo}^2) + (40 \text{ fo}^2) / (4100 + \text{fo}^2) + (2.75 \text{ fo}^2) / 10000 \quad (\text{Thorps})$$

Calcoli di previsione della portata di scoperta del sonar in condizioni di propagazione normale



Nelle condizioni indicate nella pagina precedente, alla distanza $R = 22$ Km, il sonar del sommergibile, a seguito opportune regolazioni, potrà scoprire il cacciatorpediniere, ad esempio, con le sotto indicate coppie di probabilità :

- 1) Accettando una probabilità di **falso allarme del 10 %** potrà contare su di una probabilità **di scoperta del 97 %**.
- 2) Accettando una probabilità **di falso allarme del 5 %** potrà contare su di una probabilità **di scoperta del 93 %**.
- 3) Accettando una probabilità di **falso allarme del 1 %** potrà contare su di una probabilità **di scoperta dell' 80 %**

Nelle operazioni di ricerca ostacoli con il sonar, il più delle volte, le tracce dei segnali [1] sullo schermo video si confondono con le tracce dei disturbi dovuti al rumore del mare.

In tali condizioni la scoperta ostacoli gli non è una cosa certa ma dipende da **variabili di carattere probabilistico**; in una percentuale x del tempo d'osservazione le tracce ostacoli saranno visibili, in altra percentuale y del tempo saranno valutate erroneamente come segnali la tracce provocata dal rumore.

La **probabilità di scoperta con il sonar** è legata a coppie di variabili probabilistiche P_{riv} . [N 1] e P_{fa} . [N 2] [2], e al tempo d'osservazione che l'operatore pone nella conduzione del processo di rivelazione.

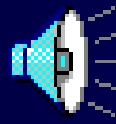
Le variabili entrano in gioco nei ricevitori sonar dotati di processori in correlazione [3] nelle fasi di contatto con



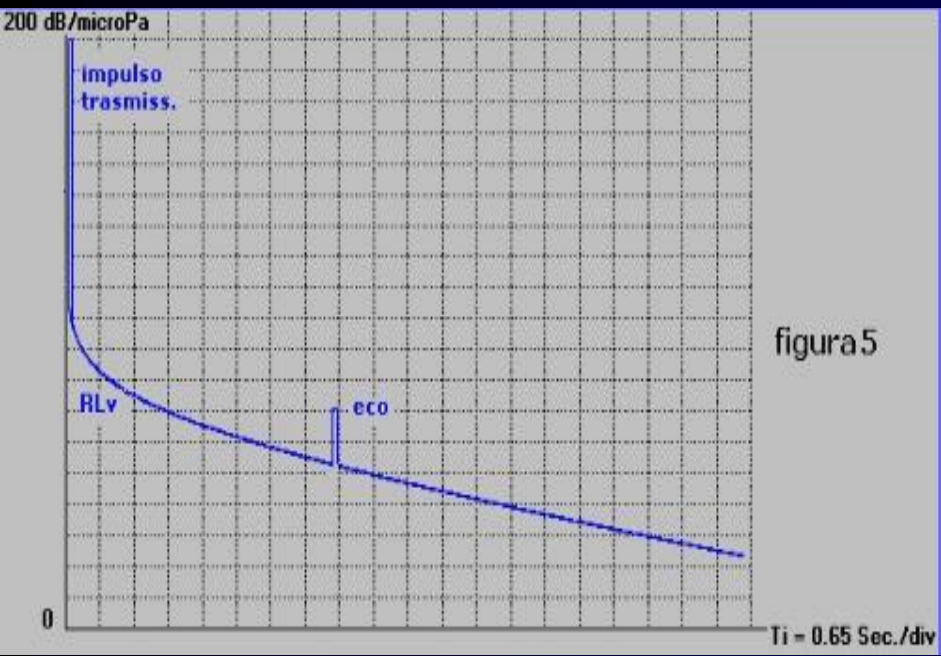
**Il fenomeno della
riverberazione a
seguito di emissione
impulsi acustici
penalizza la
scoperta sonar**



