

CAPITOLO 7

Riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo

7.1) Sui metodi di riconoscimento dei segnali.

Nei capitoli precedenti abbiamo appena accennato agli effetti che il disturbo dell'ambiente subacqueo ha sui segnali idrofonici: in questo capitolo esamineremo questo problema che è determinante ai fini della localizzazione dei bersagli, sia attivi che passivi.

I metodi tradizionali impiegati per il riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo sono tre:

- A) Ascolto diretto dell'operatore, tramite filtri e cuffie telefoniche, dei rumori irradiati dai bersagli (o degli echi di ritorno).
- B) Rivelazione e filtraggio delle tensioni idrofoniche per la sola presentazione di tipo strumentale (su indicatori elettromeccanici o elettronici).
- C) Correlazione delle tensioni idrofoniche per la sola presentazione strumentale.

Nell'applicazione del primo metodo ha un ruolo fondamentale l'operatore con le proprie caratteristiche uditive, negli altri il compito più importante è svolto dalla macchina che esegue il riconoscimento del segnale, mentre all'operatore sono affidate le interpretazioni e le decisioni finali sui risultati.

Tra i metodi B) e C) il primo è quello che consente, da un punto di vista teorico, a parità di condizioni con l'altro, una più facile identificazione dei segnali mascherati dal disturbo, nella pratica invece, e ne vedremo le ragioni, è preferibile il metodo di "correlazione", anche se è più costoso e sensibilmente meno efficace del precedente.

I metodi di ascolto e rivelazione si applicano, come abbiamo avuto modo di vedere, nel trattamento delle tensioni di uscita dei sommatore che compongono le caratteristiche di direttività delle basi idrofoniche, i metodi di correlazione richiedono invece che le tensioni da elaborare vengano presentate in modo diverso.

Con l'avvento del computer nel sonar, ai metodi tradizionali di riconoscimento del segnale si sono affiancati altri efficaci metodi che basano il loro funzionamento su elaborazioni matematiche molto complesse eseguite sui contenuti degli spettri delle frequenze che caratterizzano tanto i se-

gnali che i disturbi.

Nel prosieguo di questo capitolo descriveremo soltanto i metodi tradizionali di riconoscimento del segnale che tutt'oggi sono estensivamente impiegati nei sonar moderni.

7.2) Ascolto diretto dei rumori irradiati dai bersagli.

Come abbiamo visto nel paragrafo 4.4.3 un modo per stabilire quando il sistema a compensatore è orientato sul bersaglio consiste nell'ascoltare, con cuffie telefoniche, il suo rumore che, sotto forma di tensione elettrica, è presente all'uscita del sommatore. Questo metodo, pur nella sua semplicità, consente agli operatori esercitati di scoprire i bersagli a grandi distanze grazie alle caratteristiche di percezione dell'orecchio.

L'immunità al disturbo, in questo tipo di riconoscimento dei segnali idrofonici, è affidata in parte al sistema di filtri che sono interposti tra l'uscita del sommatore e il sistema di ascolto (vedi Fig. 7.1) e in parte alle caratteristiche dell'orecchio dell'operatore.

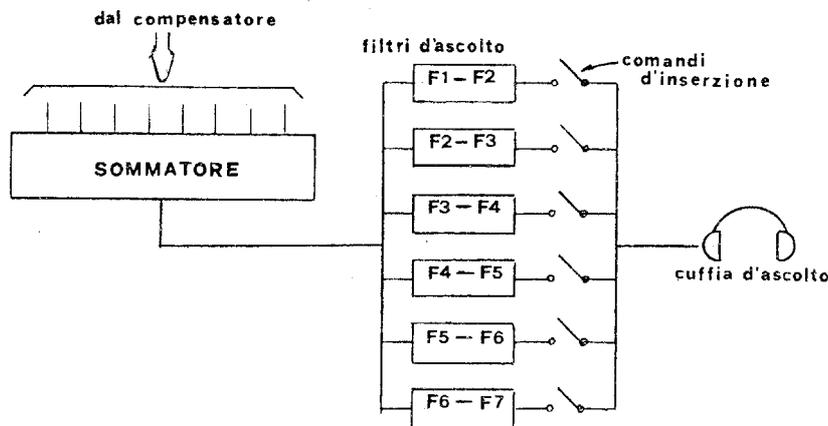


fig. 7.1 Circuito per la selezione delle bande d'ascolto dei bersagli.

Nella figura si osserva che sono disponibili, alla scelta dell'operatore, un certo numero di filtri che hanno la funzione di selezionare una o più bande di frequenze d'ascolto al di fuori delle quali il disturbo viene attenuato energicamente. In questo modo si agevola il riconoscimento del segnale che, se è concentrato nella banda del filtro selezionato, si trova depurato da tutte le frequenze inquinanti al di fuori della banda inserita. All'interno della banda del filtro resta il segnale e quella parte di disturbo am-

biente le cui frequenze sono comprese nella banda stessa. I disturbi nella banda sono in parte filtrati, come vedremo, dall'orecchio dell'operatore. Alcune curve di risposta tipiche dei filtri d'ascolto sono riportate in Fig. 7.2.

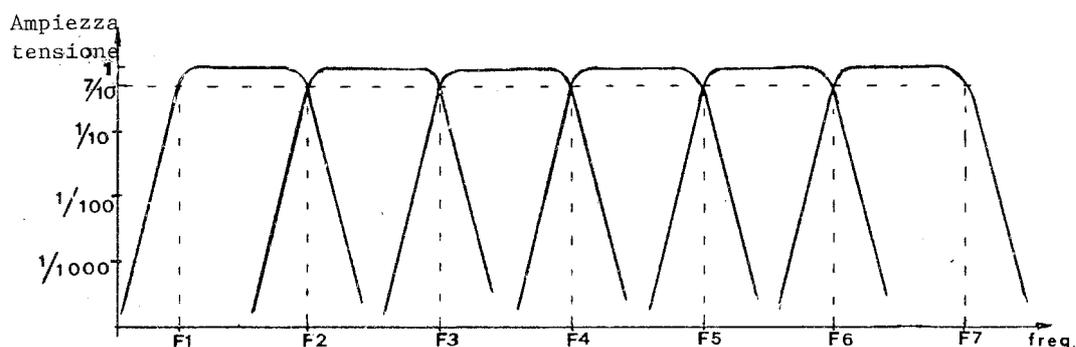


fig. 7.2 Curve di risposta dei filtri di ascolto.

Da esse si osserva che il campo di frequenze di ascolto è fissato tra F_1 e F_7 e che in tale intervallo l'operatore può scegliere una qualsiasi delle bande d'ascolto: (F_1-F_2) , (F_2-F_3) , (F_3-F_4) , (F_4-F_5) , (F_5-F_6) , (F_6-F_7) , o più combinazioni di bande a piacere quali, ad esempio, (F_1-F_3) , (F_4-F_7) , ecc. Nell'ambito della banda di un filtro compresa, ad esempio, tra F_4 e F_5 il segnale di ingresso non viene attenuato, al di fuori di questa, invece, le tensioni sono attenuate oltre 1000 volte rispetto ai valori d'ingresso.

I filtri vengono selezionati dall'operatore dopo aver ascoltato, con ciascuno di essi, il rumore del bersaglio e deciso, in base all'esperienza, su quale banda si trova concentrata la maggior quantità del segnale emesso o su quale banda si possono ascoltare con più facilità certe caratteristiche frequenziali distintive quali, ad esempio, il timbro dovuto al tipo di propulsione.

Il secondo filtraggio che subisce il segnale idrofonico è affidato all'orecchio dell'operatore; questo si comporta in modo molto complesso e la sua azione di filtraggio, che viene poi tradotta come percezione dal cervello dell'uomo è dipendente dai valori delle frequenze ascoltate.

L'orecchio agisce come un filtro di banda la cui frequenza centrale si adatta automaticamente a quella del segnale che si sta ascoltando.

La banda di ascolto non è costante, ma varia con la frequenza ricevuta come è indicato nel grafico di Fig. 7.3.

