

Principi, sistemi e metodologie per la localizzazione subacquea passiva

4.1) La misura della direzione come ritardo temporale.

In precedenza abbiamo esaminato il problema della misura della direzione avvalendoci, in parte, dei principi secondo i quali vengono composte le caratteristiche di direttività e in parte seguendo criteri applicativi. In questo paragrafo e nei successivi esamineremo i principi fondamentali che sono comuni a tutte le misure acustiche dei sonar.

I rilievi della direzione e della distanza di un bersaglio attivo si eseguono con le misure dirette o indirette ("compensazione") dei ritardi che il fronte d'onda acustico presenta rispetto alla base idrofonica. Introduciamo questi nuovi concetti facendo riferimento alla Fig. 4.1 in cui sono mostrate due stecche idrofoniche, S1 - S2, colpite da un fronte d'onda piano, inclinato rispetto all'asse della congiungente le due stecche (asse della base).

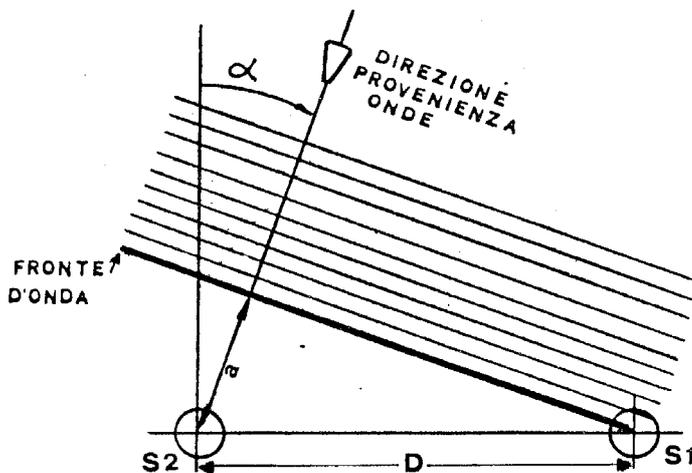


fig. 4.1 Geometria per il rilievo dei ritardi del fronte d'onda su due idrofoni.

Nella figura sono evidenziati l'angolo α , formato dalla direzione di provenienza del fronte d'onda con una normale alla base, la differenza di percorso (a) che l'onda deve superare per passare dalla stecca S1 alla stecca S2 e la distanza D tra le stecche. Il tempo t che l'onda impiega nel percorrere

lo spazio (a) dipende dalla velocità di propagazione del suono nell'acqua che è dell'ordine di 1500 m/sec, t è proporzionale allo spazio (a) e varia con esso al variare dell'angolo α .

Dall'esame della geometria di Fig. 4.1. si vede chiaramente come varia il tempo di ritardo dell'onda quando varia α ; quando α è zero non esiste la differenza di percorso (a) tra l'onda che colpisce S1 e quella che colpisce S2 e il tempo di ritardo t è nullo, quando α aumenta cresce la differenza di percorso (a) e di conseguenza cresce anche il tempo di ritardo t, al limite per α uguale a 90° la differenza di percorso (a) coincide con la distanza D tra S1 e S2 e il tempo t raggiunge il suo valore massimo.

E' facilmente calcolabile la dipendenza del tempo di ritardo t dalle variazioni dell'angolo α , una volta fissati la distanza tra le stecche D e la velocità di propagazione del suono nell'acqua,.

Posto ad esempio D uguale a 20 cm e assumendo la velocità del suono uguale a 1500 m/sec, dal calcolo si ottiene il grafico di Fig. 4.2. che mostra come varia il tempo di ritardo t al variare dell'angolo α .

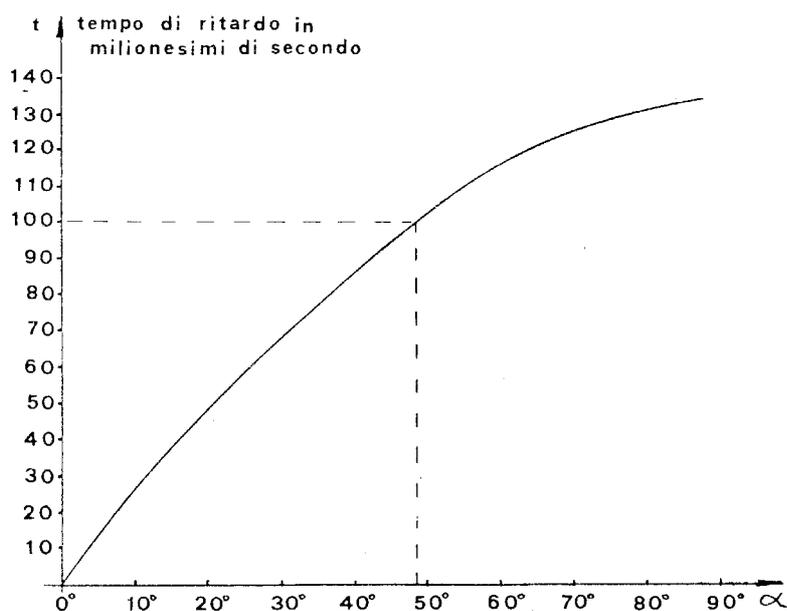


fig. 4.2. Tempi di ritardo tipici.

Dall'osservazione del grafico emergono due fatti importanti; il primo ci dice che se siamo in grado di misurare il tempo di ritardo t possiamo stabilire quale è il valore corrispondente dell'angolo α che indica la direzione del bersaglio (ad un tempo di ritardo di 100 milionesimi di secondo, ad e-

sempio, corrisponde la direzione del bersaglio di circa 48°), l'altro evidenzia che i tempi da misurare sono molto piccoli, dell'ordine di decine di milionesimi di secondo.

Il problema della misura della direzione del bersaglio si trasforma pertanto nella misura del piccolo tempo di ritardo che intercorre tra l'impatto dell'onda acustica su S1 e l'arrivo della stessa su S2.

Il modello acustico di Fig. 4.1 è estensibile alle basi idrofoniche più complesse per le quali valgono gli stessi ragionamenti; naturalmente, se si impiegano più stecche per ottenere le direttività volute, la misura del tempo di ritardo deve essere fatta più volte come mostra la Fig. 4.3.

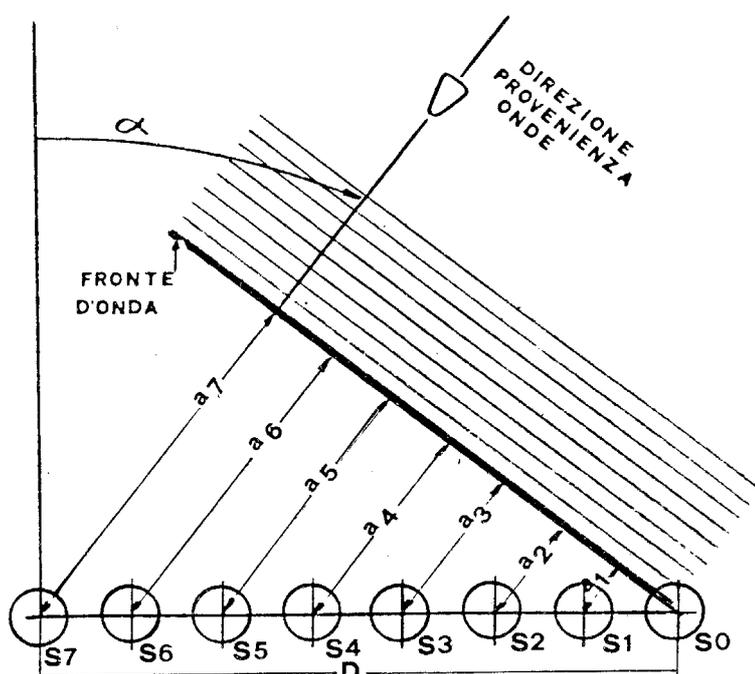


fig. 4.3 Geometria per il rilievo dei ritardi del fronte d'onda su di una base a più idrofoni.

Dal disegno si vede che in questo caso, relativo ad una base di otto stecche idrofoniche S0-S7, le differenze di percorso che l'onda acustica deve colmare per passare dalla stecca S0 alle successive, sono rispettivamente (a_1) per S1, (a_2) per S2.. (a_7) per S7 e a ciascuna di esse corrisponde un tempo di ritardo t_1, t_2, \dots, t_7 .

I tempi di ritardo dipendono dall'angolo α con la stessa legge con la quale è stato calcolato il diagramma di Fig. 4.2.

In questo caso la misura della direzione del bersaglio si trasforma nella misura di sette tempi di ritardo ciascuno dei quali concorre alla determina-

zione dell'angolo α nel modo che vedremo in seguito.

Abbiamo ora esposto il principio della misura della direzione passando da una prima grandezza, lo spazio (a) percorso dal fronte d'onda, ad una seconda grandezza, il tempo di ritardo t associato ad (a).

Vediamo come quest'ultima grandezza influenzi le tensioni idrofoniche generate dalle stecche del modello acustico di Fig. 4.1. Queste tensioni hanno ampiezza e polarità casuale dipendenti dal tipo della sorgente acustica.

Supponiamo di visualizzare sullo schermo di un oscilloscopio, per un brevissimo intervallo di tempo, le tensioni delle stecche S1 e S2 (vedi Fig. 4.4).

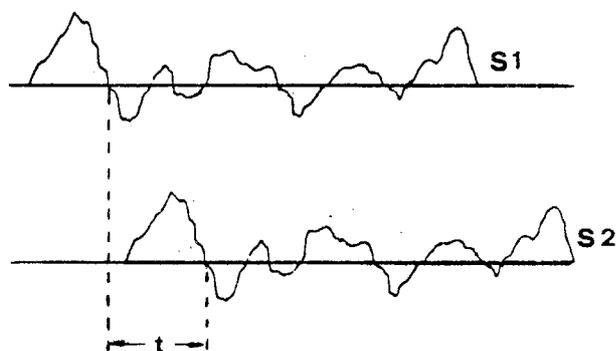


fig. 4.4 Tensioni idrofoniche ritardate nel tempo.

I due tracciati mostrano profili uguali, ma spostati nel tempo; infatti la tensione generata dalla stecca S1 è dovuta alla stessa pressione acustica che, dopo aver percorso lo spazio (a) nel tempo t , colpisce anche S2.

Ecco quindi che l'informazione relativa alla direzione del bersaglio si trova sotto forma di spostamento temporale, nelle due tensioni provenienti dalle stecche idrofoniche; naturalmente quanto detto è valido anche per le tensioni delle stecche di qualsiasi base idrofonica.

Nel trattamento dei segnali sonar, per la determinazione della direzione del bersaglio, la misura del tempo di ritardo del fronte d'onda viene sempre effettuata con metodi diretti o indiretti, sulle tensioni elettriche provenienti dalle stecche idrofoniche della base.

I meccanismi a cui si è fatto cenno a proposito dei sistemi a fasci orientati,

che consentono di ottenere all'uscita dei sommatore elettronici le tensioni variabili in funzione dell'angolo di puntamento del fascio, sono basati sulla misura dei tempi di ritardo di cui sono affette le tensioni delle stecche idrofoniche.

D'ora in poi, ogniqualvolta si parlerà genericamente di "tensione della stecca", si dovrà intendere che questa perviene al sistema che si sta descrivendo da una scheda di amplificazione simile a quelle descritte nel paragrafo 1.7.1.2.

4.2) I metodi per la misura del tempo di ritardo delle tensioni idrofoniche.

Nel paragrafo precedente abbiamo visto che la misura della direzione del bersaglio si traduce nella misura del tempo di ritardo tra le tensioni idrofoniche, in seguito dimostreremo che anche la determinazione della distanza di un bersaglio attivo si traduce nello stesso tipo di misura; possiamo pertanto affermare che la localizzazione subacquea di un bersaglio si concretizza con una serie di rilievi diretti o indiretti dei tempi di ritardo esistenti tra le tensioni idrofoniche della base.

A questo punto non resta che iniziare l'esame dei metodi che consentono la valutazione di questi tempi.

Facciamo riferimento alla Fig. 4.5 che ripete il modello acustico già osservato in precedenza, con l'aggiunta di un sistema di ritardi R e di un sommatore elettronico.

Il sistema di ritardo è un dispositivo capace di introdurre, nelle tensioni che lo attraversano, un ritardo temporale variabile a comando.

Per determinare la direzione del bersaglio si deve introdurre con R un ritardo artificiale identico a quello che subisce l'onda acustica nel passare da $S1$ a $S2$. In tal modo le due tensioni all'ingresso del sommatore presentano ampiezze e polarità istantanee sempre uguali e la sua tensione d'uscita sarà massima.

Pertanto la tensione della stecca $S1$ viene applicata al sistema R che la ritarda, prima di inviarla al sommatore, mentre la tensione della stecca $S2$, già ritardata a causa del maggior percorso dell'onda del tempo t rispetto a $S1$, viene applicata direttamente al sommatore.

Il ritardo t della tensione di $S2$ è funzione della direzione del bersaglio. La misura del tempo di ritardo t , tra la tensione generata da $S2$ e quella generata da $S1$, si effettua osservando il comportamento dell'ampiezza della tensione di uscita del sommatore.

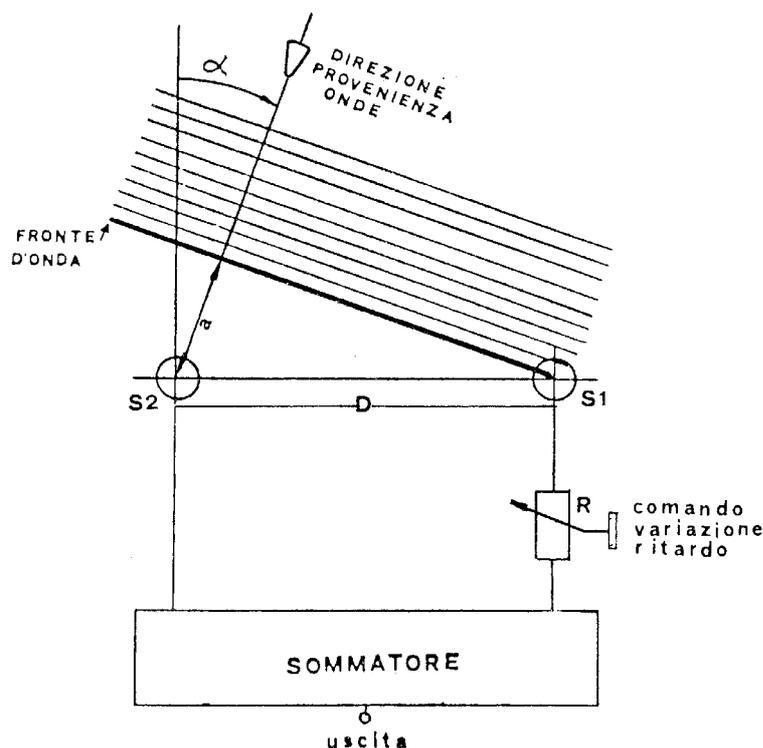


fig. 4.5 Sistema per la misura del ritardo del fronte d'onda su due idrofoni.

