



Università degli Studi di Pisa

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in

Ingegneria delle Telecomunicazioni

Tesi di Laurea

Radar di Scoperta di Superficie RAN 30X

Il Candidato
Mario Massari

I Relatori
Prof. Ing. Enzo Dalle Mese
Prof. Ing. Fabrizio Berizzi
Ing. Marco Tarantino

Anno Accademico 2003 - 2004

INDICE

1	Introduzione.....	5
2	Il RAN 30X.....	6
3	Modalità operative.....	7
4	Architettura di sistema.....	10
4.1	Antenna Group (AG).....	11
4.2	Safety Switch (SU).....	12
4.3	Antenna Servo Unit (ASU).....	12
4.4	Transmitter Unit (TXU).....	13
4.5	Front End Receiver (FER).....	14
4.6	Receiver Unit (RXU).....	15
4.7	Local Control Panel (LCP).....	21
4.8	Remote Control Panel (RCP).....	22
4.9	Power Distribution Unit (PDU).....	22
4.10	Safety Pressurizer Unit (SPU).....	22
4.11	Software Control Module (SCM).....	23
5	Funzioni del Data Processor.....	24
5.1	Conversione A/D e demodulazione in banda base.....	24
5.2	AFS (Automatic Frequency Selection).....	25
5.3	AGC (Automatic Gain Control).....	27
5.4	Compensazione moto nave.....	28
5.5	Compressione digitale del segnale.....	30
5.6	Stima real time dei parametri caratteristici del clutter.....	33
5.7	Legge STC.....	33
5.8	Elaborazione coerente del segnale tramite filtraggio doppler (AMTD)..	36
5.9	Elaborazione incoerente.....	37
5.10	Processo di detezione del segnale a valle della integrazione.....	37
5.11	Ricostruzione video e sincronismi di presentazione.....	38
5.12	Recording.....	39
5.13	Plot extraction.....	39

INDICE

5.14 Temporizzazione dell'apparato e gestione interfacce.....	49
5.15 Gestione BIT.....	50
5.16 Naval Tracking Unit (NTU).....	51
6 Funzioni di classificazione del bersaglio.....	57
6.1 Range Profile.....	57
6.2 ISAR.....	60
6.3 Modulo aggiuntivo KRINA.....	62

APPENDICI

A) Filtraggio α/β	64
B) Stadi di amplificazione.....	66

Desidero ringraziare:

L'Ingegnere Marco Tarantino per la disponibilità ed i preziosi consigli elargitimi durante la stesura della tesi

I miei colleghi di lavoro che mi hanno sostenuto ed hanno sopportato le mie frequenti assenze dall'Ufficio (un'occasione per tenermi lontano?)

Natalia, cuscinetto tra il mio stress ed il resto del mondo

mio Padre e mia Madre che hanno saputo comunicarmi l'importanza di questo obiettivo senza farmene avvertire il peso.

1 Introduzione

La finalità del presente lavoro è quella di fornire una panoramica sul funzionamento dei radar di scoperta di superficie attualmente in esercizio, e si è preso come esempio il RAN 30X, radar prodotto da AMS ed impiegato a bordo delle unità della Marina Militare.

Il RAN possiede tutte le caratteristiche che si è ritenuto di maggior rilievo citare nella descrizione di un sistema di ultima generazione, e tra queste è stata dedicata un'attenzione particolare alle funzioni di elaborazione digitale del segnale, dalla conversione A/D su portante alle logiche di estrazione di plot ed alle tecniche di imaging range-profile ed ISAR.

Al fine di rendere il lavoro più completo si è ritenuto necessario aggiungere, in appendice, una descrizione dei principi fisici di funzionamento dei più comuni amplificatori per radar, un accenno alle prospettive rese disponibili dalla tecnologia attuale nei metodi di amplificazione ed una breve descrizione del filtraggio α/β , logica molto diffusa negli algoritmi di tracking.