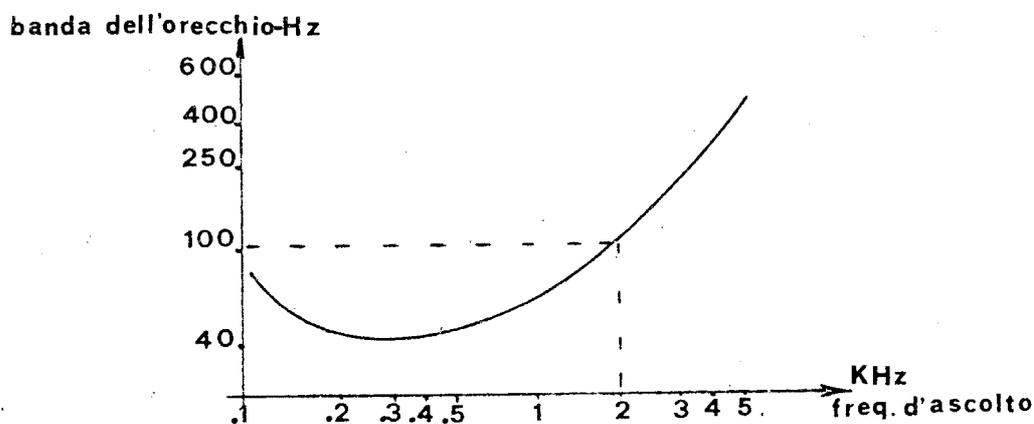


fig. 7.3 Caratteristica di ricezione dell'orecchio.

Dalla curva emerge chiaramente la capacità dell'orecchio a filtrare i disturbi che si scostano di poco dalla frequenza del segnale.

Esaminiamo ad esempio la caratteristica di filtraggio che si ottiene alla frequenza di 2000 Hz: si vede che, per tale frequenza, la larghezza di banda dell'orecchio diventa circa 100 Hz e la percezione dell'operatore si limita al campo di frequenze ampio un centinaio di Hertz attorno alla frequenza del segnale. Questa caratteristica dell'orecchio è utile tanto nella scoperta dei bersagli attivi che di quelli passivi; nel primo caso consente all'operatore di discriminare, in mezzo al disturbo, eventuali frequenze distintive emesse dal bersaglio, nel secondo caso consente di centrare, naturalmente, una ulteriore banda passante attorno alla frequenza dell'eco di ritorno.

7.3) Sistemi di rivelazione e filtraggio.

Il processo di rivelazione e filtraggio è uno dei mezzi con i quali si possono riconoscere, per via strumentale, i segnali idrofonici in mezzo al disturbo dell'ambiente subacqueo.

Con questo trattamento le tensioni idrofoniche subiscono una radicale trasformazione passando dalla forma a polarità casuale, positiva e negativa, alla forma a polarità determinata, sempre positiva, che consente, come ve-

dremo, una notevole riduzione degli inconvenienti provocati dal disturbo. Prima di procedere alla descrizione del processo di rivelazione è opportuno esaminare l'aspetto della tensione idrofonica presente all'uscita di un sommatore, quale ad esempio quello facente parte del sistema a compensatore descritto nel paragrafo 4.4.3; supponiamo di visualizzare, per un breve intervallo di tempo, su di un oscilloscopio, l'andamento di questa tensione: essa si presenta come indicato in Fig. 7.4.

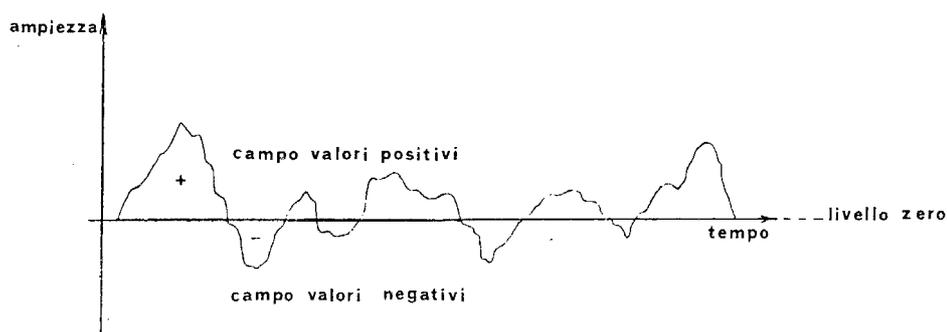


fig. 7.4 Generica forma d'onda all'uscita di un sommatore.

In tutti i casi di pratico impiego in questa tensione non è presente soltanto il segnale idrofonico, ma anche il disturbo inquinante, entrambi contenuti nella banda delle frequenze del sonar che è determinata dai filtri degli amplificatori collegati alla base ricevente. Questo tipo di tensione non è applicabile direttamente ad uno strumento indicatore dato che le ondulazioni dovute al cambiamento continuo di polarità producono una vibrazione abnorme nell'indice dello strumento; la lettura strumentale è resa possibile dopo il trattamento di rivelazione e filtraggio.

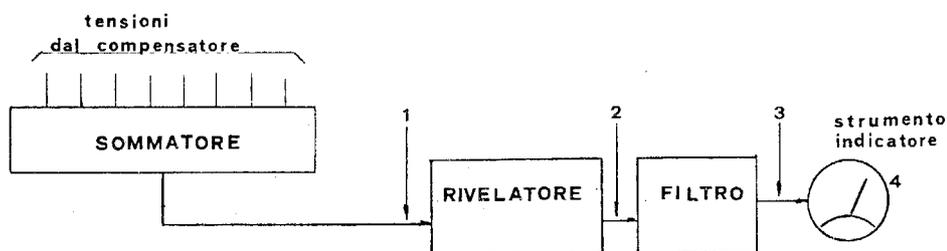


fig. 7.5 Circuito per la rivelazione visiva, con il compensatore, della presenza di un bersaglio attivo.

Descriviamo ora il sistema di rivelazione con l'aiuto della Fig. 7.5, in essa vediamo il sommatore collegato ad un blocco rivelatore seguito da un filtro e da uno strumento indicatore ad indice.

Se nella struttura mostrata effettuiamo dei rilievi oscilloscopici di breve durata nei punti indicati con i numeri 1, 2, 3, vediamo la trasformazione del segnale del sommatore, punto 1, nei segnali all'uscita del rivelatore, punto 2, e in quelli all'uscita del filtro, punto 3. Questi segnali sono tracciati in Fig. 7.6 e sono incolonnati per meglio evidenziarne le modificazioni.

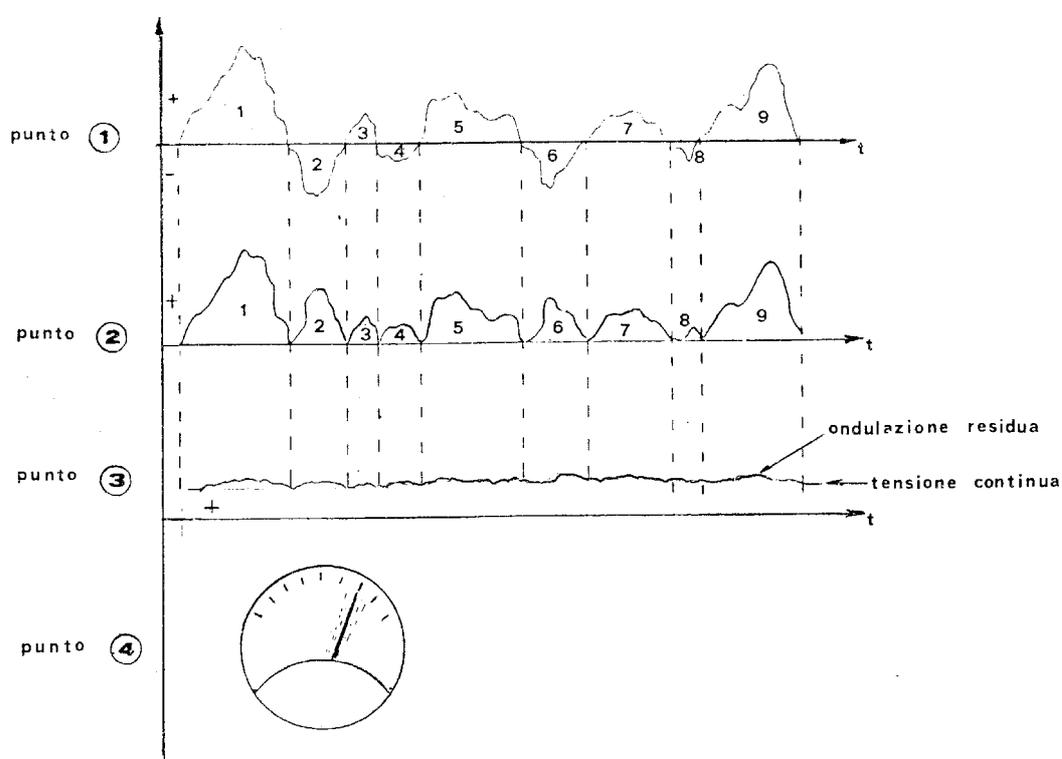


fig. 7.6 Funzionamento del rivelatore.