Se il ritardo introdotto artificialmente dal sistema R è diverso da t , l'operazione di somma avviene tra due tensioni che non hanno sempre uguali nè le ampiezze nè le polarità istantanee e perciò la tensione in uscita dal sommatore non raggiunge il massimo valore. Se il ritardo introdotto dal sistema R è uguale a t , la tensione di S1 subisce in R lo stesso ritardo che la pressione acustica, che colpisce S2, subisce in acqua a causa dell'inclinazione del fronte d'onda e le due tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee, di conseguenza la tensione di uscita del sommatore raggiunge il massimo valore.

In questo modo si ottiene l'uguaglianza del ritardo introdotto da R con il ritardo t . Dato che è possibile conoscere il ritardo introdotto da R si determina, secondo la legge che ha condotto al diagramma di Fig. 4.2, la direzione del bersaglio.

Il valore di R è la misura del ritardo, l'azione fisica di R è la "compensazione" del ritardo.

Questi concetti si applicano anche nel caso di basi idrofoniche formate da più elementi, vedi Fig. 4.6.

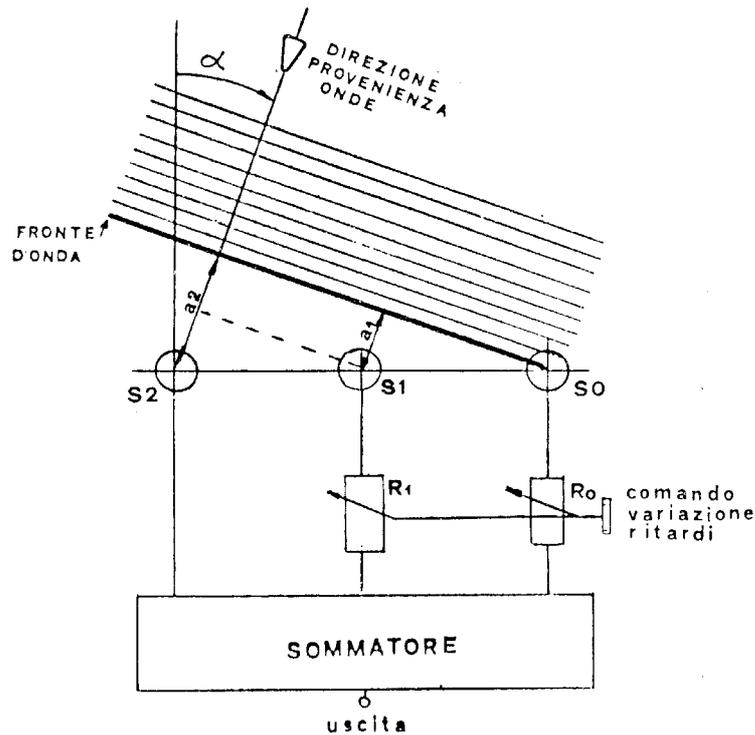


fig. 4.6 Sistema per la misura del ritardo del fronte d'onda su più idrofoni.

La figura mostra una base composta da tre stecche equidistanti SO, S1, S2, due sistemi di ritardo RO, R1 e un sommatore elettronico.

Le differenze di percorso che l'onda acustica deve colmare per passare dalla stecca SO alle altre stecche sono; a_1 , per S1 e a_2 per S2, ad esse corrispondono i tempi di ritardo t_1 e t_2 . Per determinare la direzione del bersaglio si devono introdurre con RO e R1 i ritardi artificiali adatti a rendere sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee le tensioni delle tre stecche in modo da provocare la massima tensione in uscita dal sommatore. I due sistemi introducono il ritardo voluto mediante l'azione di un solo comando, che agisce contemporaneamente su di essi; dal ritardo introdotto si stabilisce la direzione del bersaglio.

A questo punto è interessante osservare quali sono i valori di ritardo introdotti dai sistemi R per soddisfare la condizione di misura.

Se riferiamo tutti i ritardi delle tensioni da sommare alla tensione di S2 si ha che:

- la tensione di SO è ritardata da RO, con RO uguale a t_2 , in modo che la sua ampiezza e la sua polarità coincidano con la tensione di S2.
- la tensione di S1 è ritardata da R1, con R1 uguale alla differenza tra t_2 e t_1 ,

in modo che la sua ampiezza e la sua polarità coincidano con la tensione di S2.

Da quanto esposto si nota che la misura della direzione si può eseguire indifferentemente tanto con una base a più stecche, quanto con una base a due stecche, pertanto ci si può chiedere perché impiegare l'una invece che l'altra; la ragione principale è dovuta al fatto, dimostrabile a calcolo, che una base con poche stecche idrofoniche presenta, in dipendenza delle frequenze di lavoro, delle ambiguità nella misura della direzione, a causa dell'eccessiva ampiezza dei lobi secondari, "vede" cioè lo stesso bersaglio in più direzioni dell'orizzonte risultando in tal modo completamente inefficiente. Le altre ragioni si possono ricondurre a quelle esaminate a proposito della "bontà" della caratteristica di direttività di una base che ha molti elementi.

4.3) Sistemi per ritardare le tensioni idrofoniche.

La misura della direzione di un bersaglio richiede che le tensioni idrofoniche vengano ritardate in modo da compensare le differenze di percorso dell'onda acustica in mare.

I ritardi possono essere realizzati con diversi sistemi:

- A) analogici, sono formati da componenti elettrici elementari.
- B) digitali, sono formati da componenti elettronici integrati.
- C) numerici, sono impiegati nei sonar computerizzati nel contesto di tutto il processo di elaborazione dei segnali.

Nel prosieguo della descrizione illustreremo soltanto i sistemi analogici il cui funzionamento meglio si presta ad una esposizione semplificata.

Un ritardatore analogico è formato da un insieme di strutture elettriche dette "cellule di ritardo", esse possono essere realizzate secondo diversi schemi, uno di questi è riportato in Fig. 4.7.

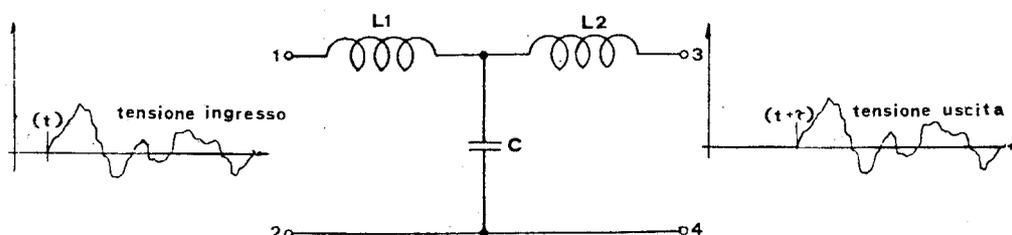


fig. 4.7 Cellula di ritardo

La cellula di questo schema è formata da due induttori L1, L2 e da un condensatore C. La tensione elettrica, che deve essere ritardata, viene applicata tra i terminali 1 e 2, da essi si propaga attraverso gli induttori che, con l'effetto combinato del condensatore, producono il ritardo desiderato, la tensione ritardata è presente tra i punti 3 e 4 che terminano la cellula. Il ritardo di una cellula dipende dai valori delle induttanze e della capacità, nel progetto di essa si deve tener conto del campo delle frequenze di lavoro e dell'esigenza di contenere le dimensioni dei componenti entro limiti ragionevoli, pertanto i valori massimi di ritardo che si possono ottenere sono contenuti entro 100 milionesimi di secondo.

Per realizzare i sistemi ritardatori si impiegano più cellule collegate in serie come è mostrato in Fig. 4.8.

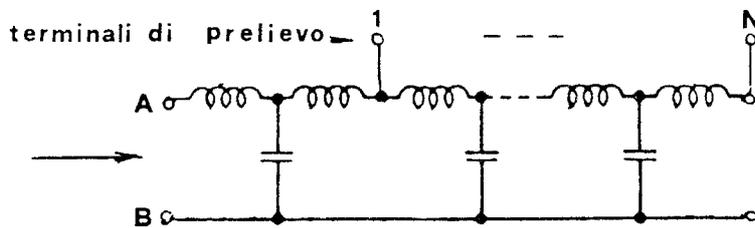


fig. 4.8 Cellule di ritardo a prese multiple

Questa disposizione, detta "catena di ritardo", può contenere centinaia di cellule.

Nel punto di unione tra una cellula e la successiva viene posto un terminale, dal quale si preleva la tensione che percorre la catena. Se le cellule sono tutte uguali e ciascuna ha un valore di ritardo τ , la tensione che viene prelevata nel terminale 1 è ritardata di un tempo τ , quella prelevata dal terminale 2 è ritardata di un tempo 2τ e così via, fino all'ultimo terminale, in cui la tensione è ritardata di $N\tau$, dove N è il numero di cellule che formano la catena.

Le catene di ritardo, dotate di terminali per il prelievo della tensione, consentono di realizzare i blocchi di ritardo menzionati nel paragrafo precedente e sono alla base di tutti i meccanismi per la misura della direzione e della distanza del sonar.

I sistemi a ritardo variabile sono formati come indicato nella Fig. 4.9. La tensione da ritardare è applicata all'ingresso della catena tra i punti A e B; percorrendo la catena la tensione è presente, con ritardo crescente, sui terminali 1, 2, 3, ..., N, i terminali sono collegati ad altrettanti contatti sui quali viene fatto scorrere un cursore che preleva la tensione nei vari punti della catena.

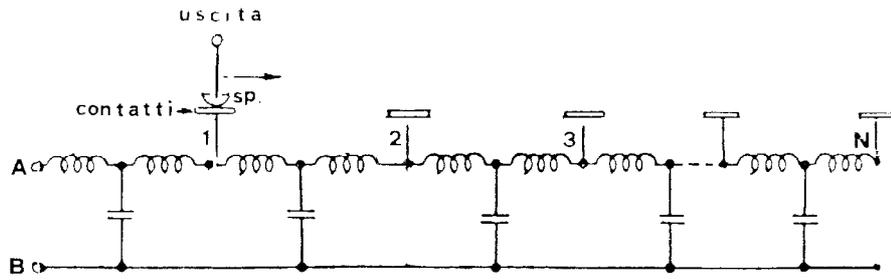


fig. 4.9 Meccanismo di prelievo delle tensioni idrofoniche sulla catena di ritardo.

Il valore del ritardo introdotto dipende, evidentemente, dalla posizioni assunta dal cursore lungo la sequenza dei contatti.

Questo metodo consente variazioni del ritardo della tensione a passi uguali a quelli delle singole cellule, ciò impone, nel progetto del ritardatore, che ciascun passo di ritardo sia commisurato alla più piccola differenza di tempo che si vuole apprezzare.

Per chiarire il concetto facciamo un esempio quantitativo nel caso della misura della direzione di un bersaglio: riferiamoci al modello acustico di Fig. 4.5 e al grafico di Fig. 4.10 che riporta, in scala più espansa, parte del grafico già illustrato in Fig. 4.2.

Supponiamo che la direzione del bersaglio sia 40° , dal grafico di Fig. 4.10 si vede che il tempo di ritardo, che deve essere inserito dal ritardatore R per rendere massima la tensione all'uscita del sommatore, è di 85,5 milionesimi di secondo. Dato che il ritardatore R introduce ritardi a passi, una volta che esso è regolato per la massima tensione all'uscita del sommatore, il ritardo introdotto potrà essere inferiore o superiore al valore indicato dal grafico. In conseguenza di questo la misura della direzione del bersaglio viene affetta da un errore.

Osservando la Fig. 4.10 vediamo che se non si vuole commettere un errore superiore ad 1° , in più o in meno, rispetto alla direzione di 40° presa ad esempio, non dobbiamo sbagliare nella determinazione del ritardo più di 2 milionesimi di secondo, in più o in meno, rispetto al valore di 85,5 milionesimi di secondo corrispondenti alla direzione del bersaglio. Il ritardatore perciò deve consentire un'accuratezza di regolazione dell'ordine di 2 milionesimi di secondo, cioè deve essere costruito con cellule aventi ritardi dello stesso ordine.

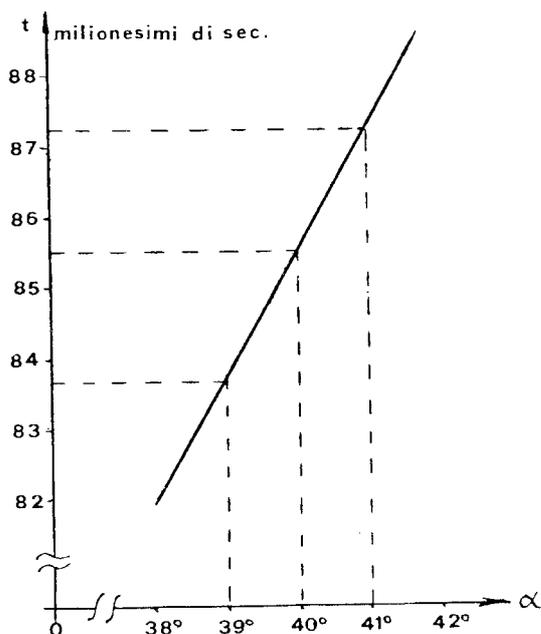


fig. 4.10 *Corrispondenza tra ritardo temporale e direzione angolare*

Dall'esempio fatto emerge un'osservazione che interessa il numero delle cellule che sono necessarie per la costruzione di un ritardatore; dovendo utilizzare un numero tanto più elevato di cellule, quanto più il loro ritardo è piccolo, si capisce che l'aumento della precisione nella determinazione della direzione, che richiede l'impiego di cellule con ritardi sempre più piccoli, porta ad un aumento del numero di queste.

Le catene di ritardo sono usate in gran numero nei circuiti di elaborazione dei segnali del sonar, con esse si realizzano i dispositivi per l'orientamento manuale dei fasci di direttività e quelli per la formazione dei fasci multipli a cui abbiamo già accennato in precedenza; esse vengono utilizzate per le emissioni orientate per il funzionamento della componente attiva del sonar e per la misura della quota e della distanza del bersaglio con i metodi passivi.

L'impiego delle catene di ritardo consente tanto la misura diretta dei ritardi acustici quanto la misura indiretta detta "compensazione".

Il vantaggio delle catene di ritardo, rispetto ai corrispondenti sistemi digitali o numerici, è che esse, non richiedendo tensioni di alimentazione per il funzionamento, non producono calore e perciò la loro affidabilità è elevata, l'unico inconveniente è dovuto all'ingombro, che, in taluni casi, può creare delle difficoltà.

4.4) Sistemi per l'orientamento di un fascio direttivo.

4.4.1) Generalità

Ai sistemi per l'orientamento di un fascio direttivo abbiamo accennato nel paragrafo 3.7, a proposito della rotazione della caratteristica di una base rettilinea; essa è stata presa come esempio perché il suo comportamento acustico è più intuitivo rispetto a basi aventi diversa configurazione.

I sistemi per l'orientamento dei fasci, anche se sono applicabili a qualsiasi tipo di base, si adattano meglio a quelle circolari data la loro simmetria geometrica. Un esempio della combinazione tra la base circolare e un sistema di orientamento del fascio è mostrato in Fig. 4.11.