2 II RAN 30X

Il RAN30X/I è un radar in banda India per uso navale, le sue dimensioni sono tali da consentire l'installazione a bordo di unità di piccolo e medio tonnellaggio sulle quali viene impiegato rispettivamente come sensore primario o secondario.

Può lavorare in polarizzazione orizzontale, tipica nell'impiego navale in quanto consente una migliore soppressione del clutter di mare, o circolare vantaggiosa in termini di riduzione dei disturbi legati alle condizioni atmosferiche.

La commutazione tra le due viene effettuata da un dispositivo posto all'interno dell'antenna.

A seconda della modalità operativa richiesta è possibile selezionare due diversi diagrammi di irradiazione: un "*pencil beam*", per le modalità che necessitano di alti guadagni o il "*Cosec²*", utilizzato, ad esempio, nella sorveglianza aerea.

Al posto della convenzionale integrazione MTI viene impiegato un banco di filtri MTD (Moving Target Detection) che oltre a garantire un miglioramento del rapporto segnale-rumore, dovuto alla loro forma più idonea alla reiezione del clutter, consentono la determinazione della velocità radiale del bersaglio.

Qualora la banda utilizzata dovesse risultare particolarmente disturbata il RAN30X è dotato di una funzione di "*Authomatic Frequency Selection*" (AFS), che dopo una analisi spettrale decide su quali frequenze proseguire la trasmissione.

L'orizzonte radar può presentare zone di clutter con intensità fortemente diversificata, considerando il vincolo di mantenere costante la probabilità di falso allarme (Costant False Alarm Ratio CFAR) si ottiene un innalzamento delle soglie di scoperta anche nei settori liberi. Il problema viene risolto tracciando mappe di clutter costantemente aggiornate e sulla base di queste impostando un'opportuna soglia adattiva.

3 Modalità operative

L'unità militare assume sempre più la caratteristica nave multi-purpose, cioè di poter essere impiegata in situazioni tra di esse fortemente diversificate, nasce perciò l'esigenza di impiegare sistemi estremamente flessibili in grado di offrire prestazioni soddisfacenti nella detezione delle più diverse tipologie di bersaglio. Il RAN 30 X nasce per soddisfare le seguenti esigenze operative:

- capacità di scoperta sia di mezzi navali con ampie superfici radarabili che di piccole imbarcazioni immerse nel clutter
- Scoperta e controllo di elicotteri cooperanti
- capacità di sfruttamento dell'effetto condotto
- capacità di scoperta di bersagli aerei e missilistici anche a bassa quota
- fornitura di un ausilio alla navigazione anche in acque ristrette e della relativa capacità di anticollisione.

Il requisito viene soddisfatto definendo delle modalità operative, ognuna delle quali è studiata per ottimizzare il comportamento del radar, per ognuna delle esigenze operative appena elencate.

Il RAN 30 X ha quattro modalità operative che vengono ottenute accorpono opportunamente un set fisso di parametri funzionali:

- Velocità di rotazione dell'antenna
- diagramma d'irradiazione dell'antenna
- forme d'onda trasmesse
- frequenze di trasmissione
- portata elaborabile
- processing.

Modo 1: Sorveglianza di superficie

Questo modo operativo viene utilizzato sia nella scoperta di bersagli caratterizzati da basso coefficiente di riflessione, ad esempio elicotteri in transito o piccoli bersagli di superficie, che per la sorveglianza aerea.

Impostando una velocità di rotazione dell'antenna media ed il diagramma d'irradiazione con apertura in elevazione maggiore, il dwell time (permanenza del lobo sul bersaglio) avrà una durata considerevole e l'integrazione avverrà

su un numero molto elevato di ritorni radar.

La forma d'onda utilizzata è un treno di impulsi lunghi codificati NLFM (Non Linear Frequency Modulation), in modo tale che, a fronte di una diminuzione della capacità risolutiva in distanza, la sua elevata energia garantisca la scoperta anche a range molto elevati.