Dalla figura si osserva la trasformazione del segnale attraverso i successivi passaggi:

(punto 1) è indicata la tensione in uscita dal sommatore che ripete quella di figura 7.4. Questa tensione è applicata all'ingresso del rivelatore;
 (punto 2) è indicata la tensione in uscita dal rivelatore che è sempre a polarità positiva grazie al "ribaltamento", effettuato dal meccanismo di rivelazione, delle parti negative del segnale nel campo di quelle positive. Questa

tensione a picchi, se applicata ad un filtro adatto, è in grado di produrre alla sua uscita una tensione continua proporzionale all'ampiezza della tensione di ingresso al rivelatore;

(punto 3) è indicata la tensione in uscita dal filtro che è applicata allo strumento indicatore; questa è prodotta dal rivelatore ed è priva delle componenti oscillanti più marcate bloccate dall'azione del filtro, essa è formata da una tensione continua sopra la quale è presente un'ondulazione perturbante che dipende oltre che dal disturbo, anche dal segnale e dalle caratteristiche del filtro;

(punto 4) è indicato il posizionamento dell'indice dello strumento indicatore, dipendente dall'ampiezza della componente continua, con le oscillazioni dovute all'ondulazione residua.

La tensione all'uscita del filtro è formata da tre componenti; una componente continua dovuta al segnale, una componente continua dovuta al disturbo, una componente oscillante dovuta al segnale e al disturbo. Dimensionando opportunamente il filtro si può ottenere, alla sua uscita, una tensione continua praticamente priva delle componenti oscillanti, con la conseguente attenuazione della perturbazione che rende instabile la posizione dell'indice dello strumento indicatore.

Questa azione non elimina però la componente continua dovuta al disturbo, che è sempre presente assieme a quella dovuta al segnale.

Vediamo quali inconvenienti sono provocati dalla tensione continua dovuta al disturbo osservando il funzionamento complessivo del sistema compensatore, a cui è collegato il sommatore.

Supponiamo di dover determinare la direzione di un bersaglio posto a 45° con il metodo della massimizzazione della tensione di uscita del sommatore, cioè della tensione all'uscita del filtro, a cui deve corrispondere la massima elongazione dell'indice dello strumento indicatore.

Consideriamo due casi:

1) Caso ideale in assenza del disturbo: si osserva che all'uscita del filtro si ha, ruotando il compensatore, un massimo netto in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio e valori decrescenti molto piccoli per direzioni diverse da quelle del bersaglio (vedi Fig. 7.7/a).

L'indice dello strumento segue naturalmente l'andamento della tensione all'uscita del filtro che, non avendo la componente continua dovuta al disturbo, riproduce perfettamente l'andamento della caratteristica di direttività del sistema a compensatore. Dobbiamo notare infatti

che il grafico di Fig. 7.7/a altro non è che il lobo principale della caratteristica di direttività del sistema tracciato, per un breve settore angolare, su di una coppia di assi cartesiani, invece che nella consueta rappresentazione polare.

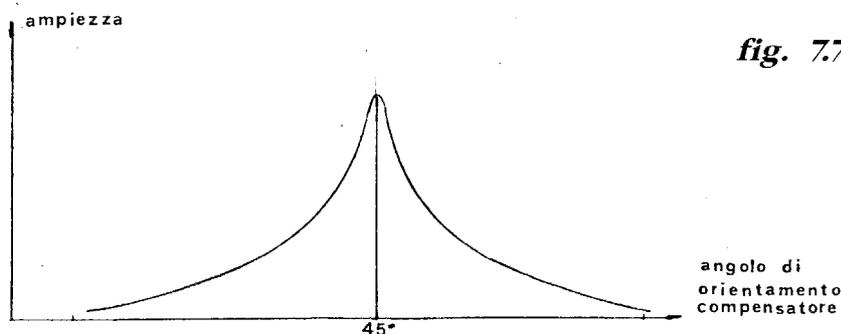


fig. 7.7/a Andamento della tensione all'uscita del filtro in assenza di disturbo.

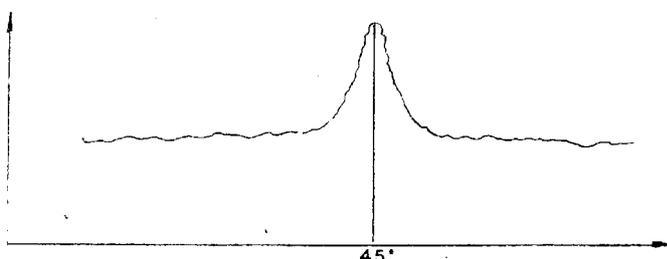


fig. 7.7/b Andamento della tensione all'uscita del filtro in presenza di disturbo

2) Caso di pratico impiego in presenza di disturbo: si osserva che all'uscita del filtro si ha, ruotando il compensatore, un massimo in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio e valori decrescenti, non più molto piccoli a causa della presenza della componente continua dovuta al disturbo (vedi Fig. 7.7/b). Infatti mentre la componente continua dovuta al segnale, in virtù della caratteristica di direttività, tende a ridursi a valori molto piccoli per le direzioni distanti dal bersaglio, la componente continua dovuta al disturbo resta inalterata e maschera la diminuzione dell'ampiezza della componente del segnale.

Dall'esempio fatto abbiamo visto qual è l'effetto del disturbo nel rivelatore, esso tende a comprimere le differenze tra il massimo e i minimi delle tensioni indicative dell'orientamento del compensatore, con l'aumento del disturbo queste differenze possono ulteriormente diminuire rendendo incerta l'operazione di orientamento.

Il rivelatore consente una buona indicazione strumentale per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo in tutti quei casi in cui quest'ultimo non sia eccessivo.

L'azione del filtro riduce drasticamente le oscillazioni dell'indice dell'indicatore e consente un ottimo apprezzamento dei massimi per l'orientamento del compensatore. Il rivelatore può essere applicato anche per l'indicazione strumentale nel procedimento di orientamento del compensatore con il metodo della differenza (vedi paragrafo 4.4.4): in questo caso è l'uscita del blocco differenza che viene collegata al rivelatore, i principi di funzionamento e i problemi relativi al disturbo restano quelli ora indicati. Il funzionamento dei rivelatori si presta in egual modo, vedi paragrafo 4.5, al riconoscimento dei segnali in mezzo al disturbo nei sistemi a fasci preformati e alla successiva presentazione sugli schermi video. In questo tipo di applicazione il funzionamento è identico a quello ora descritto e gli effetti del disturbo sono analoghi, essi si riflettono sull'aspetto delle tensioni a campana all'uscita degli interpolatori; anche in questo caso il disturbo provoca la riduzione del dislivello tra le cuspidi delle campane e le loro basi fino al punto, per disturbi molto elevati, di mascherare completamente la campana, in modo tale da rendere impossibile l'apprezzamento del suo massimo (vedi Fig. 7.8).

Nella figura sono mostrate le uscite di un sistema a fasci preformati che individua un bersaglio nella direzione 80° ; nella scansione (a) è dato il caso ideale in cui il disturbo sia assente, si vede che la tensione a campana ha un notevole dislivello tra culmine e base, nella scansione (b) è dato il caso di pratico impiego in presenza di un disturbo accettabile, si vede che il dislivello tra culmine e base è ridotto, ma ancora sufficiente per consentire la determinazione della posizione del culmine stesso. Nella scansione (c) è dato il caso di pratico impiego in cui il disturbo è molto forte e tale da ridurre, a limiti non più accettabili, le differenze tra culmine e base della campana.

I sistemi a rivelatore consentono comunque di riconoscere un segnale in mezzo al disturbo anche quando il segnale è sensibilmente più piccolo del disturbo.

È dimostrato che la capacità di riconoscimento dipende dalle caratteristiche del filtro in rapporto con la banda delle frequenze ricevute dal sonar, dipende inoltre dalla bontà dei circuiti elettronici che formano il sistema di rivelazione.

Il funzionamento dei rivelatori si presta ottimamente, nei sistemi a fasci preformati, al riconoscimento in mezzo al disturbo tanto degli echi dei bersagli, quando il sonar è in funzionamento attivo, quanto degli impulsi ricevuti dalla componente intercettatore.