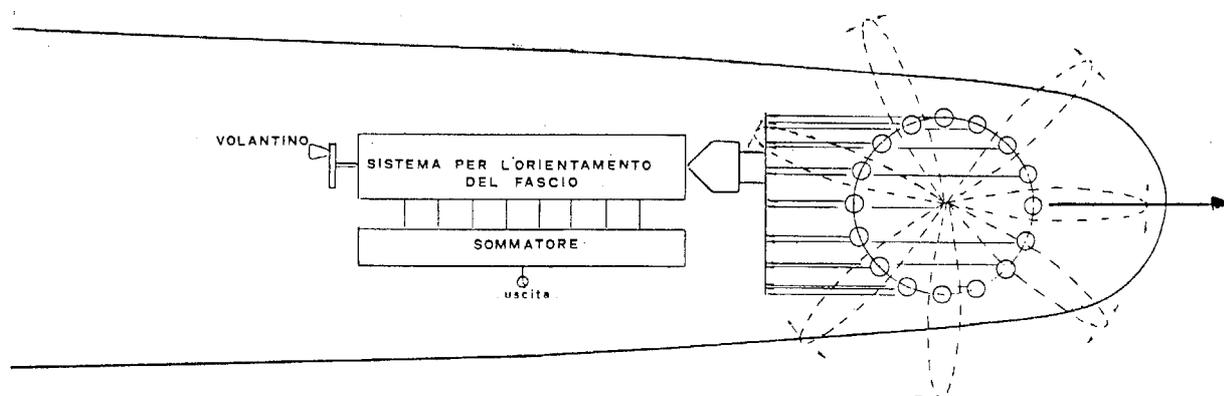


fig. 4.11 Sistema di orientamento manuale del fascio con base circolare.

In essa si nota anzitutto che il lobo può essere orientato secondo tutti i possibili raggi della base. Ciò è molto utile ai fini della localizzazione, perché consente di scoprire il bersaglio in qualsiasi settore dell'orizzonte. Si osserva inoltre che tutte le stecche della base sono collegate al blocco per l'orientamento del fascio e che questo viene ruotato tramite un volante di comando, le tensioni in uscita dal blocco sono infine applicate al sommatore elettronico per ottenere la caratteristica di direttività.

Se il fascio viene orientato verso un bersaglio, la tensione in uscita dal sommatore si comporta nello stesso modo già visto nel caso delle basi rettilinee, cresce a mano a mano che l'asse del fascio si avvicina alla direzione del bersaglio, per raggiungere il suo massimo in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio. Nella parte che segue chiameremo il sistema di orientamento del fascio "compensatore", che è il termine tecnico attribuitogli proprio perché con esso si compensano i ritardi acustici del fronte d'onda con equivalenti ritardi elettrici.

4.4.2) Comportamento acustico della base circolare.

Prima di iniziare la descrizione del compensatore è necessario esaminare il comportamento acustico della base circolare facendo riferimento alla Fig. 4.12 che ne mostra, ad esempio, una a venti stecche; non ci interesseremo della caratteristica di direttività naturale, perché la cosa non è significativa, esamineremo invece la formazione della direttività artificiale che è connessa agli impieghi operativi.

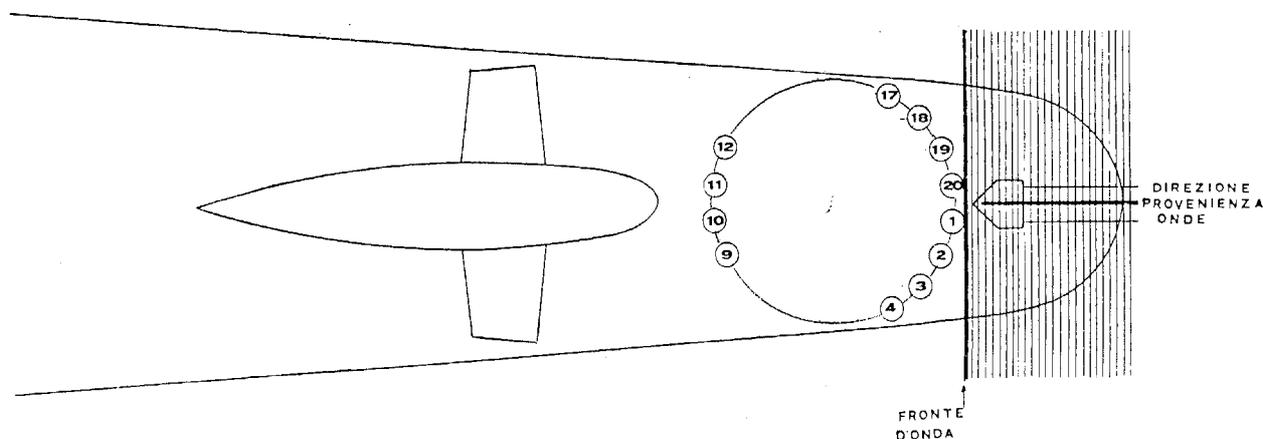


fig. 4.12 Geometria per la base circolare ricevente.

Nella figura si vede che la base è investita da un fronte d'onda piano, normale all'asse del battello: l'onda acustica colpisce prima le stecche 1 e 20, dopo, con ritardi crescenti, le stecche 2 e 19, 3 e 18, 4 e 17 e poi tutte le altre. Queste ultime non vengono qui prese in esame, per semplicità di esposizione, ma il loro comportamento è analogo a quelle che si considerano. Le differenze di percorso che l'onda acustica deve colmare, per passare dalle stecche 1 e 20 alle coppie di stecche 2 e 19, 3 e 18, 4 e 17, sono rispettivamente a_1 , a_2 , a_3 , alle quali corrispondono i tempi di ritardo t_1 , t_2 , t_3 . Se vogliamo, ad esempio, che la direzione preferenziale della base sia quella coincidente con l'asse del battello, prima di sommare le tensioni delle stecche idrofoniche, dobbiamo applicarle a gruppi di catene di ritardo per la compensazione artificiale dei ritardi dovuti al percorso in acqua. Proponiamoci di sommare le tensioni delle stecche, ritardandole rispetto a quelle della coppia 4 e 17 (colpita per ultima), che non devono essere ri-

tardate:

le tensioni delle stecche 1 e 20, essendo colpite per prime, devono essere ritardate di un tempo τ_a uguale a t_3 .

Le tensioni delle stecche 2 e 15 devono essere ritardate di un tempo τ_b uguale alla differenza tra t_3 e t_1 .

Le tensioni delle stecche 3 e 18 devono essere ritardate di un tempo τ_c uguale alla differenza tra t_3 e t_2 .

La situazione dei ritardi è schematizzata in Fig. 4.13 nei blocchi del sistema per la formazione del fascio.

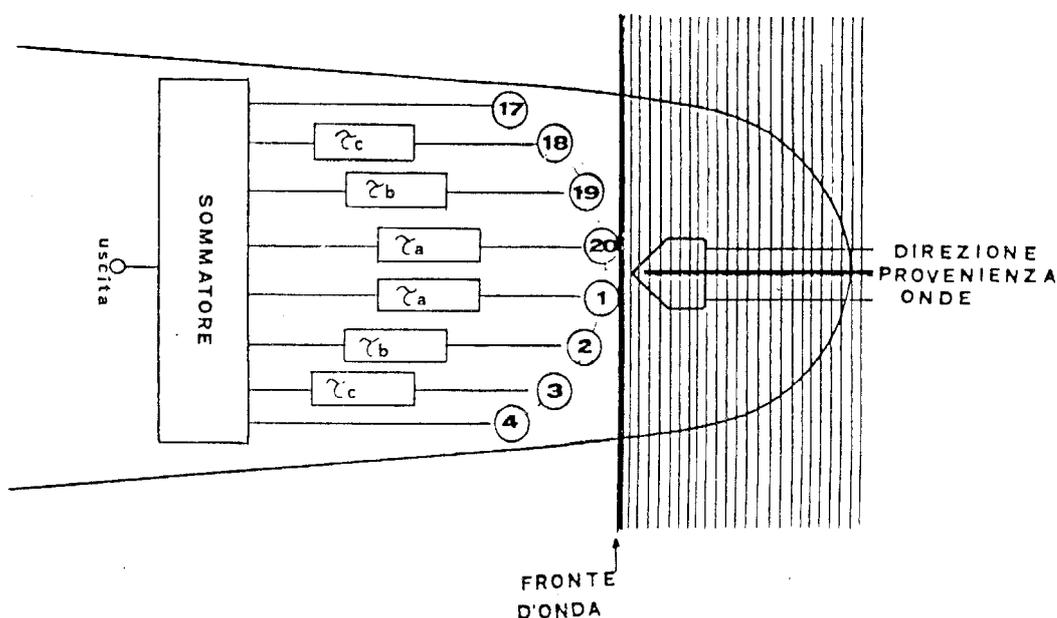


fig. 4.13 Geometria per la formazione del fascio di direttività

Dalla figura si comprende che, quando il fronte d'onda è normale all'asse del battello, si ha la massima tensione all'uscita del sommatore, se il bersaglio si sposta angularmente da una parte o dall'altra, la tensione decresce, dando luogo alla caratteristica di direttività artificiale della base.

4.4.3) Il sistema a compensatore per l'orientamento del fascio.

Il sistema a compensatore è sostanzialmente formato da un insieme di catene di ritardo uguale a quello mostrato nella figura 4.13, in grado di ruotare meccanicamente all'interno di un disco, al quale sono applicate le tensioni delle stecche.

Vediamo qual è il suo funzionamento facendo riferimento alla Fig. 4.14.

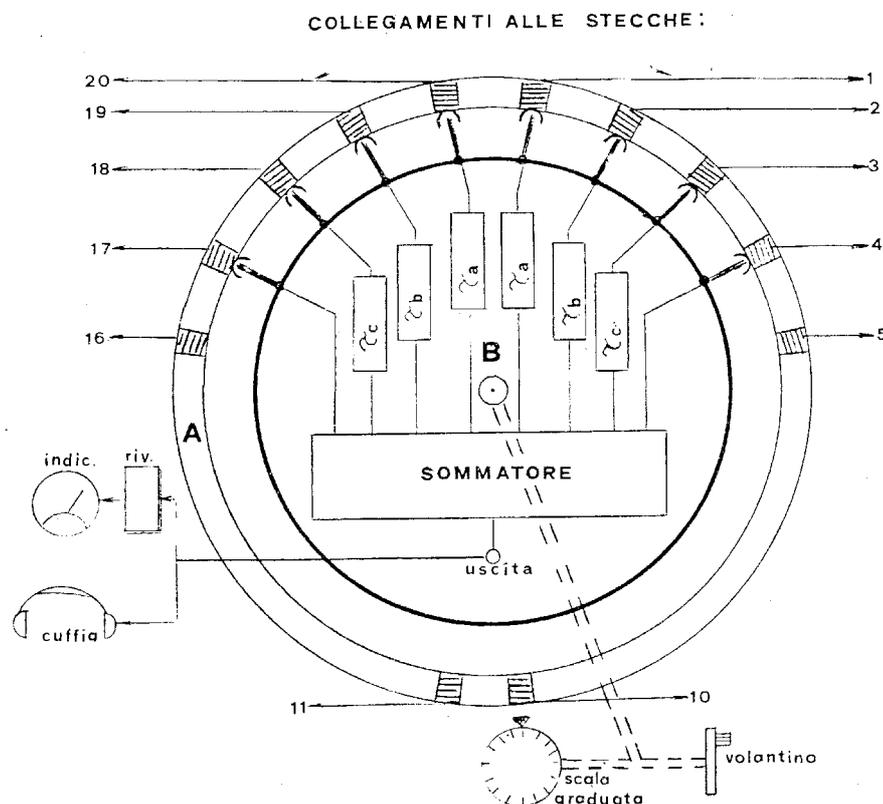


fig. 4.14 Sistema di orientamento del fascio direttivo - Compensatore

Il compensatore è formato da due parti circolari: il disco isolante A fisso e il disco B mobile, concentrico al disco A, che ruota a comando del volante V.

Il volante è dotato di apposita scala graduata per la lettura dell'angolo di posizionamento del compensatore.

Sulla periferia del disco A sono depositate venti zone di contatto ciascuna collegata elettricamente ad una stecca della base.

Sulla periferia del disco B (rotore) sono sistemate otto spazzole metalliche, isolate tra loro, che strisciano sui contatti del disco A, le otto spazzole sono collegate ad un gruppo di catene di ritardo e ad un sommatore, nello stesso modo già indicato in Fig. 4.13.

Quando il rotore è nella posizione indicata dal disegno, la situazione elettrica è identica a quella spiegata nel paragrafo precedente e la direzione preferenziale è tra le stecche 1 e 20.

Se con il volantino si muove il rotore del compensatore verso sinistra o verso destra, in modo che le otto spazzole si portino, dal posto di contatto in cui sono, al posto immediatamente vicino, la situazione di compensazione dei ritardi, che prima valeva per la direzione passante tra le stecche 1 e 20, vale ora per la direzione passante per le stecche 19 e 20, se il rotore ha girato a sinistra, o per la direzione che passa per le stecche 1 e 2, se il rotore ha girato a destra: ciò significa che il lobo della caratteristica di direttività, che prima era centrato in una direzione, ora si è spostato su di un'altra. Continuando con la rotazione del volantino si sposta la direzione preferenziale di ricezione su tutto l'arco dell'orizzonte subacqueo, cioè si orienta il fascio della direttività della base.

Il compensatore, così come è stato descritto, può spostarsi soltanto a passi discreti definiti dall'intervallo tra un contatto e l'altro, di conseguenza anche il fascio si orienta in posizioni discrete.

Per consentire lo spostamento nelle posizioni intermedie sono stati studiati dei particolari accorgimenti che permettono di ruotare il fascio quasi con continuità.

Se l'operatore deve localizzare un bersaglio con il compensatore, ruota il volantino di comando fino ad ottenere la massima tensione all'uscita del sommatore e fatto ciò legge, sull'apposita scala graduata, la direzione del bersaglio. La valutazione della massima tensione all'uscita del sommatore è fatta simultaneamente in due modi diversi: osservando l'elongazione dell'indice di un apposito strumento indicatore collegato ad un blocco rivelatore (la descrizione di questo dispositivo è rimandata al capitolo 7) e ascoltando, con una cuffia telefonica, il massimo del rumore irradiato dal bersaglio: in questo modo l'operatore può trarre anche utili informazioni di carattere tattico dal timbro del rumore percepito.

Nella costruzione di un compensatore si possono impiegare più stecche di quelle che abbiamo impiegato nell'esempio, si devono però adottare rotor a più spazzole e un maggior numero di catene di ritardo, il vantaggio è quello di ottenere fasci orientabili più stretti con conseguente riduzione dell'inquinamento da disturbo ambiente.

Naturalmente se aumenta il numero delle stecche aumentano anche le dimensioni della base idrofonica ricevente.

4.4.4) Il metodo della differenza per l'orientamento del compensatore.

Per l'orientamento del compensatore è possibile impiegare un metodo misto di somma e differenza oltre che quello di somma.

Il metodo consente una più accurata determinazione della direzione dei bersagli in virtù del comportamento della tensione differenza, esso non è sostitutivo di quello già conosciuto, ma ne rappresenta un notevole ausilio.

Vediamo come funziona questo nuovo sistema facendo riferimento alla figura 4.14. In essa il sommatore riceve otto tensioni idrofoniche, opportunamente ritardate per la formazione della caratteristica di direttività del fascio rotante, questa struttura, senza alterare minimamente il suo funzionamento, può essere trasformata in quella del tutto analoga mostrata in Fig. 4.15.