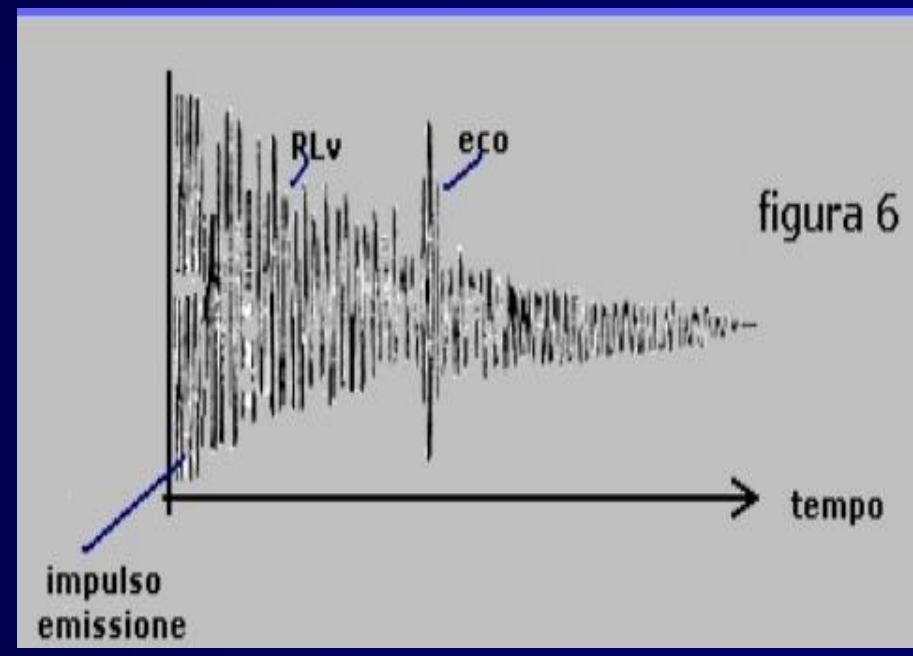
"Sonar" dopo l'impulso la riverberazione



State ascoltando il fenomeno dopo emissione impulso



Livello teorico del segnale di riverberazione



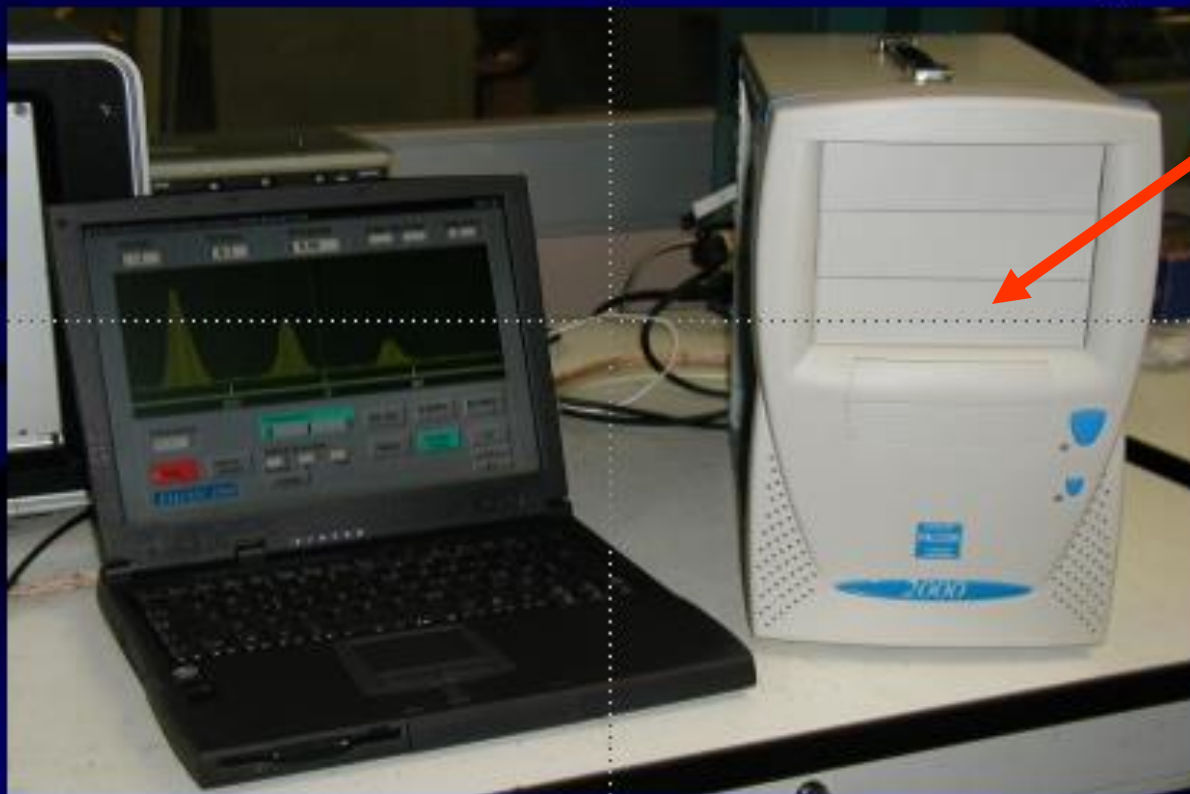
Segnale di riverberazione visualizzato dal vero

A chiusura di questa conferenza le immagini dinamiche del sonar d'emergenza FALCON.