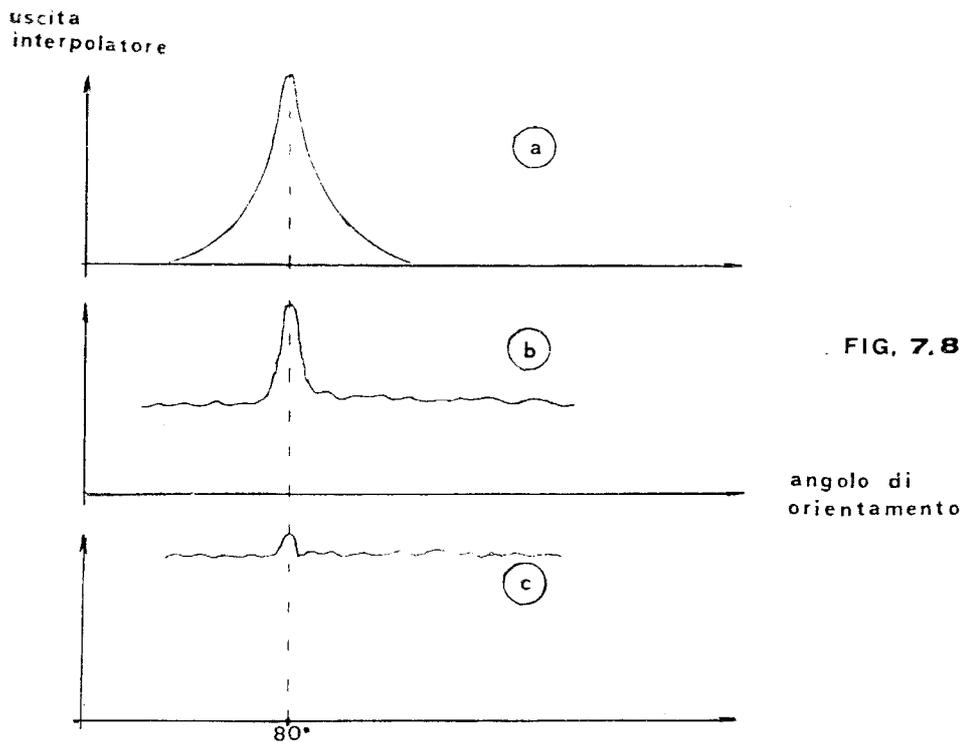


fig. 7.8 Tensione d'uscita interpolatore fasci preformati per tre diverse condizioni del disturbo.

7.4) Sistemi di correlazione.

7.4.1.) Principi basilari.

Il processo di correlazione è un mezzo molto valido di riconoscimento, per via strumentale, dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo dell'ambiente subacqueo. Con la correlazione le tensioni idrofoniche vengono trasformate dalla forma a polarità casuale, positiva e negativa, nella forma a polarità determinata, a volte positiva, a volte negativa, in dipendenza dalla "correlazione" esistente tra le tensioni.

A questo punto è opportuno spendere due parole per chiarire il concetto di correlazione, prima di iniziare la descrizione dei meccanismi che presiedono al riconoscimento del segnale.

La correlazione esprime il legame esistente fra due tensioni a polarità casuale, cioè la coincidenza, protratta nel tempo, delle polarità positive o negative dell'una con le polarità positive o negative dell'altra. Se la coincidenza delle

polarità delle due tensioni si verifica sempre, il grado di correlazione fra le tensioni è il massimo “positivo”, ciò indica che esse sono intimamente legate fra loro. Se la coincidenza delle polarità delle due tensioni non si verifica mai il grado di correlazione è il massimo “negativo”, ciò indica che due tensioni sono ancora legate tra loro ma attraverso uno spostamento nel tempo. Se la coincidenza delle polarità delle due tensioni si verifica per la metà del tempo e non si verifica per l'altra metà del tempo il grado di correlazione è nullo (si dice che le due tensioni sono incoerenti).

Naturalmente esistono dei gradi intermedi di correlazione tra le due tensioni dovuti a condizioni di parziali coincidenze di polarità tra esse.

Questi concetti mettono in luce un fatto molto importante; i segnali idrofonici provenienti dai vari sistemi di compensazione temporale (sistema a compensatore, sistema a fasci preformati) sono, per le direzioni orientate sul bersaglio, in coincidenza di polarità e hanno pertanto il massimo grado di correlazione. I disturbi dell'ambiente invece generano tensioni che hanno polarità non sempre coincidenti e hanno, nel tempo, correlazione bassa. Ciò significa che, se siamo in condizioni di poter valutare la correlazione esistente tra le tensioni idrofoniche inquinate dal disturbo, possiamo riconoscere il segnale dal disturbo in quanto il primo emerge sul secondo per il suo grado di correlazione.

7.4.2) Confronto tra i metodi di rivelazione e di correlazione.

Il confronto tra i due metodi di trattamento del segnale è necessario perché con esso si evidenziano le differenze circuitali che devono essere predisposte per il collegamento di un correlatore.

Il rivelatore è in grado di riconoscere il segnale dal disturbo nella tensione idrofonica presente all'uscita del sommatore, dato che il suo funzionamento non implica confronti delle polarità del segnale e quindi la singola uscita del sommatore è sufficiente allo scopo. Il correlatore invece ha bisogno di due tensioni sulle quali fare la valutazione delle coincidenze di polarità e pertanto non può essere collegato ad un singolo sommatore come nel caso del rivelatore. A questa situazione viene in aiuto il sistema dei sommatore parziali illustrato nel paragrafo 4.4.4.

Il sistema, riportato in figura 4.15/b, presenta le tensioni S e D alle due uscite dei sommatore parziali che per le loro caratteristiche si adattano perfettamente ad essere applicate ad un correlatore (vedi Fig. 7.9).

In figura sono disegnati entrambi i sistemi per il riconoscimento del segnale, rivelatore-filtro e correlatore, ciascuno di essi è collegato ad uno

strumento indicatore per l'orientamento del compensatore.
 In condizioni di pratico impiego le due tensioni S e D dei sommatore parziali di figura 7.9 sono composte da segnale e da disturbo e possono essere così analizzate: le parti delle due tensioni dovute al segnale, quando il compensatore è orientato sul bersaglio, sono coincidenti in polarità e il correlatore evidenzia sullo strumento indicatore il loro grado di correlazione (massimo). Quando il compensatore viene ruotato a sinistra o a destra, rispetto al bersaglio, non si ha più la coincidenza totale delle polarità tra i due segnali e per conseguenza il loro grado di correlazione, evidenziato dal correlatore, non è più massimo e si riduce tanto più quanto più l'orientamento del compensatore si allontana dal bersaglio.
 Il grado di correlazione del disturbo, facente parte delle tensioni S e D, valutato dal correlatore, risulta nullo se l'osservazione è protratta nel tempo.

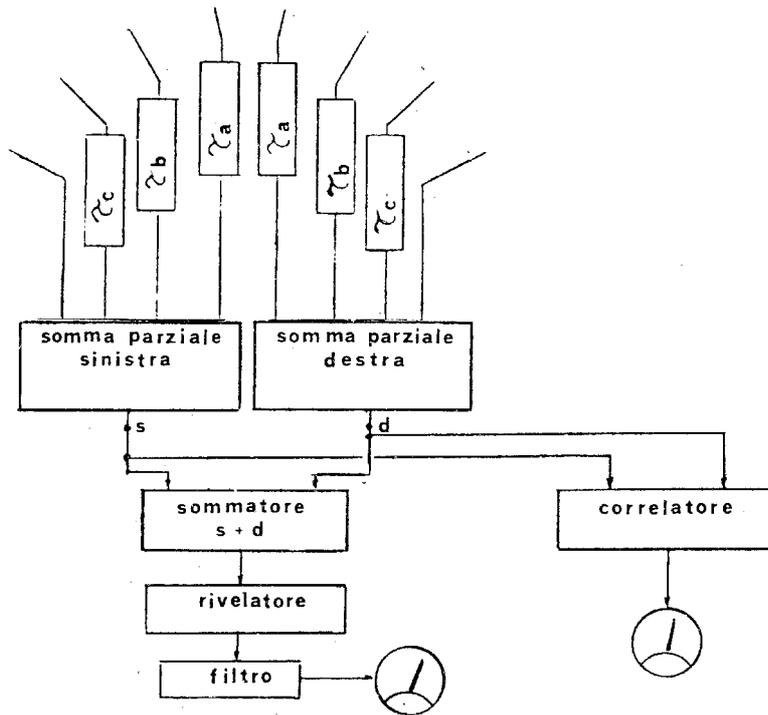


fig. 7.9 Circuito per la scoperta dei bersagli per correlazione.