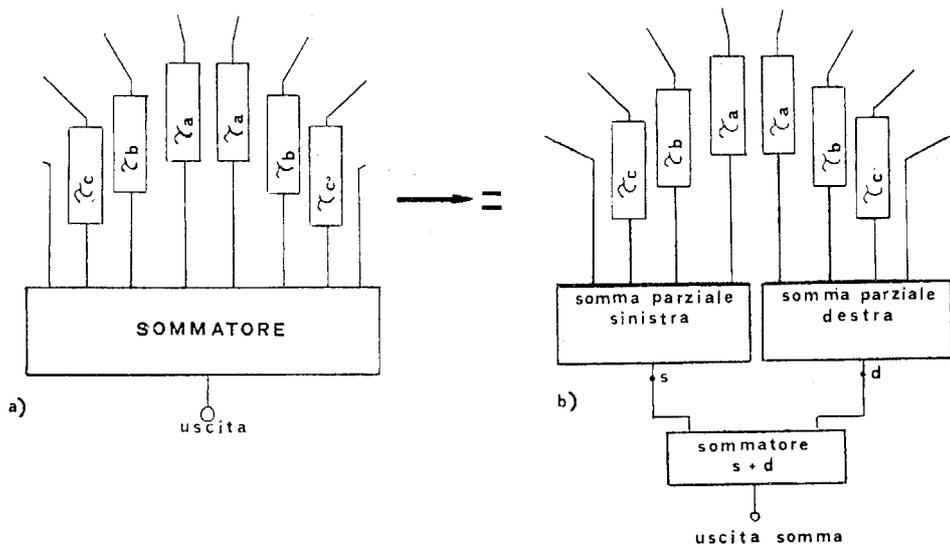


fig. 4.15 Formazione delle somme parziali

L'equivalente della somma delle otto tensioni, eseguita in Fig. 4.15/a, si ottiene con la somma parziale delle quattro tensioni del gruppo di sinistra, con la somma parziale delle quattro tensioni del gruppo di destra e infine con la somma dei due risultati parziali (Fig. 4.15/b). Ciò che abbiamo ottenuto consente di eseguire ancora l'orientamento del compensatore secondo il metodo della somma e apre la strada all'inserimento del blocco per l'orientamento in base alla differenza delle tensioni, questo blocco

viene collegato al gruppo dei tre sommatore di Fig. 4.15/b come è indicato in Fig. 4.16.

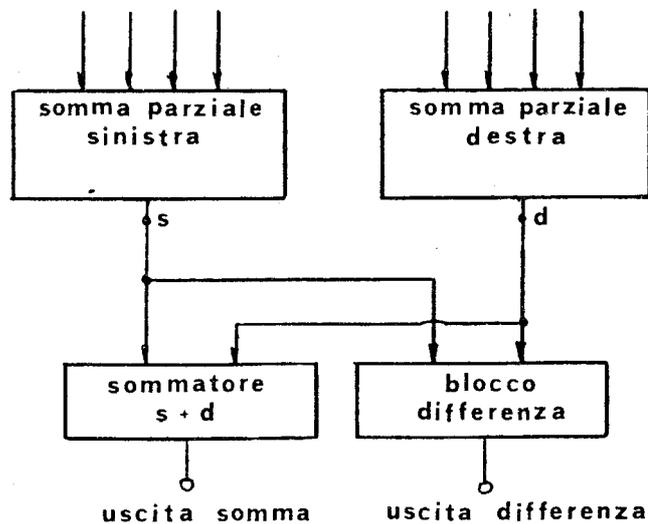


fig. 4.16 Sistema ricevente in somma e in differenza

Il blocco differenza esegue elettronicamente la sottrazione della tensione del sommatore parziale S alla tensione del sommatore parziale D.

Dato che in condizioni di orientamento sul bersaglio tutte le otto tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità istantanee, lo sono anche le tensioni dovute alle somme parziali dei gruppi di quattro tensioni; in queste condizioni perciò la tensione all'uscita del blocco differenza è nulla essendo dovuta alla sottrazione di due tensioni uguali in ampiezza e polarità. Se il compensatore viene ruotato a destra o a sinistra rispetto alla direzione del bersaglio le tensioni che si presentano ai sommatore parziali non sono più uguali in polarità e di conseguenza le loro uscite non sono più sempre uguali nè in ampiezza nè in polarità e la tensione in uscita dal blocco differenza non è più nulla.

La tensione all'uscita del blocco differenza varia in funzione della direzione di orientamento del compensatore secondo la curva riportata in Fig. 4.17. Dato che la variazione della differenza è simultanea alla variazione della somma, nella figura sono tracciati, per un confronto, entrambi gli andamenti delle tensioni dei due blocchi in funzione della direzione del bersaglio.

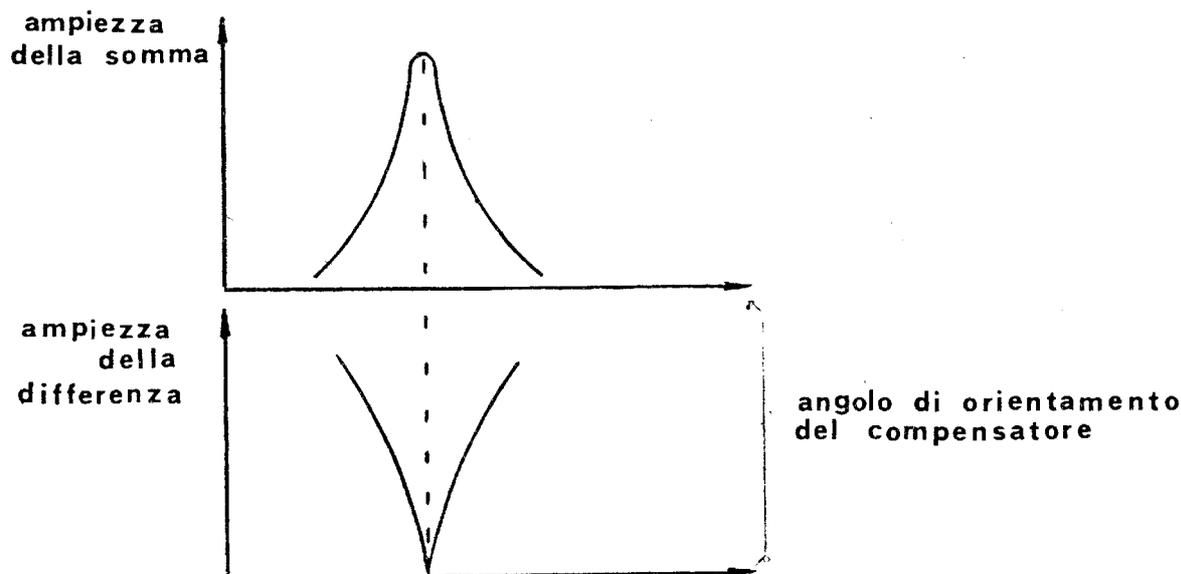


fig. 4.17 Rilevamento del bersaglio attivo in somma ed in differenza.

Dal confronto delle curve si nota che il massimo della somma corrisponde naturalmente con il minimo della differenza e che questa curva, nel punto di zero, è più “acuta” della corrispondente nel punto di massimo.

È su questa diversità che il sistema a differenza supera il sistema di somma, è infatti più facile eseguire l'orientamento del compensatore sullo zero della differenza, perché lo si apprezza meglio del massimo della somma. La scoperta del bersaglio deve comunque essere fatta con il metodo della somma, la differenza si impiega soltanto in fase di affinamento dell'orientamento del compensatore.

4.5) Sistemi di fasci preformati.

Una delle funzioni più importanti del sonar consiste nella scoperta dei bersagli; con il sistema a compensatore la scoperta viene fatta ruotando il fascio di direttività della base per esplorare con continuità l'intero orizzonte subacqueo. Questa operazione, che ben si presta a localizzare i bersagli con molta accuratezza, è relativamente lenta e non dà all'operatore la possibilità di conoscere, all'istante, in quante direzioni sono presenti i bersagli.

Il problema della scoperta simultanea dei bersagli è risolto dai sistemi di fasci preformati. Questi sistemi si comportano infatti come un insieme di

compensatori, orientati ciascuno su di una diversa direzione allo scopo di controllarle tutte contemporaneamente.

Il sistema a fasci preformati per esplicare la sua funzione orienta numerosi lobi di direttività, egualmente spaziatî tra loro, lungo tutto il giro dell'orizzonte. Ciascun lobo riceve le onde acustiche in un determinato settore ed è sufficientemente vicino ai lobi contigui in modo da non lasciare settori "sordi" tra un fascio e l'altro; questa distribuzione dei fasci è indicata in Fig. 4.18 nel caso di un ipotetica base a 18 stecche.

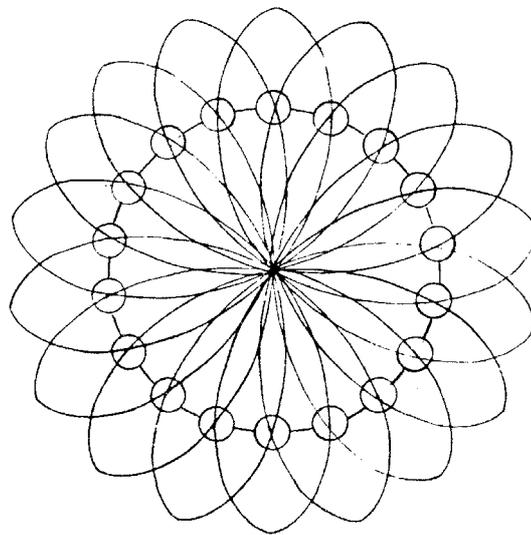


fig. 4.18 Geometria di un sistema di fasci preformati su base circolare.

I fasci sono formati da molteplici strutture circuitali identiche a quella già descritta nel paragrafo 4.4.2 e mostrata in figura 4.13. Per illustrare il meccanismo di orientamento dei fasci preformati facciamo riferimento alla Fig. 4.19 in cui è disegnata la base circolare a 18 stecche, sopra citata, collegata ad un sistema per la formazione di 18 fasci. (Prima di proseguire è opportuno notare che, se in questo esempio si considerano 18 fasci su di una base di 18 stecche, è soltanto per semplificare la descrizione, il numero dei fasci dipende invece dalle dimensioni e dalla frequenza di lavoro della base e non dal numero delle stecche).

I fasci sono distanziati tra loro di 20° e le loro direzioni sono centrate sui seguenti angoli: $0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, \dots, 340^\circ$.

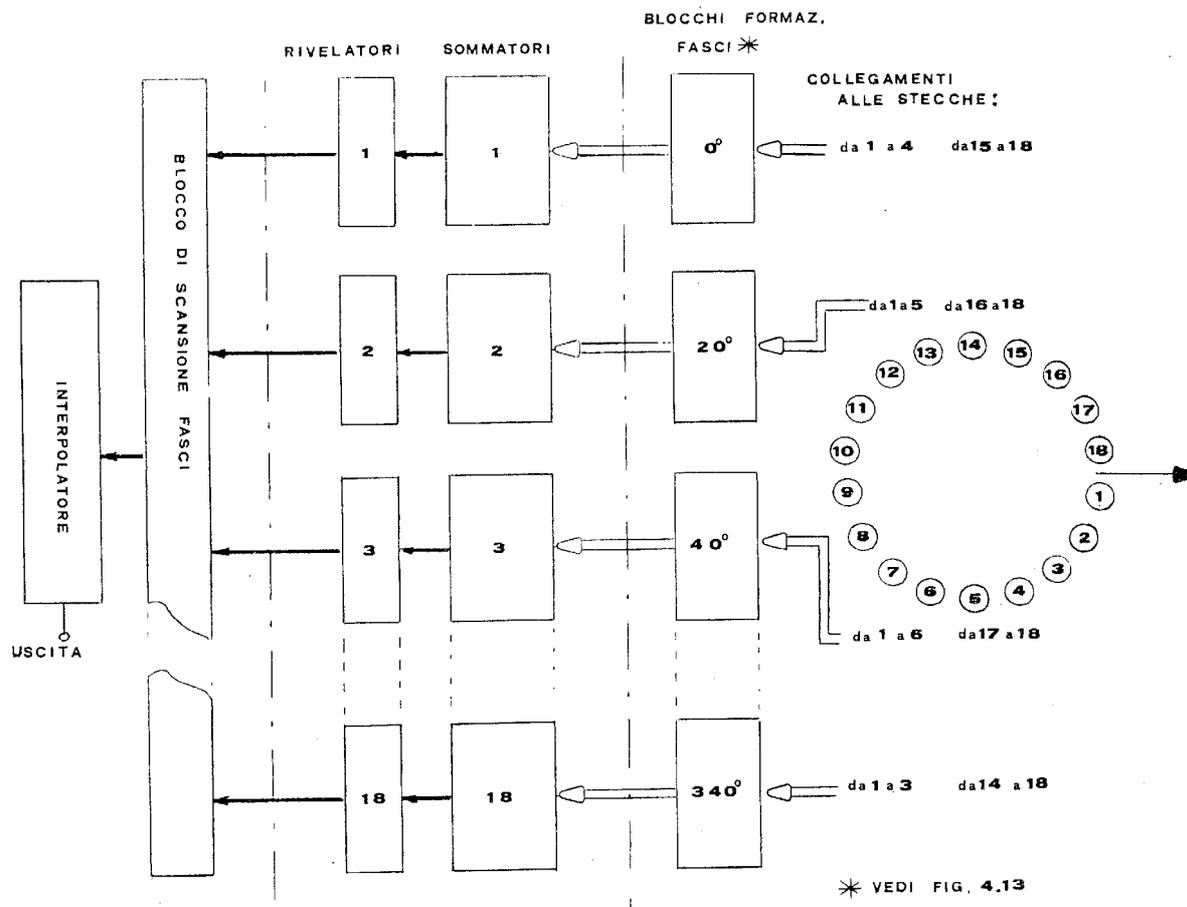


fig. 4.19 Schema a blocchi di un sistema ricevente a fasci preformati su base circolare.

Dalla figura 4.19 si osservano tre sezioni funzionali:

- 1) Sezione per la costruzione dei fasci, in essa si vede che ciascun fascio utilizza 8 stecche combinate come segue:
 Per la formazione del fascio orientato per 0° , centrato tra le stecche 1 e 18, concorrono le stecche da 1 a 4 e da 15 a 18.
 Per la formazione del fascio orientato per 20° , centrato tra le stecche 1 e 2, concorrono le stecche da 1 a 5 e da 16 a 18.
 Per la formazione del fascio orientato per 40° , centrato tra le stecche 2 e 3, concorrono le stecche da 1 a 6 e da 17 a 18.
 Per la formazione dei fasci successivi il criterio di scelta delle stecche si ripete, ad ogni nuova direzione si lascia una stecca alla sinistra per inserire una stecca alla destra, per arrivare infine al fascio orientato per

340°, centrato tra le stecche 17 e 18, a cui concorrono le stecche da 1 a 3 e da 14 a 18.

2) Sezione dei sommatore e rivelatori, in essa si vedono 18 sommatore, uno per ciascuno fascio, collegati ad altrettanti circuiti di rivelazione, la funzione di questi ultimi è quella di trasformare le tensioni dei sommatore, che sono a polarità casuale, in tensioni ad esse proporzionali con polarità determinata per consentire il funzionamento dei circuiti di scansione, interpolazione e visualizzazione dei fasci.

3) Sezione per la scansione elettronica dei fasci, in essa si individua il blocco della scansione e quello per l'interpolazione delle direzioni.