La trasmissione avviene in agilità di frequenza da pacchetto a pacchetto ed il segnale ricevuto viene processato dal banco di filtri MTD (Moving Target Detection).

Modo2: Navigazione e controllo elicotteri

modalità utilizzata nella navigazione in acque ristrette ed il controllo degli elicotteri in appontaggio, i bersagli presentano quindi un alto coefficiente di riflessione. L'orizzonte radar deve essere aggiornato molto frequentemente per cui l'antenna viene fatta ruotare alla massima velocità con il diagramma d'irradiazione cosec^2 . Vengono impiegati impulsi cortissimi non codificati per aumentare la capacità di risoluzione in distanza, con agilità di frequenza da impulso ad impulso, il segnale ricevuto viene elaborato mediante una integrazione non coerente.

Modo3: Sorveglianza OTH (Over The Horizon)

Questa modalità consente la scoperta alla massima distanza sfruttando l'effetto condotto, la velocità di rotazione dell'antenna viene impostata al valore minimo ed il diagramma utilizzato è di tipo *pencil beam*. Viene adottato un impulso lungo ad alto contenuto energetico inserito in treni di impulsi coerenti e l'integrazione MTD.

Lo stagger della PRF, che consiste nell'effettuare una doppia battuta a PRF diverse e verificare quale delle due coppie di bersagli di prima e di seconda traccia correla, garantisce la risoluzione dell'ambiguità in distanza.

Modo4: Anti-missile

I bersagli sui quali è stata strutturata questa modalità sono caratterizzati da velocità molto elevate e bassissimo RCS, è quindi necessario utilizzare la massima velocità di rotazione dell'antenna, in modo da avere un data-rate

molto elevato, il diagramma di irradiazione è di tipo *pencil-beam*.

L'impulso utilizzato è di tipo corto codificato NLFM ed in ricezione viene compresso digitalmente ed inviato al banco di filtri AMTD, in modo tale che si separino le risposte dei bersagli veloci da quelle indesiderate di clutter.

Successivamente ad ogni filtro viene impostata una soglia CFAR adattiva.