7.4.3) Il correlatore analogico.

Il correlatore analogico è un dispositivo che effettua il calcolo del grado di correlazione tra due tensioni idrofoniche con operazioni di tipo algebrico. La struttura di un correlatore analogico, collegata ad uno strumento indicatore, è disegnata in Fig. 7.10, in essa si osserva un'apparente semplicità del sistema che è formato soltanto da due blocchi circuitali: il moltiplicatore e il filtro di uscita.

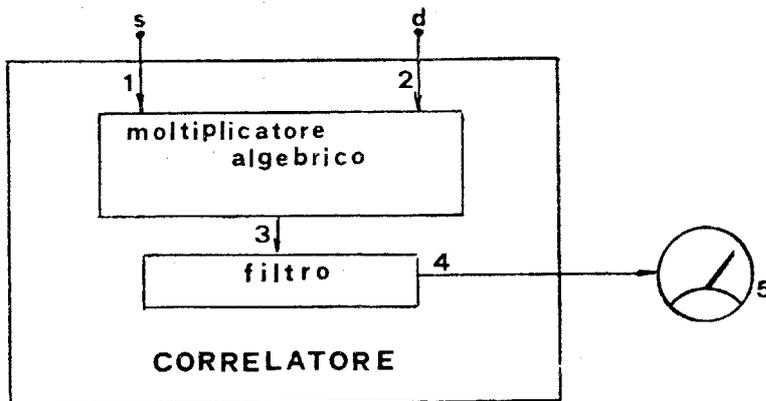


fig. 7.10 Circuito correlatore analogico.

In realtà il correlatore è tutt'altro che semplice perchè la funzione espressa dal blocco di moltiplicazione è una tra le più complesse e costose da realizzare con l'elettronica di tipo tradizionale; questo problema, però, non riguarda il funzionamento di insieme che ora ci accingiamo a descrivere.

Descriviamo il sistema di correlazione con l'aiuto della Fig. 7.10; su di esso ipotizziamo un certo numero di rilievi oscilloscopici, di breve durata, nei punti indicati con i numeri da 1 a 4. Le tensioni rilevate sono riportate nella serie dei grafici di Fig. 7.11 e sono relative a due segnali di ingresso S e D uguali tra loro (compensatore orientato sul bersaglio) e poco inquinati dal disturbo.

Dalla figura si osserva la trasformazione dei due segnali di ingresso attraverso i successivi passaggi:

(punti 1 e 2) sono indicate le due tensioni di ingresso, uguali, a polarità casuale positiva e negativa. Queste tensioni sono applicate al moltiplicatore; (punto 3) è indicata la tensione all'uscita del moltiplicatore che è, in que-

sto caso, sempre a polarità positiva a causa del prodotto algebrico tra tensioni che, nello stesso istante, hanno sempre identica polarità sia positiva che negativa. Questa tensione a picchi, se applicata ad un filtro adatto, è in grado di produrre, alla sua uscita, una tensione continua dipendente dalla correlazione esistente tra i due segnali all'ingresso del moltiplicatore;

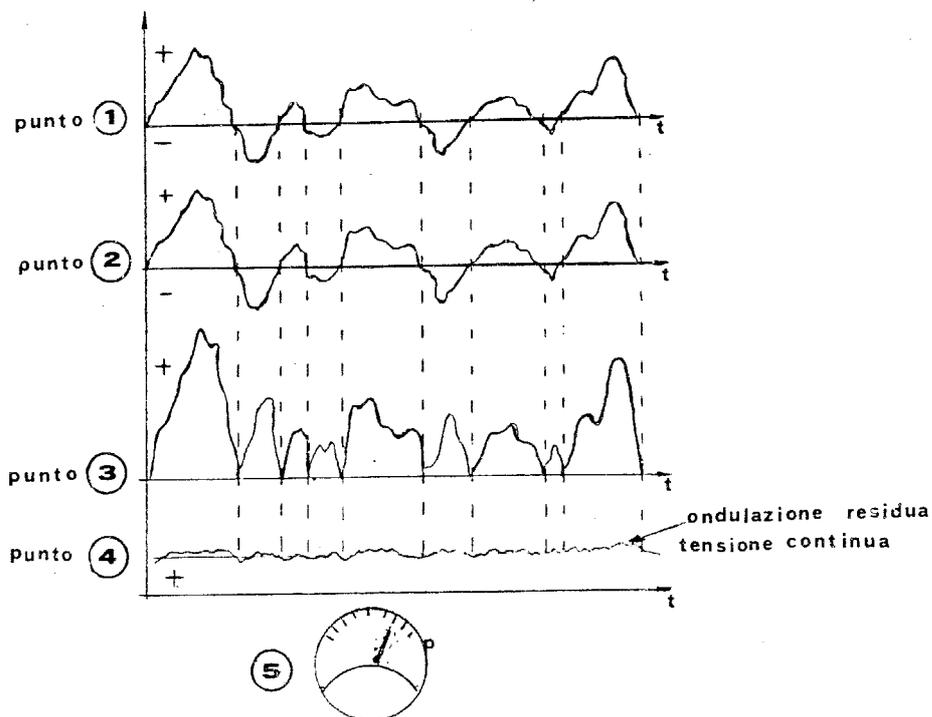


fig. 7.11 *Funzionamento del correlatore analogico.*

(punto 4) è indicata la tensione in uscita dal filtro che è applicata allo strumento indicatore, questa è prodotta dal moltiplicatore ed è priva delle componenti oscillanti più marcate, bloccate dall'azione del filtro; essa è formata da una componente continua sopra la quale è presente una ondulazione perturbante che dipende, oltre che dal segnale e dal disturbo, anche dalle caratteristiche del filtro;

(punto 5) è indicato il posizionamento dell'indice dello strumento indicatore, dipendente dall'ampiezza della componente continua con le oscillazioni dovute all'ondulazione residua.

In uscita dal filtro la componente continua è dovuta al grado di correla-

zione dei segnali di ingresso, quella oscillante al segnale e al disturbo. Dimensionando opportunamente il filtro si può ottenere, alla sua uscita, una tensione continua poco affetta dall'ondulazione perturbante che rende instabile l'indice dello strumento indicatore.

Il correlatore, diversamente dal rivelatore, non produce tensione continua dipendente dal disturbo se questo è incoerente, ed è per ciò che è ritenuto un mezzo più valido del rivelatore. In quest'ultimo infatti la tensione continua dovuta al disturbo rende più incerto l'orientamento del compensatore.

Se i segnali di ingresso al correlatore non sono perfettamente uguali in ampiezza e polarità istantanee, caso del compensatore non orientato sul bersaglio, si ha un diverso aspetto dei prodotti delle due tensioni. Questi non sono più tutti positivi, ma possono essere anche negativi, con la conseguenza che la tensione all'uscita del filtro assume valori inferiori al caso precedente.

Vediamo qual è l'inconveniente causato dall'ondulazione dovuta al disturbo, osservando il funzionamento complessivo del correlatore collegato, tramite i sommatori parziali, al compensatore. Supponiamo di dover determinare la direzione di un bersaglio posto a 60° mediante l'osservazione del grado di correlazione dei segnali indicato dallo strumento ad indice. Consideriamo due casi:

- 1) Caso ideale in assenza di disturbo: si osserva che all'uscita del correlatore si ha, ruotando il compensatore, un massimo netto in corrispondenza della coincidenza tra l'asse del fascio e la direzione del bersaglio: cioè le polarità delle tensioni all'uscita dei sommatori parziali coincidono e si ha il massimo grado di correlazione. Per direzioni che a mano a mano si scostano da quella del bersaglio si hanno valori di uscita decrescenti, cioè le polarità delle tensioni all'uscita dei sommatori parziali non coincidono più in grande numero ed il grado di correlazione diminuisce; questo andamento è mostrato in Fig. 7.12/a.
- 2) Caso di pratico impiego in presenza di disturbo: si osserva che all'uscita del correlatore si ha, ruotando il compensatore, un massimo con ondulazioni perturbanti in corrispondenza della direzione del bersaglio e valori decrescenti, simili al primo caso, ma affetti da sensibili ondulazioni dovute al disturbo; questo andamento è mostrato in Fig. 7.12/b.