Supponiamo ora che un bersaglio sia posizionato sulla direzione passante tra le stecche 9 e 10, sarà interessato completamente il fascio a 180°, il cui sommatore fornirà il massimo livello di tensione, e marginalmente, i fasci adiacenti, i cui sommatore forniranno livelli di tensione più bassi dato che per loro il bersaglio non si presenta nella direzione preferenziale.

Se tracciamo un diagramma a punti, corrispondente alla situazione delle tensioni unipolari presenti all'uscita dei 18 rivelatori, otteniamo il grafico di fig. 4.20.

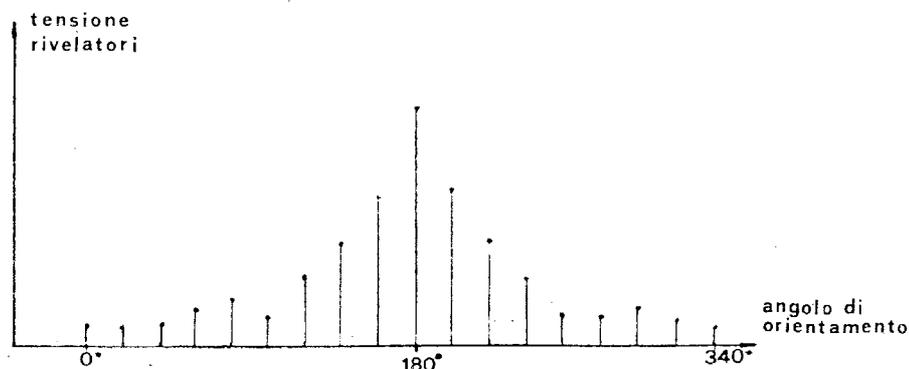


fig. 4.20 Diagramma delle tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersaglio su 180°

In esso sono riportati, in ascissa, gli angoli distintivi di ogni fascio 0°, 20°, 40°, ..., 340°, e in ordinata i livelli di tensione presenti all'uscita dei corrispondenti rivelatori. Il grafico è già indicativo della direzione del bersaglio, che viene determinata dalla sezione per la scansione dei fasci.

Le tensioni in uscita dai rivelatori vengono prelevate dal blocco di scan-

sione in pochi millesimi di secondo (periodo di scansione) ed inviate all'interpolatore, sequenzialmente nel tempo, sotto forma di un'unica tensione la cui ampiezza presenta un andamento a "scalini" che si ripete ad ogni intervallo di tempo corrispondente al periodo di scansione (Fig. 4.21).

All'interno di esso sono contenute le 18 tensioni presenti all'uscita dei rivelatori suddivise in altrettanti intervalli di tempo, a ciascuno dei quali corrisponde la direzione di un fascio.

L'andamento della tensione a scalini segue quello tracciato in Fig. 4.20 e si presenta come mostrato in Fig. 4.21.

Nella figura si osserva, centrato su 180° , il livello massimo fornito dal rivelatore del fascio puntato sul bersaglio; ai fianchi del massimo compaiono livelli simmetrici dovuti ai rivelatori dei fasci adiacenti.

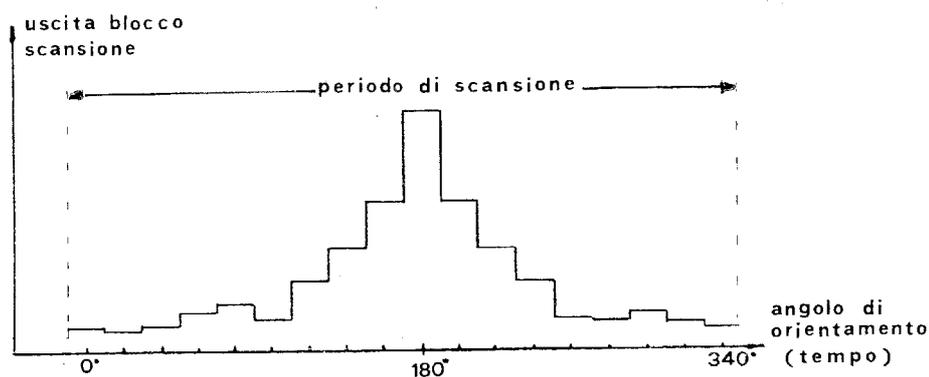


fig. 4.21 Diagramma delle tensioni all'uscita del blocco di scansione - Bersaglio su 180°

Il circuito di interpolazione, che riceve la tensione a scalini, raccorda i vari livelli di tensione, producendo una tensione il cui andamento ricorda il profilo di una campana, il culmine della campana coincide con la direzione del bersaglio, questa tensione è riportata nella Fig. 4.22.

La grande importanza del circuito interpolatore è superiore a quanto emerso in questo esempio, con esso infatti è possibile stabilire la direzione del bersaglio anche quando questa non coincide con l'orientamento di un fascio, ma si trova comunque disposta tra due fasci contigui.

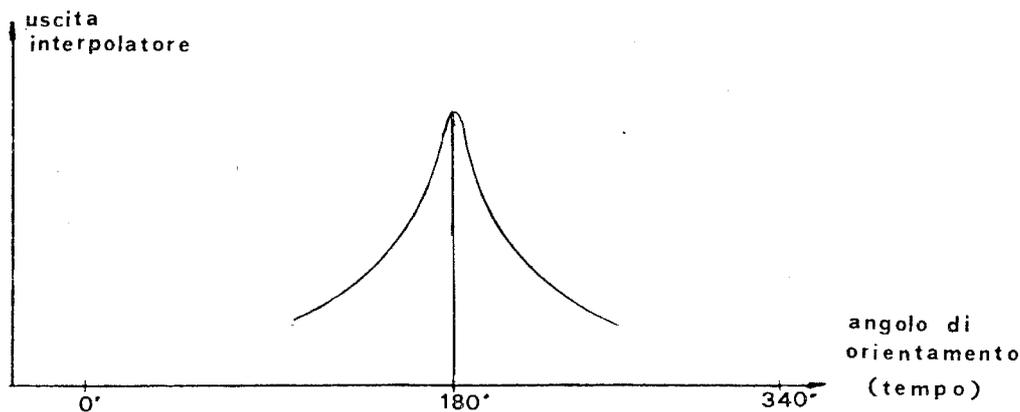


fig. 4.22 Diagramma delle tensioni all'uscita del filtro di interpolazione - Bersaglio su 180°

Per chiarire questo concetto facciamo un esempio simile al precedente; supponiamo che il bersaglio non si trovi su di una direzione centrata su di un fascio, ma a 183°. In questo caso il fascio più interessato sarà quello a 180°, ma la tensione all'uscita del suo rivelatore non avrà il massimo livello, dato che la direzione del bersaglio non coincide con l'asse del fascio. Gli altri fasci produrranno tensioni più basse, ma non saranno simmetriche rispetto al fascio a 180°, come invece lo erano nel primo esempio, dato che la direzione del bersaglio era equidistante dai fasci contigui a quello centrato sul bersaglio. Questa situazione porta ad una distribuzione non simmetrica delle tensioni all'uscita dei rivelatori come mostrato in Fig. 4.23.

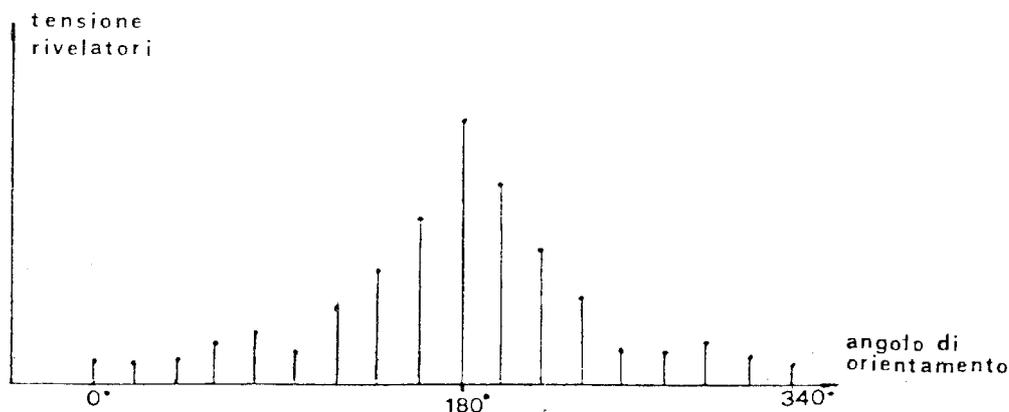


fig. 4.23 Diagramma delle tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersaglio su 183°.

All'uscita del blocco di scansione si presenta pertanto la tensione a scalini, mostrata in Fig. 4.24, che non è simmetrica rispetto al massimo dei livelli.

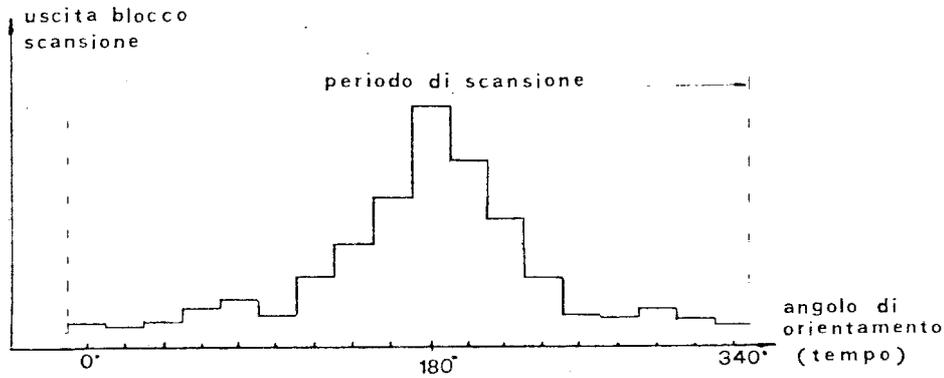


fig. 4.24 Diagramma delle tensioni all'uscita del blocco di scansione - Bersaglio su 183°

All'uscita dell'interpolatore, infine, grazie all'asimmetria dei livelli si ha una tensione, con profilo a campana, il culmine della quale è centrato sulla direzione di 183° coincidente con quella del bersaglio (vedi Fig. 4.25).

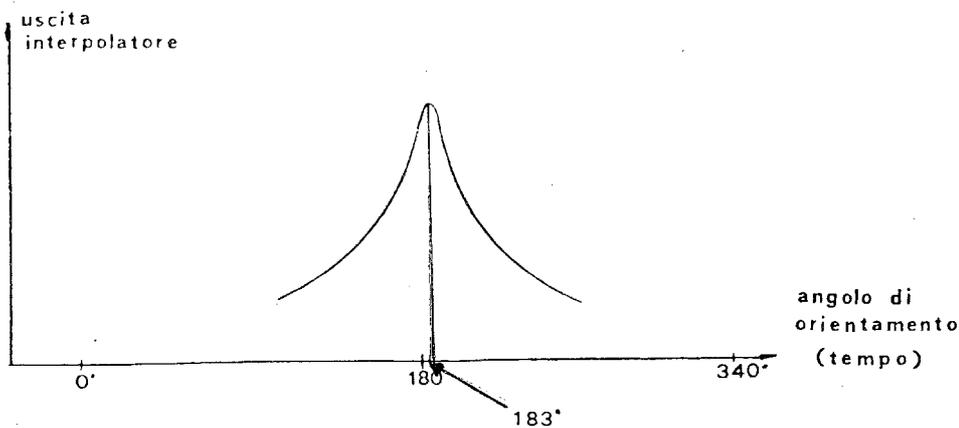


fig. 4.25 Diagramma delle tensioni all'uscita del filtro interpolatore - Bersaglio su 183°

A questo punto è interessante vedere come il sistema a fasci preformati può scoprire più bersagli contemporaneamente.

Supponiamo che siano presenti, attorno al sommergibile, tre bersagli posizionati rispettivamente sulle direzioni 20° , 200° , 64° ; il primo bersaglio

renderà massima l'uscita del rivelatore del fascio 20° , il secondo quella del rivelatore del fascio 200° , il terzo, non essendo centrato su di un fascio, renderà ad un livello medio alto quella del rivelatore del fascio 60° che risulta più vicino. La situazione dei livelli all'uscita dei rivelatori è riportata nel grafico a punti di Fig. 4.26.

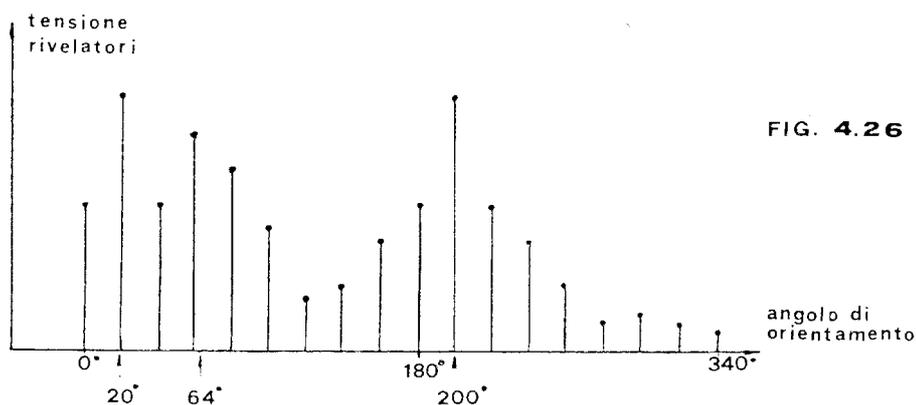


FIG. 4.26

fig. 4.26 Tensioni all'uscita dei rivelatori - Bersagli su 20° , 200° , 64°

Da questi livelli nasce la tensione a scalini all'uscita del blocco di scansione che è visibile in Fig. 4.27 e successivamente la tensione all'uscita dell'interpolatore mostrata in Fig. 4.28.

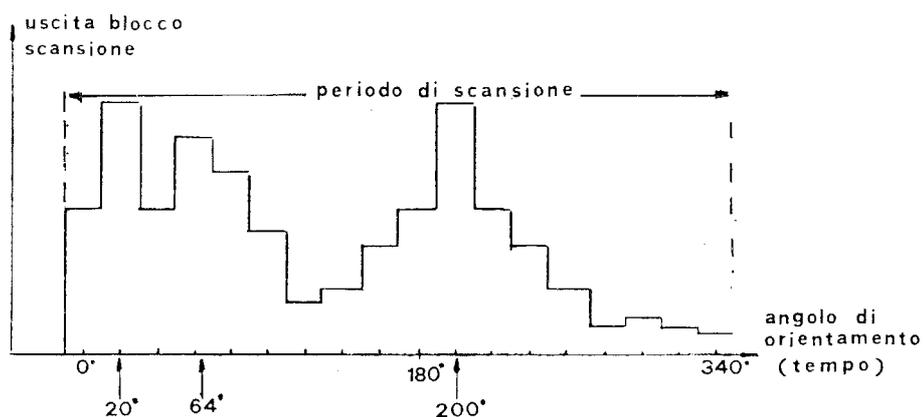


fig. 4.27 Tensioni all'uscita blocco scansione - Bersagli su 20° , 200° , 64°

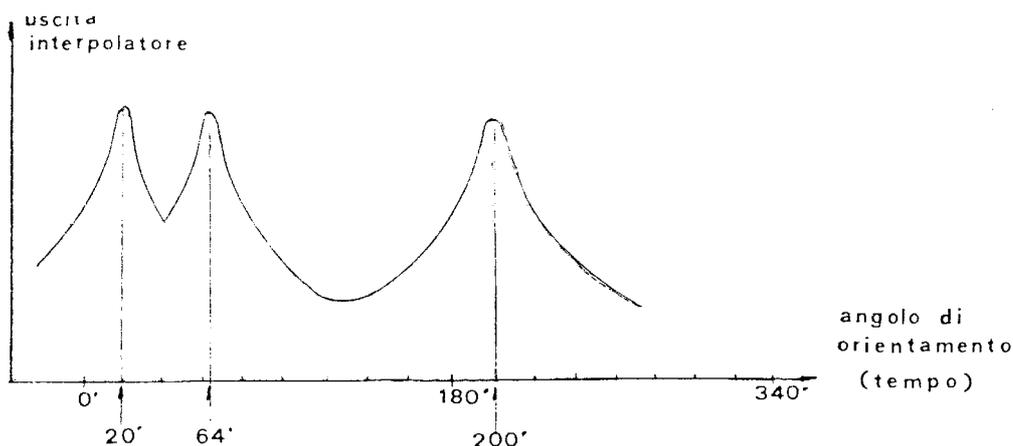


fig. 4.28 Tensioni all'uscita interpolatore - Bersagli su 20° , 200° , 64° .