Questo sonar è stato studiato e realizzato nel 2000 presso l'Arsenale Militare di La Spezia

Si tratta del software originale della M.M.I. corredato da routine di simulazione dell'ostacolo in direzione e distanza e del rumore del mare.

“Sonar d'emergenza FALCON” il segnale di una nave e il disturbo del mare



**Presentazione
video con
rumore**



“Fine della conferenza”

Grazie dell'attenzione

Disegni, fotografie e suoni:

Marina Militare Italiana

HNSA-Historic

Betasom.it

ATLAS

Testo Sonar –princ-tec-appl.

Museo Toti

Doc. USEA/ELSAG

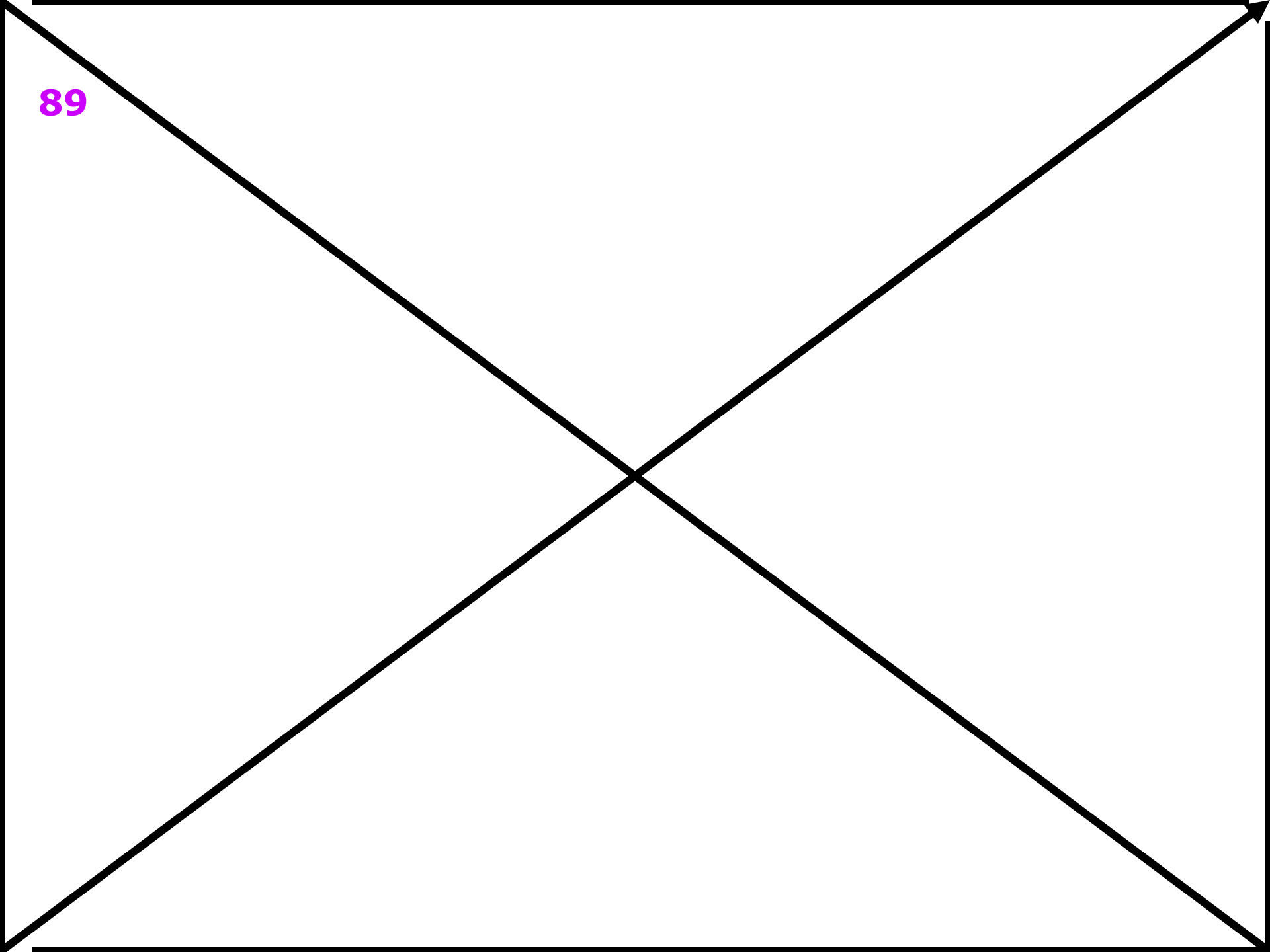
Testo Urick

Sonar-info.info

**State ascoltando l'inno della
Marina Militare Italiana**



89



**Prova
Tempi
Di pres**