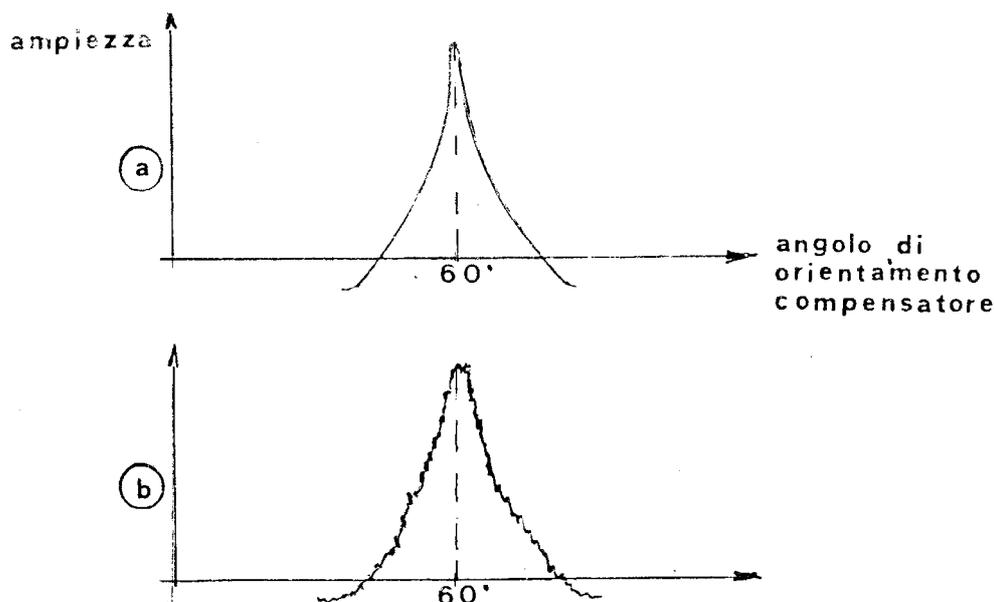


fig. 7.12 Andamento della tensione all'uscita di un correlatore analogico.

Se il disturbo aumenta aumentano le ondulazioni sovrapposte alla tensione continua che indica il grado di correlazione dei due segnali idrofonici. L'aumento delle ondulazioni tende a mascherare la correlazione rendendo incerta l'operazione di orientamento del compensatore.

Tuttavia il correlatore consente un'ottima indicazione strumentale per il riconoscimento del segnale in mezzo al disturbo, anche in condizioni di disturbo molto elevato.

Il funzionamento dei correlatori si presta anche al riconoscimento dei segnali in mezzo al disturbo nei sistemi a fasci preformati e alla successiva presentazione sugli schermi video.

Questo tipo di applicazione rende necessario lo sdoppiamento di ciascun sommatore del sistema a fasci; vedi paragrafo 4.5. Ad ogni sommatore vengono sostituiti due sommatore parziali per ottenere, su ciascun fascio preformato, le due tensioni idrofoniche per il collegamento con il correlatore. In questo tipo di applicazione il funzionamento dei correlatori è identico a quello poc'anzi descritto e gli effetti del disturbo sono analoghi e si ripercuotono sulle forme delle tensioni a campana all'uscita degli interpolatori. I correlatori consentono di riconoscere un segnale in mezzo al disturbo anche quando il segnale è molto più piccolo del disturbo.

È dimostrato che la capacità di riconoscimento dipende dalle caratteristi-

che del filtro di uscita del correlatore in rapporto con la banda delle frequenze ricevute dal sonar.

7.4.4) Il correlatore digitale.

Il correlatore digitale è un ottimo sostituto del correlatore analogico ed ha su quest'ultimo vantaggiosi rapporti efficacia/costo ed efficacia/ingombro. Il problema del costo e dell'ingombro è molto importante nella realizzazione di sistemi a fasci preformati che in alcuni casi, per apparecchiature molto sofisticate, richiedono centinaia di correlatori.

La ragione del basso costo e del modesto ingombro risiede nel fatto che il correlatore digitale è realizzabile con componenti elettronici digitali molto piccoli ed estremamente economici.

Le prestazioni del correlatore digitale sono leggermente inferiori a quelle di un correlatore analogico, ma la sua semplicità lo rende competitivo. La struttura di un correlatore di questo tipo è mostrata in Fig. 7.13, essa è formata da due blocchi di limitazione dei segnali di ingresso, da un moltiplicatore logico e da un filtro di uscita.

Le tensioni di ingresso S e D si suppongono provenienti dai sommatori parziali collegati al compensatore come in Figura 7.9.

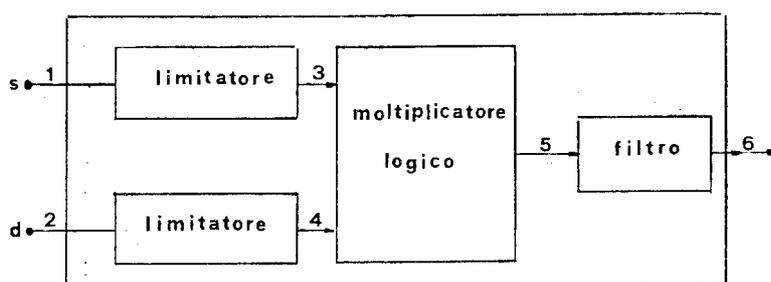


fig. 7.13 Circuito correlatore digitale.

Descriviamone il funzionamento con l'aiuto della figura 7.14 in cui sono indicate le forme d'onda presenti nei punti indicati da 1 a 6 nel caso in cui il compensatore non sia ben orientato sul bersaglio.

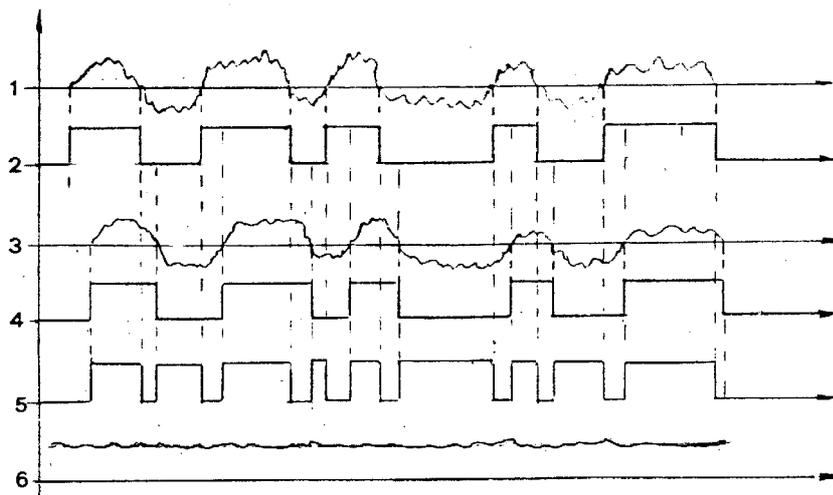


fig. 7.14 *Funzionamento del correlatore digitale.*

Dalla figura 7.14 si osserva la trasformazione dei segnali di ingresso attraverso i successivi passaggi:

(punti 1 e 2) sono indicate le due tensioni di ingresso a polarità casuale inquinate dal disturbo ambiente. Queste tensioni sono applicate ai due limitatori;

(punti 3 e 4) sono indicate le tensioni presenti all'uscita dei due limitatori, esse sono a polarità casuale e ripetono la polarità dei segnali di ingresso, ma non ripetono l'ampiezza originale che viene modificata con dei livelli costanti positivi in corrispondenza delle polarità positive, con dei livelli costanti nulli in corrispondenza delle polarità negative;

(punto 5) è indicata la tensione impulsiva all'uscita del moltiplicatore logico; questa tensione è positiva in corrispondenza della coincidenza della polarità delle tensioni dei limitatori ed è zero quando le polarità non coincidono.

La sequenza degli impulsi, se applicata all'apposito filtro, produce alla sua uscita una tensione continua dipendente dalla correlazione esistente tra i due segnali di ingresso al moltiplicatore digitale;

(punto 6) è indicata la tensione in uscita dal filtro, questa è il risultato dell'azione di blocco del filtro sulla sequenza degli impulsi di uscita del moltiplicatore, è formata da una componente continua, dovuta al grado di cor-

relazione dei segnali, sopra la quale è sovrapposta una ondulazione perturbante che dipende, oltre che dal segnale e dal disturbo, anche dalle caratteristiche del filtro (in questo caso la tensione in uscita dal filtro non raggiunge il massimo valore).