4 Architettura di sistema

Si riporta di seguito una rappresentazione dell'architettura di sistema

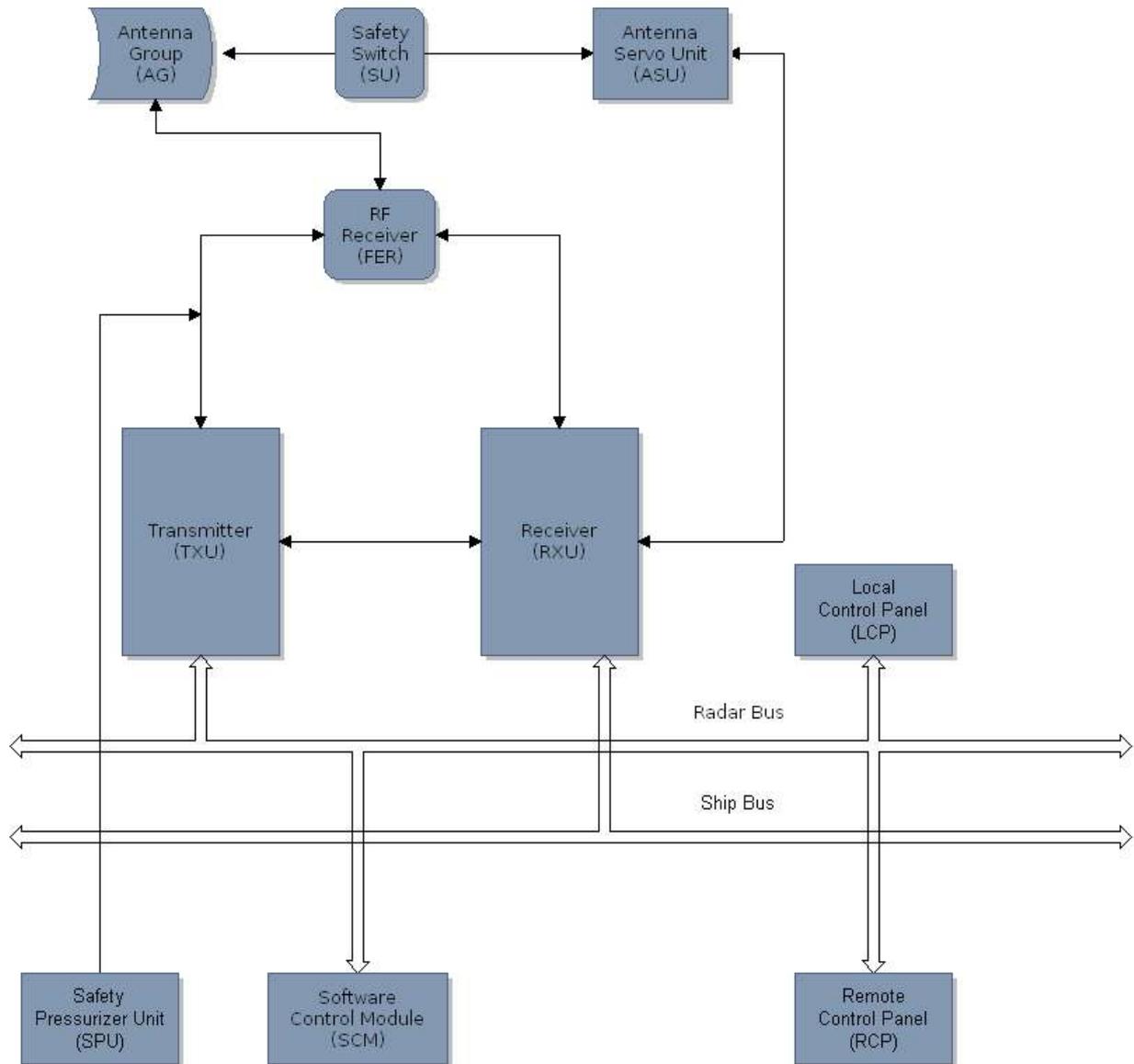


Fig. 4-1 Architettura di sistema

ed una rappresentazione delle catene di trasmissione e ricezione

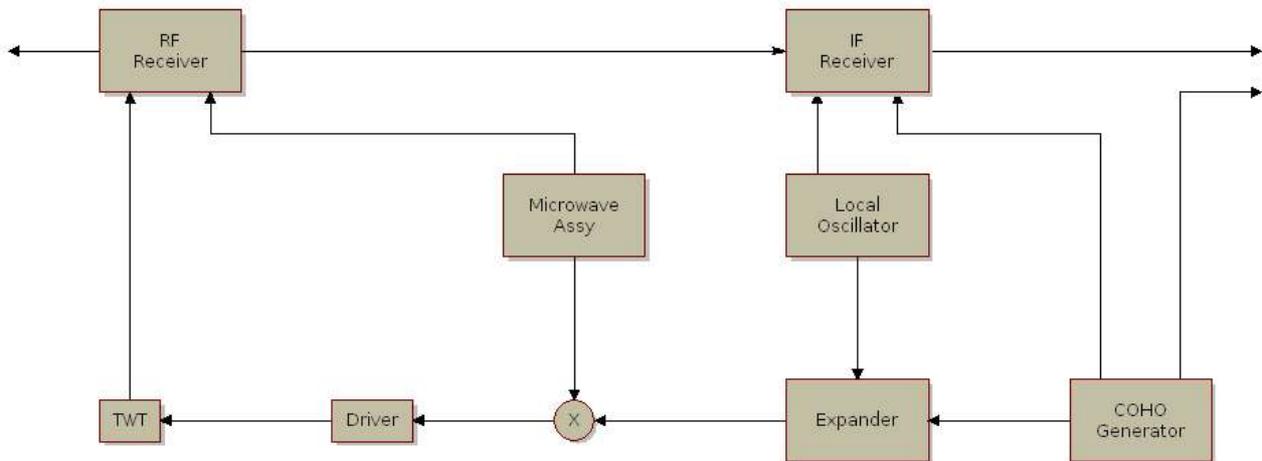


Fig. 4-2 Catene di trasmissione e ricezione

4.1 Antenna Group (AG)

Il gruppo antenna è costituito dalle seguenti unità:

- assieme antenna
- piattaforma stabilizzata.

Per consentire la formazione di due diagrammi di trasmissione il riflettore dell'antenna è a doppia curvatura, se il feeder ne illumina una sezione verrà generata una copertura di tipo pencil-beam, se viene illuminato l'intero riflettore si otterrà una copertura cosecante quadra.

Il feeder è costituito da un array verticale di radiatori, dove ogni radiatore è costituito dall'elemento radiante vero e proprio, dal polarizzatore in guida e dallo sfasatore, l'array verticale è alimentato dal combinatore ad RF, una rete di distribuzione in guida d'onda sezionata da switch che vengono attivati al momento della commutazione del fascio.

L'antenna è posta su una piattaforma stabilizzata in rollio e beccheggio, all'interno dell'AG vengono dunque impiegati attuatori lineari per la stabilizzazione più un motore brushless per la rotazione in azimut. Ognuno di questi, comandato dall'unità asservimento antenna (ASU), è calettato

direttamente sull'asse di interesse ed è dotato di un sensore che rileva il dato angolare della posizione attuale dell'antenna.

4.2 Safety Switch (SU)

il compito del Safety Switch è quello di sezionare le alimentazioni da distribuire all'AG ed all'ASU in modo tale che in caso di manutenzioni l'operatore possa lavorare in sicurezza. E' prevista la restituzione dello stato dell'interruttore di sicurezza ubicato all'interno della SU.