Dalla figura 4.28 si osserva che i culmini delle "campane" sono centrati rispettivamente su 20° , 64° , 200° .

Anche in questo caso il sistema di interpolazione ha consentito di "costruire" un fascio su di una direzione (64°) nella quale non era presente un fascio preformato.

Con questa tecnica si possono rivelare contemporaneamente bersagli comunque disposti nell'arco dell'orizzonte, con una precisione che dipende sia dalle dimensioni della base idrofonica che dal numero dei fasci preformati.

È opportuno osservare che la scansione delle tensioni dei rivelatori parte dal primo, arriva al diciottesimo e si ripete da capo, con continuità, in modo che, se nel frattempo, un bersaglio si sposta, si vede immediatamente il corrispondente spostamento del culmine della campana. La scansione è ciclica e si ripete senza pause. Ora non ci resta che conoscere il modo con il quale l'operatore, con il sistema a fasci preformati, può vedere contemporaneamente la presenza dei bersagli per procedere alla loro localizzazione. La tensione d'uscita dell'interpolatore viene visualizzata su di uno schermo circolare, di tipo televisivo, in cui la corona esterna, graduata, rappresenta l'orizzonte, mentre il centro rappresenta il sommergibile. Le scansioni, che si ripetono ciclicamente, sono rappresentate sullo schermo come cerchi concentrici il cui diametro si espande dal centro verso la periferia.

I culmini delle tensioni a campana compaiono sullo schermo, vedi fig. 4.29, come piccoli archi luminosi disposti secondo i raggi che ne rappre-

sentano le direzioni e che partono dal centro dello schermo.

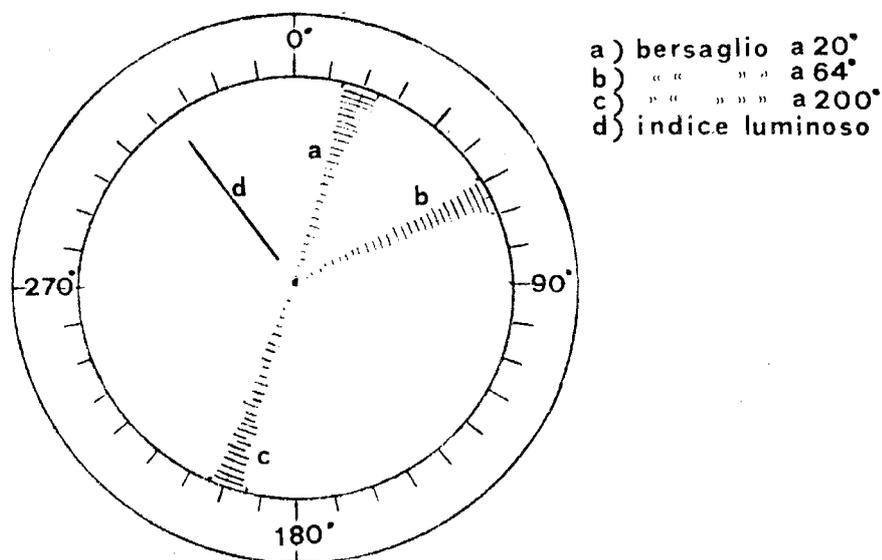


fig. 4.29 Presentazione video dei tre bersagli.

La misura della direzione dei bersagli viene fatta dall'operatore in due modi:

- 1) Misura immediata e approssimativa ai fini di una rapida valutazione della situazione, eseguita confrontando la posizione della traccia dei bersagli con la scala graduata presente sulla periferia dello schermo.
- 2) Misura accurata della direzione eseguita posizionando, con un volantino, sul centro di ogni traccia, un apposito indice luminoso, la cui posizione angolare è definita con precisione da appositi indicatori numerici posti accanto allo schermo circolare, sui quali l'operatore legge il valore della direzione dei bersagli.

4.6 Misura della quota del bersaglio mediante il rilievo dell'angolo di sito.

Si dice angolo di sito l'angolo del piano verticale che si forma tra l'asse del sommergibile e il segmento di congiungente bersaglio-sommergibile (vedi Fig. 4.30)

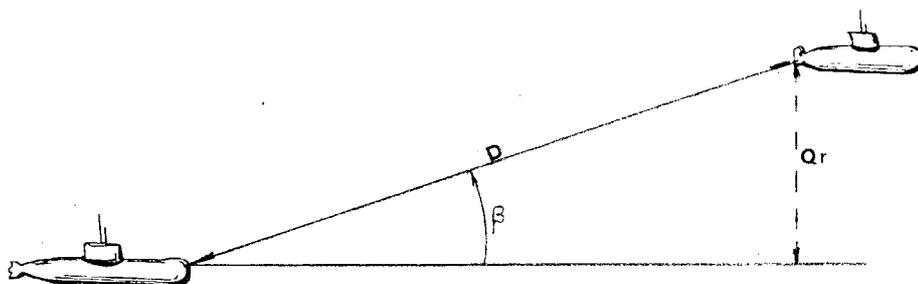


fig. 4.30 Geometria per evidenziare l'angolo di sito

La misura dell'angolo di sito β contribuisce alla localizzazione del bersaglio; questo rilievo associato alla misura della distanza D , consente il calcolo della quota relativa del bersaglio (Q_r).

La misura dell'angolo di sito avviene secondo gli stessi principi esposti a proposito della determinazione della direzione del bersaglio, essa si avvale di una particolare disposizione costruttiva adottata nelle stecche delle basi preposte a questo scopo (vedi Fig. 4.31).

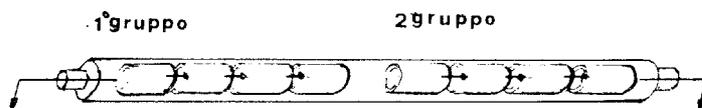


fig. 4.31 Stecca idrofonica a due gruppi di elementi.

Dalla figura si nota che la stecca è formata da due gruppi di elementi idrofonici (possono essere due o multipli di due), ogni gruppo ha gli elementi collegati in serie come le normali stecche, ma i gruppi non sono collegati tra loro, in modo che le stecche risultano formate da due (o più) parti indipendenti. Le stecche di questo tipo, montate su basi circolari, formano la struttura descritta nel paragrafo 1.7.1.1 e mostrata in figura 1.7.

Vediamo come si misura l'angolo di sito facendo riferimento alla fig. 4.32; in essa, per semplificare l'esempio, è riportata la geometria di una sola

stecca disposta nel piano verticale. Nella figura sono evidenziati l'angolo di sito β , formato dalla direzione di provenienza delle onde con l'asse del battello e la differenza di percorso (a), che l'onda deve superare per passare dal gruppo idrofonico I1 al gruppo I2 (il percorso (a) è superato dal suono nel tempo t). In figura sono inoltre riportati il ritardatore R e il sommatore S.

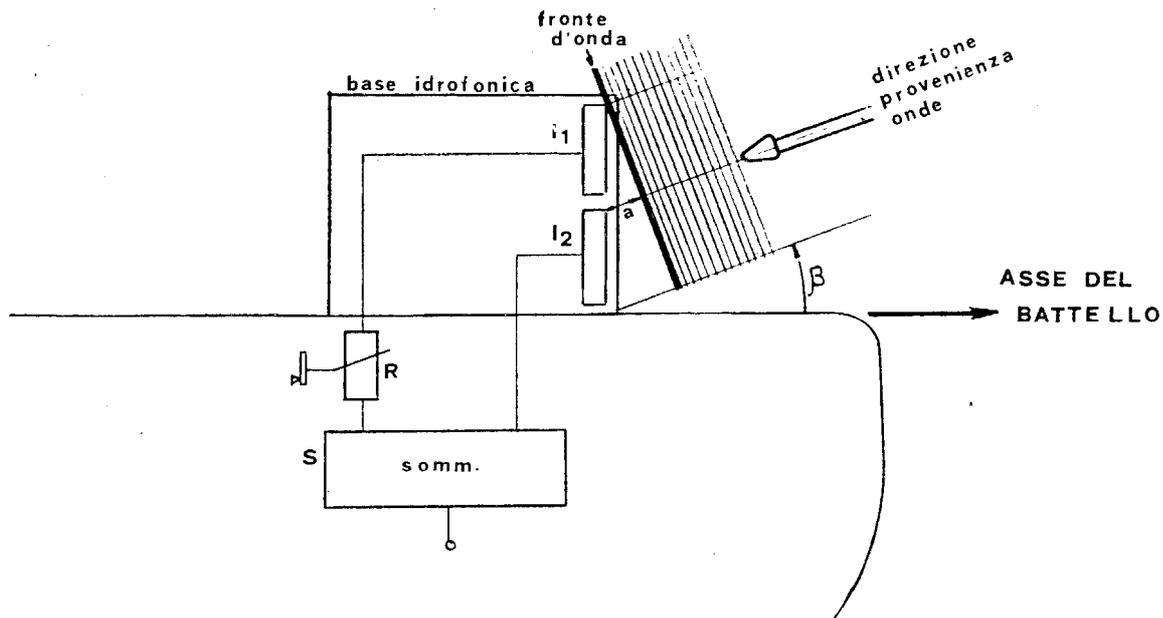


fig. 4.32 Geometria per la misura dell'angolo di sito.

La tensione del gruppo I1 viene applicata al sistema di ritardo R prima di inviarla al sommatore, la tensione del gruppo I2, già ritardata a causa del maggior percorso dell'onda del tempo t rispetto a I1, viene invece applicata direttamente al sommatore. Il ritardo t della tensione di I2 è funzione dell'angolo di sito β .

La misura del tempo di ritardo t si effettua osservando il comportamento dell'ampiezza della tensione all'uscita del sommatore al variare del ritardo R. Se il ritardo introdotto da R è uguale a t , la tensione di I1 subisce in R lo stesso ritardo che la pressione acustica, che colpisce I2, subisce in acqua e le due tensioni sono sempre uguali in ampiezza e polarità; di conseguenza la tensione in uscita dal sommatore raggiunge il massimo valore.

In questo modo si ottiene la coincidenza del valore di R con il ritardo t e da

esso, con semplice calcolo (svolto automaticamente) si determina prima il valore di β , dopo, introducendo il valore della distanza del bersaglio, si stabilisce la sua quota relativa (Q_r). La misura dell'angolo di sito si esegue su di un bersaglio di cui è già stata determinata la direzione; con un apposito sistema si scelgono due o più stecche prospicienti a tale direzione e su queste si esegue la misura.

Il sistema per la selezione delle stecche e per la misura del β è simile al compensatore per la misura della direzione; non viene qui descritto per non valicare i limiti imposti a questa esposizione.

4.7) Misura della distanza dei bersagli attivi.

Il problema della misura della distanza dei bersagli che irradiano rumore, è risolto mediante la valutazione dei tempi di ritardo che l'onda acustica viene ad avere nel colpire una particolare base idrofonica. Questa è stata mostrata in figura 1.14 nel paragrafo dedicato al misuratore passivo della distanza, i cui principi di funzionamento sono ora esposti. Per semplificare la descrizione prenderemo a modello una base che ha una sola stecca al posto di ogni gruppo di stecche come in quella menzionata.

La determinazione della distanza si basa sulla geometria che la "curvatura" del fronte d'onda forma con la base.

L'affermazione ora fatta può stupire, dato che in precedenza, nel considerare le onde acustiche per i diversi metodi di misura della direzione, non si è accennato al fatto che il fronte d'onda è curvo. Nella misura della direzione l'effetto della curvatura dell'onda che colpisce la base è irrilevante e perciò nel ragionare su questo argomento si suppone che l'onda non sia curva.

Le onde acustiche emesse da un bersaglio si propagano in mare per successivi spostamenti delle particelle d'acqua, secondo sfere le cui ampiezze crescono man mano che le onde si allontanano dal bersaglio.

Nella Fig. 4.33 è mostrata una sezione orizzontale dello spazio subacqueo in cui le onde compaiono come cerchi concentrici.

Nella realtà le onde acustiche, pur seguendo la propagazione che abbiamo menzionato, non sono dei cerchi perfetti; la curvatura dell'onda, per cause complesse, è finemente deformata e ciò a volte provoca sensibili alterazioni delle geometrie acustiche che si ripercuotono sulla precisione di misura della distanza. Questo problema non viene però considerato in questa breve esposizione.

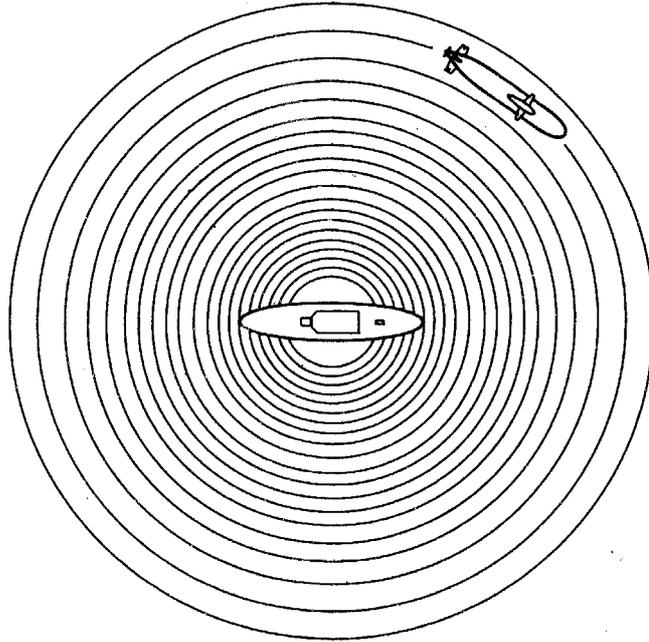


fig. 4.33 Geometria per evidenziare la curvatura delle onde acustiche

Consideriamo una base idrofonica rettilinea formata da tre stecche ed un bersaglio posto sull'asse come indicato in Fig. 4.34.