Se il compensatore è orientato perfettamente sul bersaglio e il disturbo è modesto, la tensione impulsiva, in uscita dal correlatore, è quasi sempre positiva a meno di alcuni brevi istanti in cui cade a livello zero a causa del disturbo. In questo caso la tensione continua all'uscita del filtro (punto 6) è praticamente massima. Per quanto visto possiamo dire che il comportamento del correlatore digitale, al variare della posizione del compensatore rispetto al bersaglio, è simile a quello del correlatore analogico. Il disturbo produce invece un effetto diverso da quello prodotto nel correlatore analogico a causa della mancata coincidenza di polarità tra le due tensioni anche quando il compensatore è orientato perfettamente sul bersaglio. In conseguenza di ciò la tensione all'uscita del filtro tende a diminuire in ampiezza, vedi Fig. 7.15 e al limite, per valori elevati del disturbo, si ha il suo annullamento in mezzo ad esso.

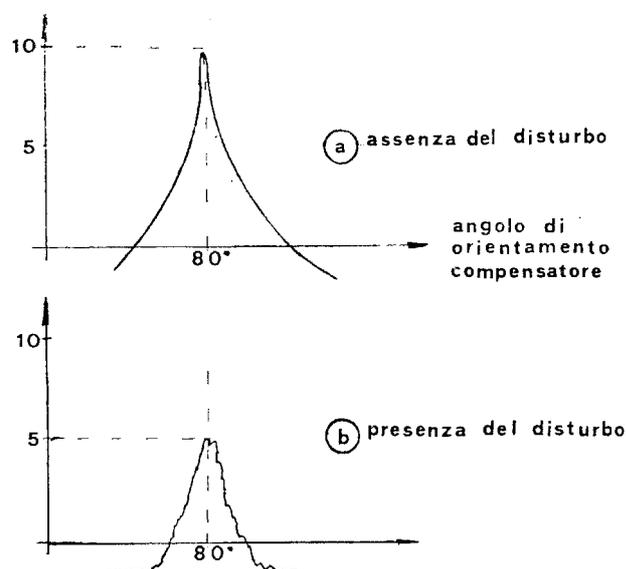


fig. 7.15 Andamento della tensione all'uscita di un correlatore digitale.

7.4.5) L'anticorrelatore.

Con questo termine si definisce uno speciale correlatore che valuta il grado di massima correlazione tra due segnali fornendo in uscita una tensione nulla, invece che una tensione massima come nel correlatore normale.

Questa caratteristica, di cui vedremo l'importanza, è ottenuta con la disposizione circuitale di fig. 7.16.

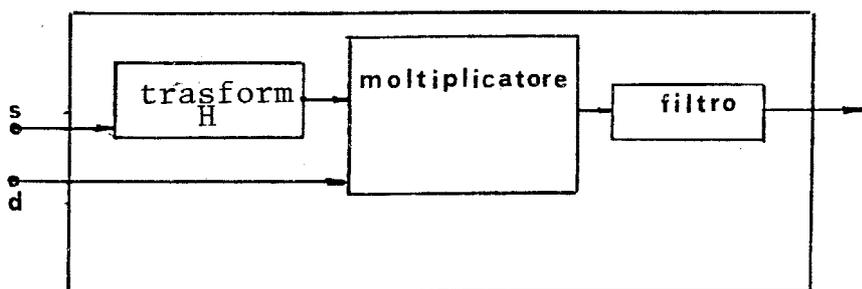


fig. 7.16 Circuito dell'anticorrelatore

Nella figura si vede lo schema a blocchi di un correlatore analogico, che ha in serie ad uno dei due ingressi uno speciale dispositivo in grado di provocare, su tutte le frequenze che compongono il segnale di ingresso, una particolare trasformazione (H).

Il funzionamento di questo dispositivo, nel contesto di tutto il circuito, è complesso e non è utile descriverlo; è interessante invece esaminare l'applicazione che ha una notevole importanza operativa nel funzionamento del sonar.

L'anticorrelatore, come il correlatore, deve essere adattato alle caratteristiche dei segnali di ingresso; questi possono essere o tensioni idrofoniche o tensioni dovute all'eco del bersaglio. Per ottimizzare il circuito al tipo del segnale si deve dimensionare opportunamente il filtro d'uscita; per le tensioni idrofoniche è richiesto un filtro la cui struttura consente di attenuare notevolmente l'effetto del disturbo, per le tensioni d'eco è richiesto un filtro che invece ha poca efficacia nell'attenuazione del disturbo.

La capacità di detezione del sistema è perciò meglio utilizzabile nella localizzazione dei bersagli attivi.

L'anticorrelatore è collegato al sistema a compensatore nello stesso modo in cui è collegato il correlatore (vedi Fig. 7.17).

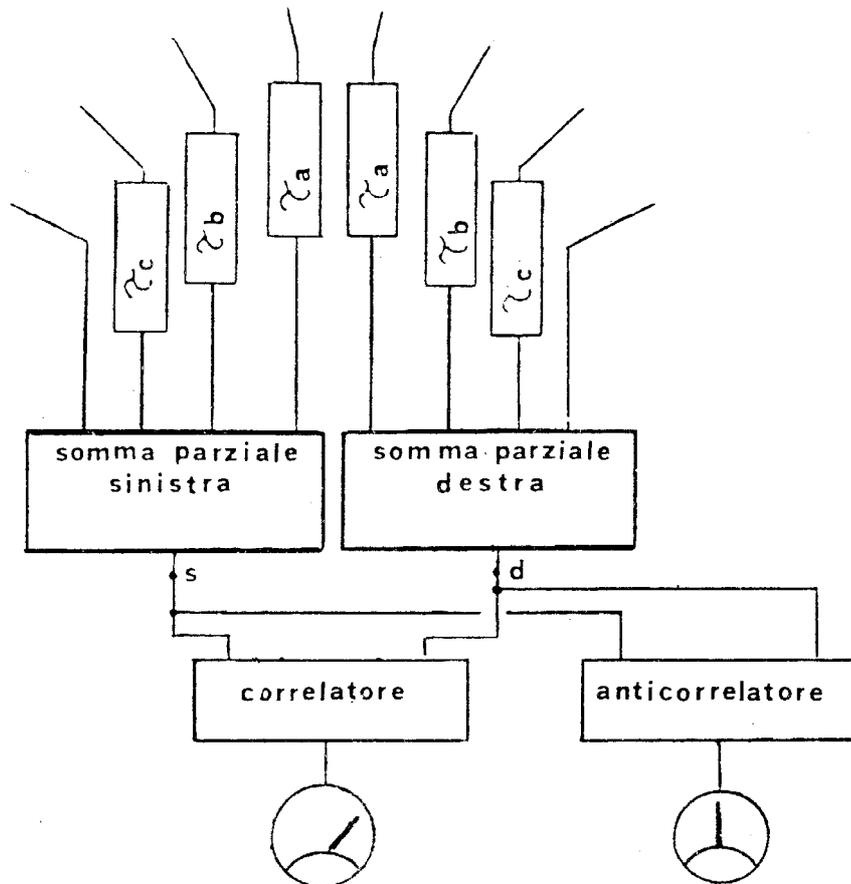


fig. 7.17 Impiego del correlatore e dell'anticorrelatore nel sistema di puntamento a compensatore.

Esso manifesta la sua utilità in virtù dell'andamento della tensione d'uscita che, come abbiamo detto, è nulla quando quella del correlatore è massima. In Fig. 7.18 sono riportate le curve che mostrano come variano le tensioni all'uscita del correlatore e dell'anticorrelatore quando l'orientamento del compensatore varia da una parte all'altra rispetto alla direzione del bersaglio.

La curva a) mostra che la tensione del correlatore è massima quando il compensatore è orientato sul bersaglio, essa decresce per orientamenti diversi.

Nella curva b) si vede che la tensione dell'anticorrelatore è nulla quando il compensatore è orientato sul bersaglio; essa cresce verso i valori positivi quando l'orientamento del compensatore si sposta a sinistra del bersaglio, mentre decresce verso i valori negativi quando il compensatore si sposta a destra del bersaglio.

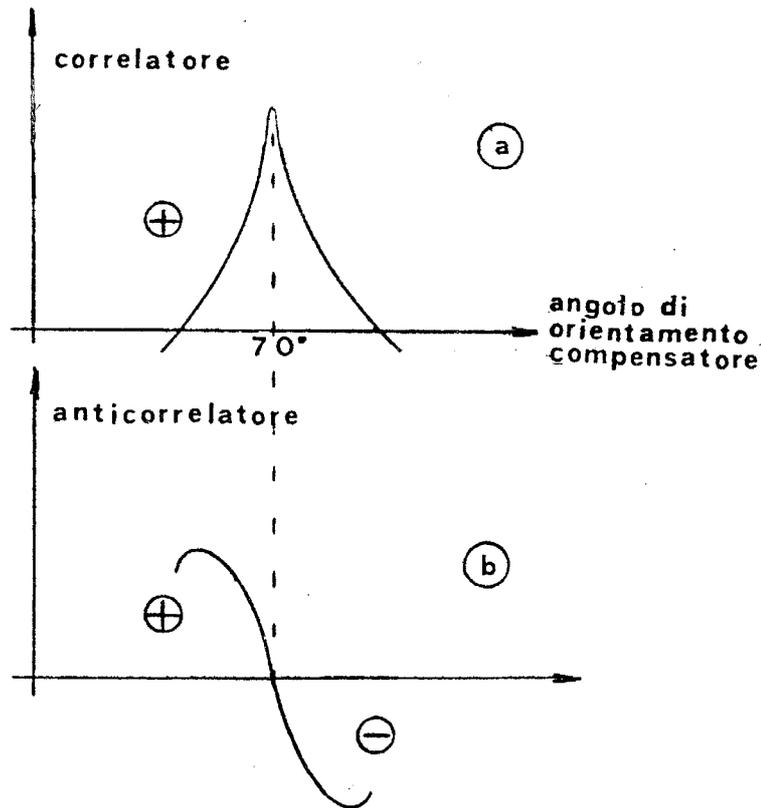


fig. 7.18 Andamento delle tensioni d'uscita del correlatore e dell'anticorrelatore.

Se quando il compensatore è orientato sul bersaglio, questo varia la sua direzione a destra o a sinistra, la tensione del correlatore decresce nello stesso modo tanto che lo spostamento sia a destra che a sinistra e non fornisce indicazione del senso di spostamento. La tensione dell'anticorrelatore invece, quando il bersaglio si sposta a destra, va verso i valori positivi, mentre quando si sposta verso sinistra, va verso i valori negativi. Questa caratteristica fornisce all'operatore un'indicazione immediata delle inversioni di direzione del bersaglio.

L'anticorrelatore consente il riconoscimento dei segnali idrofonici in mezzo al disturbo come il correlatore, ma non è preposto a sostituirlo, ne rappresenta invece un ausilio in fase di misura della direzione e di controllo del comportamento del bersaglio.

7.4.6) Osservazioni sull'impiego dei metodi di correlazione.

I metodi di correlazione che sono stati esaminati possono essere applicati con successo anche nel funzionamento della componente attiva e dell'in-

tercettatore del sonar. Naturalmente, nel caso di riconoscimento di impulsi, l'indicazione strumentale delle tensioni di correlazione non può essere eseguita con indicatori ad indice, dato che la loro inerzia non consente di seguire gli impulsi di tensione di breve durata.

La correlazione viene impiegata nei sistemi a fasci preformati della componente attiva e dell'intercettatore; i correlatori impiegati per questi scopi hanno particolari filtri di uscita che si adattano alle caratteristiche degli impulsi ricevuti. Anche in questo caso sono necessari gli sdoppiamenti dei sommatore dei fasci per consentire il collegamento dei correlatori.

Con un sistema a compensatore collegato ad un anticorrelatore si possono visualizzare su di un piccolo schermo di tipo televisivo gli impulsi ricevuti dal sonar, tanto l'eco dei bersagli quanto gli impulsi intercettati, per seguire i movimenti del bersaglio e stabilire rapidamente, come nel caso citato nel paragrafo 7.4.5, se esso cambia direzione.

Per illustrare questa tecnica nella Fig. 7.19 (a, b, c) sono mostrati, sull'apposito schermo, i diversi casi che si possono presentare all'operatore dopo aver orientato il compensatore sul bersaglio:

a) Se il bersaglio resta fermo l'ampiezza dell'impulso presentato sullo schermo è nulla.

b) Se il bersaglio si sposta sulla destra rispetto alla direzione puntata dal compensatore, si ha la comparsa di un impulso sulla parte destra, rispetto alla mezzeria dello schermo.

c) Se il bersaglio si sposta sulla sinistra, rispetto alla direzione puntata dal compensatore, si ha la comparsa di un impulso sulla parte sinistra dello schermo.

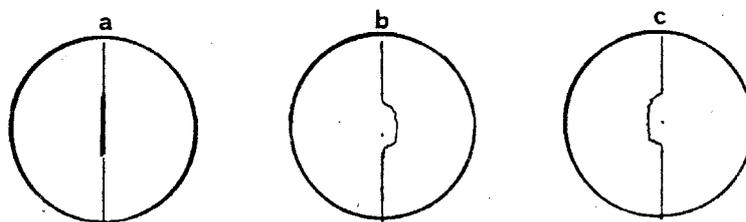


fig. 7.19 Presentazione degli impulsi d'eco elaborati da un anticorrelatore.

È interessante osservare che con questo metodo si possono rilevare pic-

coli scostamenti angolari del bersaglio rispetto ad un rilevamento effettuato in precedenza.

7.4.7) Il Differenziale di riconoscimento

La capacità di detezione di tutti i sistemi per la rivelazione dei segnali idrofonici o degli echi dei bersagli va sotto la dizione di “Differenziale di Riconoscimento”.

Questo termine viene comunemente impiegato per definire la “bontà” dei vari dispositivi delegati alla scoperta del segnale, siano essi caratterizzati da mezzi di ascolto diretto dei rumori o degli echi dei bersagli che da più complessi dispositivi di elaborazione del segnale.

Il Differenziale di Riconoscimento è espresso mediante un numero che è tanto più piccolo quanto sono migliori le caratteristiche del dispositivo di rivelazione del segnale; esso esprime infatti il rapporto tra il minimo segnale che può essere rivelato dal dispositivo e il rumore perturbante che tende a mascherare il segnale stesso.

Un esempio può servire a chiarire preliminarmente il concetto: si supponga che agli ingressi del correlatore digitale descritto al paragrafo 7.4.4 sia presente un segnale idrofonico di ampiezza 1 ed un rumore perturbante di ampiezza 5 quando il compensatore è perfettamente orientato sul bersaglio; si supponga altresì che in questa condizione la tensione continua all’uscita del filtro sia nettamente evidenziata anche se resa un poco ondulante a causa del rumore; in questo caso si potrà dire che il Differenziale di Riconoscimento è uguale ad $1/5$, cioè 0,2.

Se il correlatore fosse in grado di discriminare con la stessa facilità un segnale di livello inferiore al precedente, supponiamo 0,5 a parità di livello di rumore di 5, il Differenziale di Riconoscimento sarebbe $0,5/5$ cioè 0,1. I concetti sopra esposti devono però essere ampliati per poter esprimere più correttamente il vero significato della dizione Differenziale di Riconoscimento; infatti il numero che lo esprime, dipendente dal rapporto tra il livello del segnale e del disturbo, è inoltre intimamente legato, sia alla “probabilità” che il bersaglio possa essere realmente scoperto orientando il compensatore, sia alla “probabilità” che a causa del rumore venga visto un bersaglio dove in realtà non c’è.

In altri termini, quando viene definito il valore numerico del Differenziale di Riconoscimento devono essere fissate, sia la percentuale di probabilità con cui si vuole scoprire il bersaglio, sia la percentuale di probabilità che le ondulazioni della tensione d’uscita del correlatore possano ingannare

l'operatore facendogli vedere un bersaglio quando questo non è presente. Un nuovo esempio può infine chiarire la globalità del concetto: se supponiamo che all'ingresso del correlatore digitale il segnale idrofonico sia a livello 1 e il rumore perturbante a livello 5 e che in tali condizioni si possa scoprire il bersaglio per l'80% del tempo di osservazione e che in tale tempo la percentuale delle false indicazioni di bersaglio sia del 5% si dirà che il dispositivo di rivelazione ha un Differenziale di Riconoscimento di 0,2 sotto condizione dell'80% di scoperta e del 5% di false acquisizioni. Condizione che implica che per il restante 15% del tempo il correlatore non consente nè la scoperta nè le false acquisizioni.

La caratteristica dei sistemi di rivelazione che abbiamo ora definito rappresenta uno dei fattori fondamentali che determinano la capacità operativa del sonar.