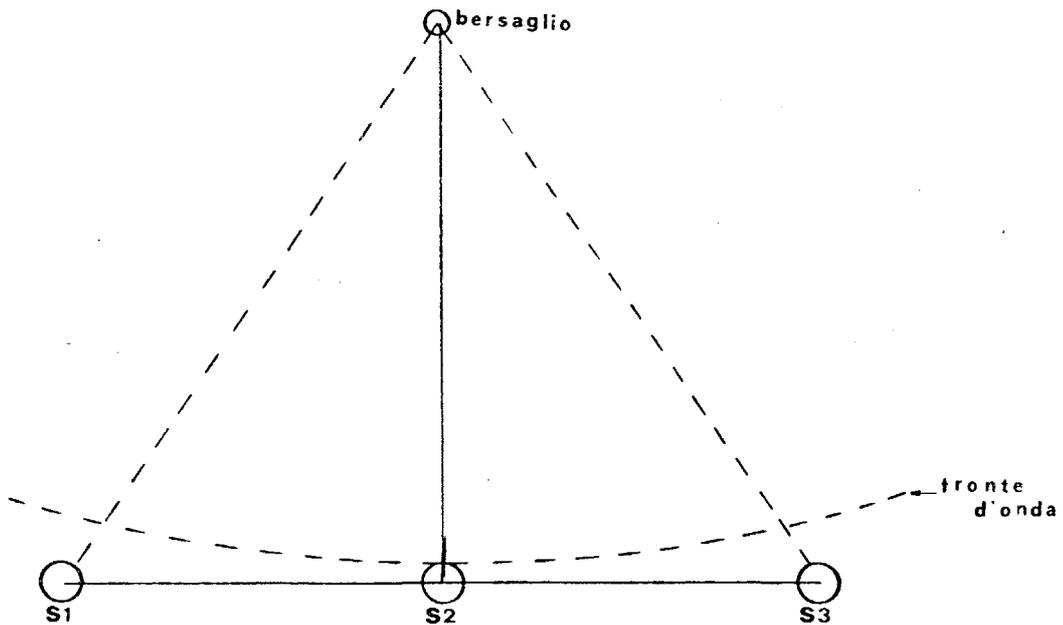


fig. 4.34 Geometria per la misura del tempo di ritardo dovuto alla curvatura.

Quando il fronte d'onda colpisce la base, a causa della sua curvatura viene investita prima la stecca S2, poco dopo sono investite, contemporaneamente, le stecche S1, S3. Nella differenza di tempo t , che l'onda impiega per passare dalla stecca S2 alle stecche S1 e S3, è contenuta l'informazione

relativa alla distanza del bersaglio.

Dall'esame della geometria di figura 4.34 si ricava la legge matematica che lega il tempo t alla distanza del bersaglio e alle dimensioni della base. Da semplici calcoli si può vedere che il tempo t è tanto più piccolo quanto più è lontano il bersaglio e che la sua entità diventa ragionevolmente apprezzabile soltanto se si impiega una base lunga diverse decine di metri. Facciamo un esempio: supponiamo di impiegare una base idrofonica rettilinea a tre stecche distanti 30 metri l'una dall'altra, la legge di variazione del tempo di ritardo t in funzione della distanza del bersaglio è rappresentata dal grafico di Fig. 4.35.

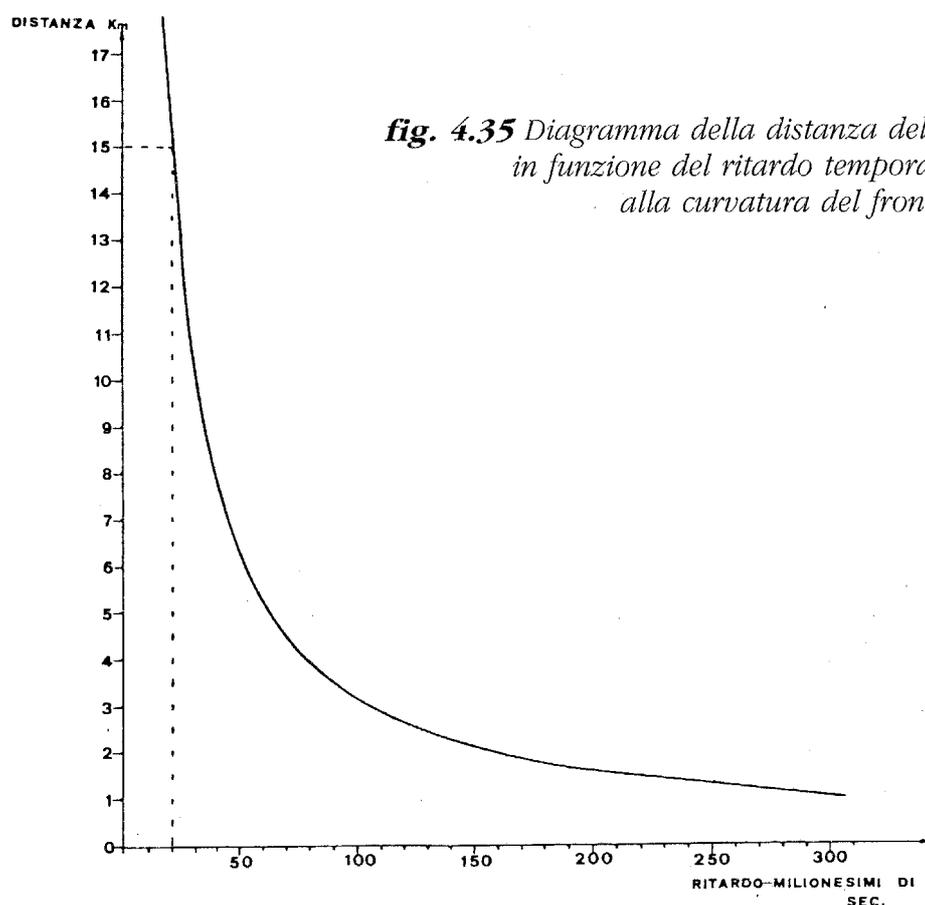


fig. 4.35 Diagramma della distanza del bersaglio in funzione del ritardo temporale dovuto alla curvatura del fronte d'onda.

Dalla curva notiamo che per distanze elevate, dell'ordine di 15 Km, il tempo di ritardo è intorno a 20 milionesimi di secondo e che bastano pochi milionesimi di secondo di errore nella sua valutazione per far sì che la misura della distanza venga notevolmente alterata.

Dall'esempio si comprende che, per la misura della distanza, la valuta-

zione dei ritardi è cosa ben più delicata di quanto non sia nel caso della misura della direzione.

In via di solo principio la distanza di un bersaglio può essere determinata con la disposizione circuitale di fig. 4.36.

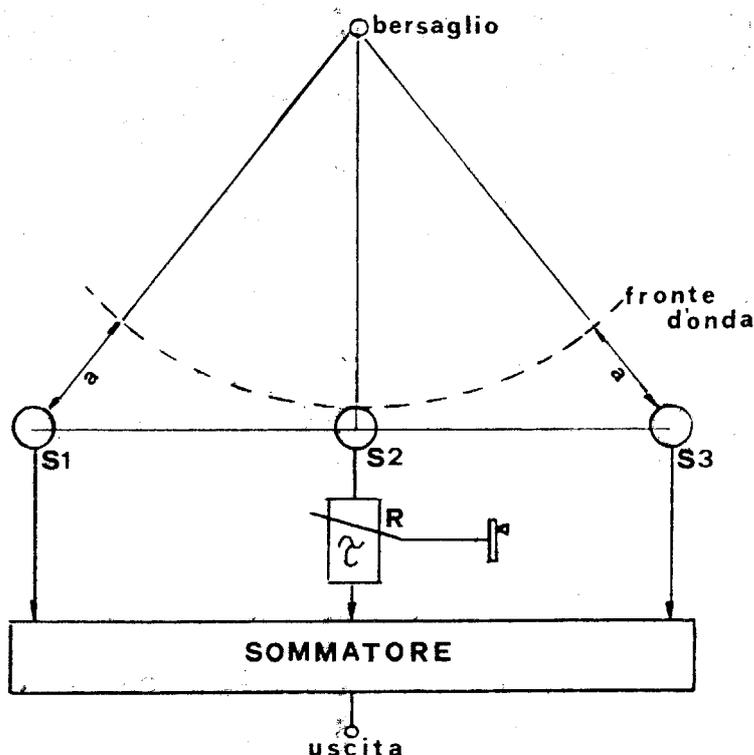


fig. 4.36 Sistema di principio per la misura del ritardo dovuto alla curvatura del fronte d'onda.

La differenza di percorso che l'onda acustica deve colmare per passare dalla stecca S2 alle stecche S1 e S3 è indicata con (a), ad essa corrisponde il tempo di ritardo t . Per determinare il valore di t si deve introdurre, tramite R, il ritardo t_1 , adatto a rendere sempre uguale, in ampiezza e polarità, la tensione di S2 con le tensioni di S1 e S3, in modo da rendere massima la tensione in uscita dal sommatore. Una volta eseguita questa operazione il valore del ritardo t_1 , introdotto da R, è uguale a t e può essere messo a calcolo per la determinazione della distanza.

Un'ultima osservazione riguarda la geometria che viene a formarsi quando il bersaglio non si trova sull'asse della base (vedi Fig. 4.37); in questo caso la misura della distanza è influenzata dalla direzione del bersaglio e la determinazione del tempo di ritardo t diventa molto più elaborata, pur seguendo gli stessi principi che abbiamo ora descritto.

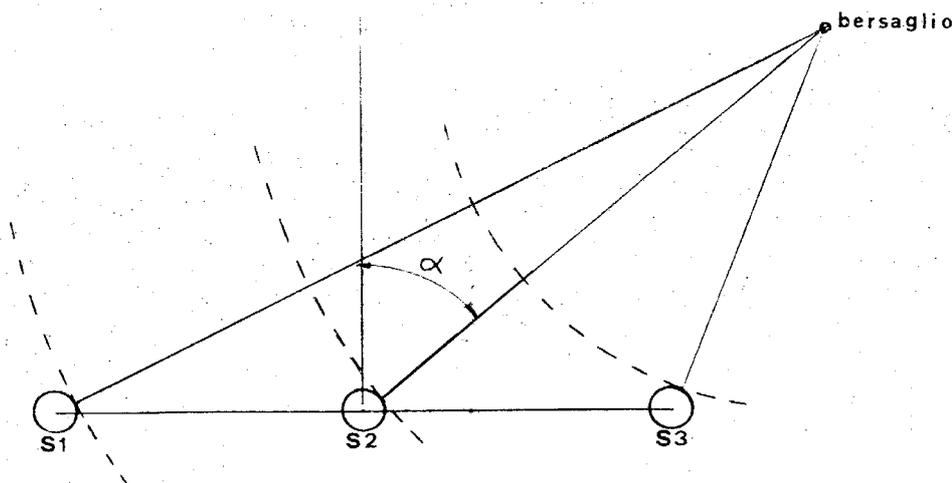


fig. 4.37 Geometria per la misura del tempo di ritardo dovuto alla curvatura per bersaglio comunque disposto.

In pratica non è possibile eseguire con la disposizione circuitale di figura 4.36 una misura della distanza. I procedimenti che lo consentono, che si basano sempre sulla valutazione del ritardo dovuto alla curvatura dell'onda, sono molto complessi e la loro spiegazione ci porterebbe fuori dai limiti imposti a questo lavoro. Ci basti pertanto la conoscenza dei fondamenti di questa importante applicazione dell'acustica dei sonar.

Prima di terminare questo argomento è opportuno chiarire perchè le due basi del misuratore passivo della distanza, illustrato nel paragrafo 1.8.4, sono formate con gruppi di stecche. Ciò è fatto per conferire alle basi la caratteristica di direttività necessaria a ridurre il disturbo captato nell'ambiente subacqueo.

4.8.) Configurazione della componente passiva del sonar.

Dopo aver esaminato i principi e i sistemi per la localizzazione dei bersagli attivi, vediamo come è strutturata una configurazione tipica della componente passiva del sonar.

La descrizione che segue illustra questa componente secondo una impostazione tecnica di principio che ha il solo scopo di evidenziarne le molteplici possibilità operative.

Sono applicati, nella struttura del sonar, i sistemi già visti in precedenza con l'aggiunta di alcuni importanti complementi che ne rendono più efficace l'impiego.

Nello schema di Fig. 4.38 è riportato l'insieme dei blocchi funzionali che

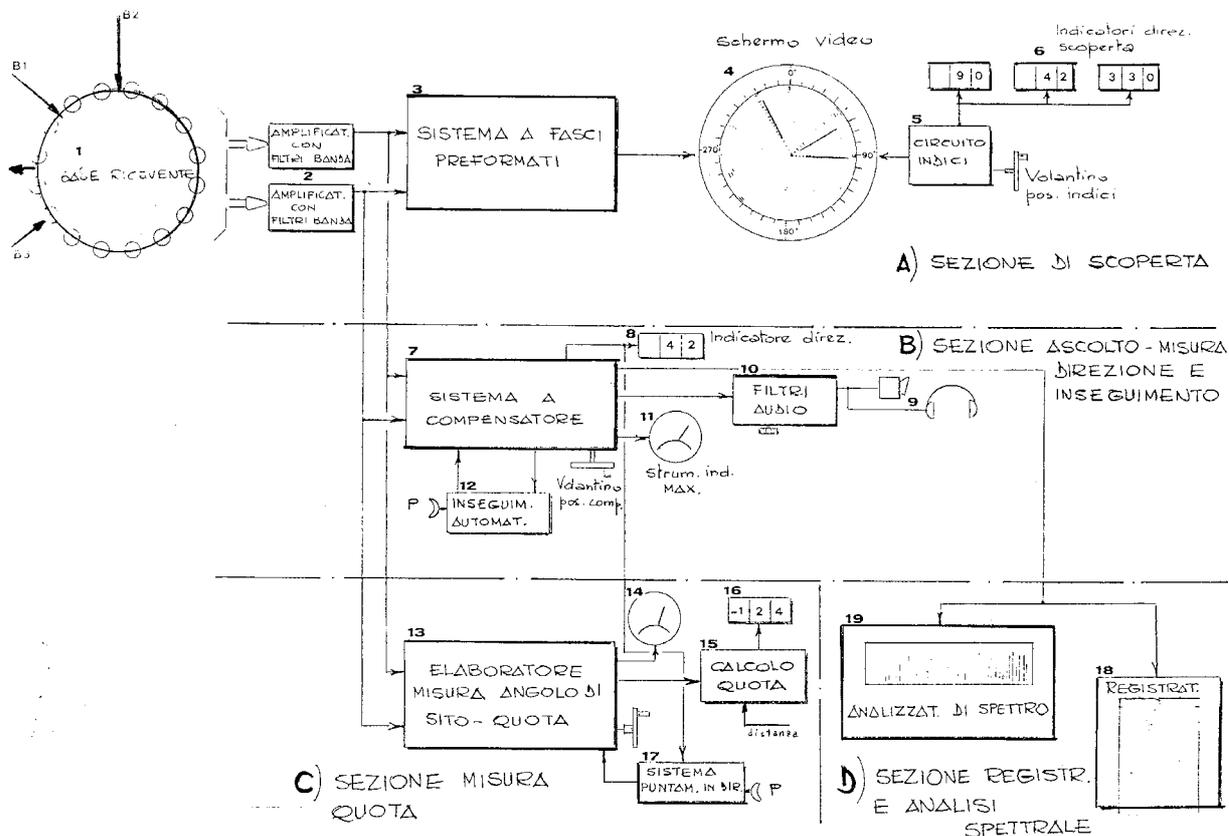


fig. 4.38 Schema a blocchi della componente passiva del sonar

costituiscono la componente passiva; esso è suddiviso nelle seguenti sezioni:

- A) Sezione per la scoperta dei bersagli.
- B) Sezione per l'ascolto, la misura della direzione e l'inseguimento di un bersaglio prescelto.
- C) Sezione per la misura della quota del bersaglio prescelto.

D) Sezione per la registrazione e l'analisi dei dati.

Descriviamo ora le quattro sezioni secondo un'ipotetica situazione che coinvolge l'operatore: la base idrofonica circolare (1) riceve il suono irradiato da tre bersagli: B1, B2, B3, posti a 42° , 90° e 330° rispetto all'asse del battello.

Le tensioni generate dalle stecche, tramite gli amplificatori (2), raggiungono i tre sistemi principali di elaborazione; fasci preformati (3), compensatore (7), elaboratore quota (13). Gli amplificatori (2) sono dotati di filtri di banda per limitare il funzionamento della componente nel campo di frequenze stabilito dal progetto del sonar.

Il sistema di fasci preformati (3) individua contemporaneamente la presenza dei tre bersagli e ne presenta le tracce sullo schermo video (4) sotto forma di settori luminosi disposti sulle direzioni 42° , 90° , 330° .

L'operatore inizia la fase di scoperta agendo sul volantino del comando indici (5) con il quale, in tempi successivi, posiziona tre indici luminosi al centro delle tracce dei tre bersagli. In tal modo egli determina la direzione mediante la lettura degli angoli che le posizioni degli indici hanno introdotto sugli indicatori numerici (6).

L'operatore decide ora, in base ad esigenze tattiche, di localizzare il bersaglio B1; per far ciò ruota il volantino del sistema a compensatore (7) in modo che l'indicatore (8), ad esso collegato, segni il valore angolare, fornito in precedenza dal sistema di scoperta, relativo al bersaglio B1. Orienta così per 42° il fascio del compensatore e con le cuffie (o altoparlante) (9) inizia l'ascolto del rumore emesso dal bersaglio. Agendo sul blocco dei filtri audio (10) seleziona la banda di frequenze più idonea per l'ascolto del rumore irradiato da quel particolare bersaglio; questo esame può dare utili indicazioni circa il tipo di propulsione, la velocità ed altri importanti tratti distintivi.

In questo caso il compensatore è stato orientato su indicazione del sistema di scoperta, in altre condizioni può essere orientato in modo autonomo per la ricerca di bersagli, con il metodo della massima tensione all'uscita del sommatore che viene indicata dallo strumento ad indice (11) e con l'ascolto audio in cuffia e in altoparlante (9).

È ora la volta della misura della quota del bersaglio, che si effettua sfruttando le stecche a doppi gruppi idrofonici della base (1). L'operatore, pigiando il pulsante del blocco di puntamento (17), trasferisce la posizione angolare del bersaglio prescelto (42°), al gruppo di selezione stecche dell'elaboratore (13). In questo modo il blocco (13) risulta collegato alle

stecche che si trovano intorno alla direzione 42° e può elaborarne le tensioni per la determinazione dell'angolo di sito, da cui viene calcolata la quota del bersaglio. L'operatore esegue la misura agendo sul volantino del blocco (13) fino a rendere massima l'elongazione dell'indice dello strumento (14), il circuito di calcolo (15) trasforma il tempo di ritardo, introdotto dall'azione dell'operatore, nel valore di quota che viene poi presentato nell'indicatore (16) (vedi par. 4.6).

Eseguite le misure atte a localizzare il bersaglio l'operatore decide di seguirne la traiettoria osservando in continuazione le variazioni della sua direzione. In un primo momento segue il movimento del bersaglio ruotando, con il volantino, il compensatore (7), in modo tale che lo strumento (11) indichi sempre il massimo valore, ciò significa che il fascio del compensatore segue il bersaglio e che l'angolo fornito dall'indicatore (8) ne rappresenta di volta in volta la direzione.

In un secondo tempo deve procedere alla scoperta di altri bersagli, senza peraltro abbandonare il controllo del bersaglio B1; per far ciò pigia il pulsante P del blocco di inseguimento automatico (12) che si sostituisce all'azione manuale dell'operatore sul volantino ed il compensatore segue automaticamente le evoluzioni del bersaglio B1. In questo modo l'operatore è libero di concentrare la sua attenzione sullo schermo di scoperta (4). In qualsiasi momento può controllare la direzione di B1, che viene aggiornata continuamente sull'indicatore (8), e procedere ad un nuovo rilievo dei dati di quota e direzione.

Mentre il sistema a compensatore (7) segue automaticamente il bersaglio B1 le tensioni dovute al suo rumore, presenti all'uscita del sommatore elettronico, sono indirizzate a due altri sistemi di elaborazione: il registratore grafico di direzione (18) e l'analizzatore di spettro (19).

Il registratore grafico (18) ha il compito di visualizzare istante dopo istante le direzioni del bersaglio inseguito dal compensatore. Sulla carta scorrevole, contrassegnata con i riferimenti angolari 0° , 360° , (vedi fig. 4.39) il pennino scrivente si muove in sincronia con il compensatore e traccia delle marche scure in corrispondenza delle direzioni assunte dal bersaglio nel tempo. Sulla carta che scorre resta impressa la "storia" delle evoluzioni del bersaglio che aiuta l'operatore a seguirne e prevederne le manovre. Il registratore grafico consente inoltre di migliorare la discriminazione dei segnali idrofonici mascherati dal disturbo; infatti, mentre le tracce del segnale compaiono allineate le une dopo le altre formando una pista scura, il disturbo provoca tracce posizionate casualmente che, anche

se frequenti, non sono allineate. Il segnale si distingue perciò dal disturbo.

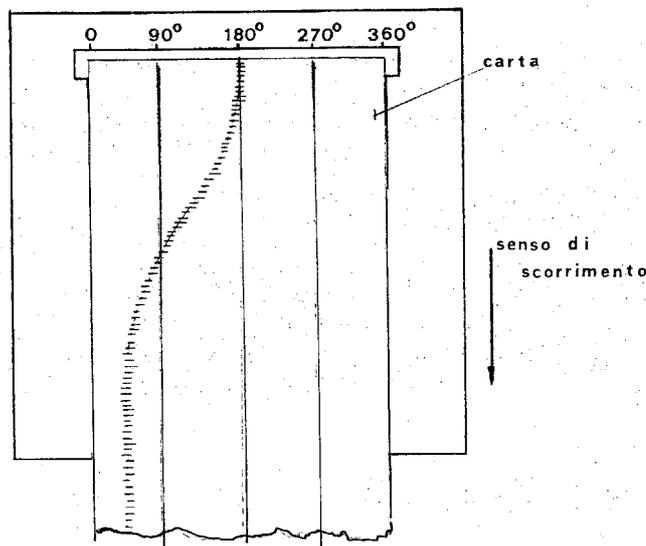


fig. 4.39 Registratore della posizione angolare del bersaglio attivo.

L'analizzatore (19) esegue l'esame dello spettro delle frequenze contenute nel rumore irradiato dal bersaglio. L'esame porta alla determinazione dell'ampiezza relativa di tutte le frequenze che compongono lo spettro con il relativo tracciamento su un grafico che ha per ascisse le frequenze e per ordinate le ampiezze relative a ciascuna frequenza (vedi Fig. 4.40).

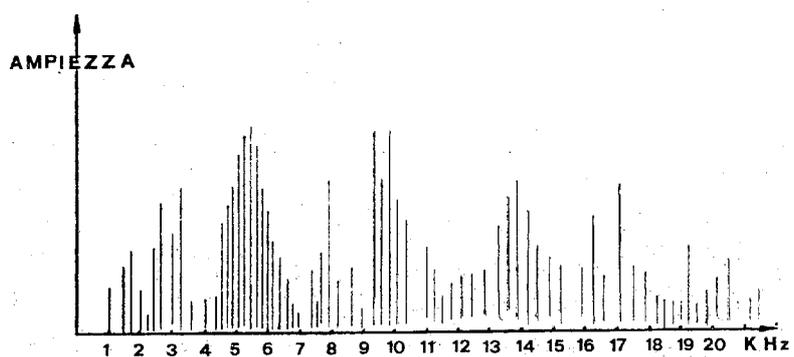


fig. 4.40 Spettro del rumore del bersaglio scoperto dal sonar.

Confrontando lo spettro di frequenze rilevato dall'analizzatore (19) con gli spettri distintivi di molti tipi di unità navali, contenuti in un apposito ar-

chivio, l'operatore può stabilire la classe del bersaglio che sta inseguendo. Quanto abbiamo visto ci dà un'idea della notevole capacità operativa del sonar passivo nelle fasi di scoperta, localizzazione, inseguimento e classificazione dei bersagli.

4.9) Configurazione della componente per la misura passiva della distanza.

A chiusura di questo capitolo esaminiamo il funzionamento di una delle componenti più complesse del sonar, il misuratore passivo della distanza. Il tipo che illustriamo può funzionare soltanto se è indirizzato dalla componente passiva del sistema di localizzazione.

Il dato angolare fornito da quest'ultima è utilizzato dal misuratore per orientare la caratteristica di direttività della propria base verso il bersaglio. Nella Fig. 4.41 è riportato lo schema a blocchi del misuratore che viene descritto secondo gli stessi criteri applicativi che abbiamo impiegato nel paragrafo precedente. Lo schema mostra le due basi rettilinee (1) che sono formate ciascuna da tre gruppi di stecche idrofoniche.

Una base è destinata a ricevere i rumori dei bersagli dal lato destro del battello, mentre l'altra è preposta a riceverli dal lato sinistro. Entrambe le basi inviano, tramite gli amplificatori (2), le loro tensioni idrofoniche all'elaboratore (3). Esso è indirizzabile sul bersaglio mediante il blocco di puntamento (4), che riceve il comando dal compensatore idrofonico.

Supponiamo che la situazione operativa sia ancora quella indicata nel paragrafo precedente e che l'operatore decida di misurare la distanza del bersaglio B3 posto a 330° rispetto all'asse del battello; prima egli orienta su B3 il compensatore della componente idrofonica (blocco 7 di fig. 4.38), indi, pigiando il pulsante P del blocco di orientamento (4), trasferisce all'elaboratore (3) la posizione angolare assunta dal compensatore e abilita la base interessata, in questo caso quella di sinistra.

A questo punto l'operatore, guardando lo schermo di presentazione, (6) osserva due particolari tracce luminose disposte ad una certa distanza l'una dall'altra. Egli inizia ad eseguire la misura della distanza ruotando il volantino V del sistema di calcolo (5), con questa azione vede le due tracce che si avvicinano, quando esse risultano perfettamente sovrapposte, sull'indicatore numerico (7) compare il valore della distanza del bersaglio B3.

Azionando il volantino del gruppo di calcolo l'operatore ha introdotto un ritardo artificiale che, secondo quanto spiegato nel paragrafo 4.7, ha com-

pensato quello dovuto alla curvatura del fronte d'onda, nel frattempo il gruppo di calcolo ha determinato il valore della distanza corrispondente, secondo la legge con la quale è stata tracciata la curva della figura 4.35. Naturalmente il sistema per evidenziare la coincidenza dei tempi di ritardo non è un dispositivo sommatore, ma un circuito molto più complesso.

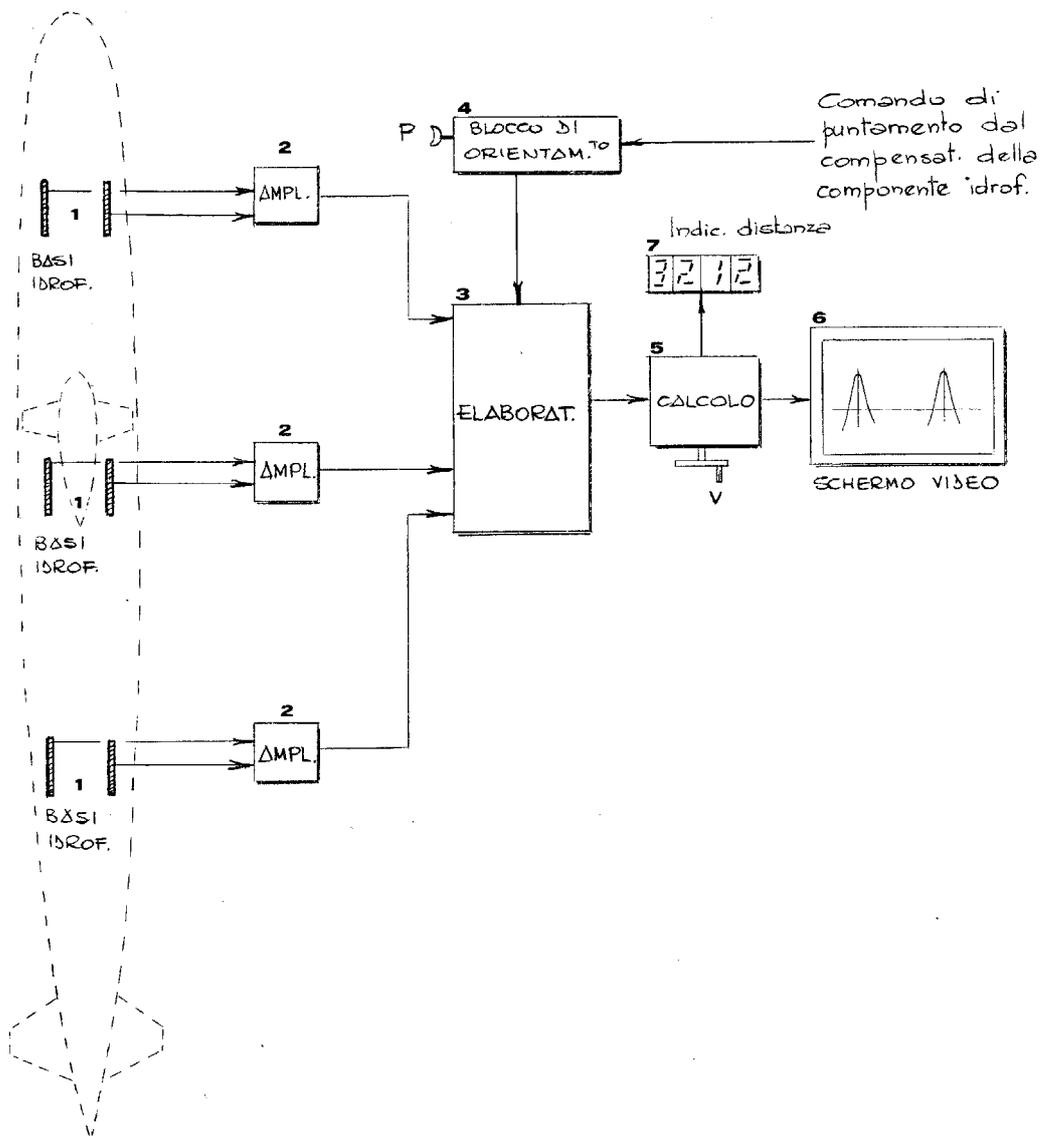


fig. 4.41 Schema a blocchi del misuratore passivo della distanza.