4.3 Antenna Safety Unit (ASU)

L'ASU è costituita dalle seguenti unità:

- Servo power supply
- Power supply per l'alimentazione degli assiemi
- Digital Interface Assembly
- Servo Amplifier
- Antenna Servo Unit - Maintenance Panel

L'ASU riceve la terna di coordinate angolari provenienti dai resolver dell'AG ed effettua la differenza con tre segnali omologhi provenienti dai sensori di bordo. Il controllo di motori di rollio e beccheggio viene effettuato solo in posizione mentre il motore di azimut viene controllato anche in velocità tramite una comparazione tra la derivata istantanea del dato di azimut e quello teoricamente atteso. Per evitare di compromettere il funzionamento della piattaforma stabilizzata in prossimità dei massimi angoli di sbandamento anche i dati angolari provenienti dai resolver di rollio e beccheggio vengono derivati. Il servo power supply fornisce le alimentazioni per i tre canali di potenza mentre il power supply alimenta le logiche di controllo dell'unità. Il digital Interface assembly ospita l'elettronica per il controllo delle tensioni da inviare agli attuatori dei tre assi, queste tensioni vengono amplificate dal Servo Amplifier ed inviate all'AG. Dal pannello di manutenzione è infine possibile

avviare le procedure di test sull'ASU.

4.4 Transmitter Unit (TXU)

La TXU è costituita dalle seguenti unità:

- TWT e parti a radiofrequenza
- Main distribution
- Cathode Floating Deck (CFD)
- Collector Power Supply (CPS)
- Body Power Supply (BPS)
- Control Logic Assy (CLA)
- Transmitter maintenance panel

Si riporta di seguito uno schema a blocchi del trasmettitore evidenziando gli assiemi ospitati nella TXU.

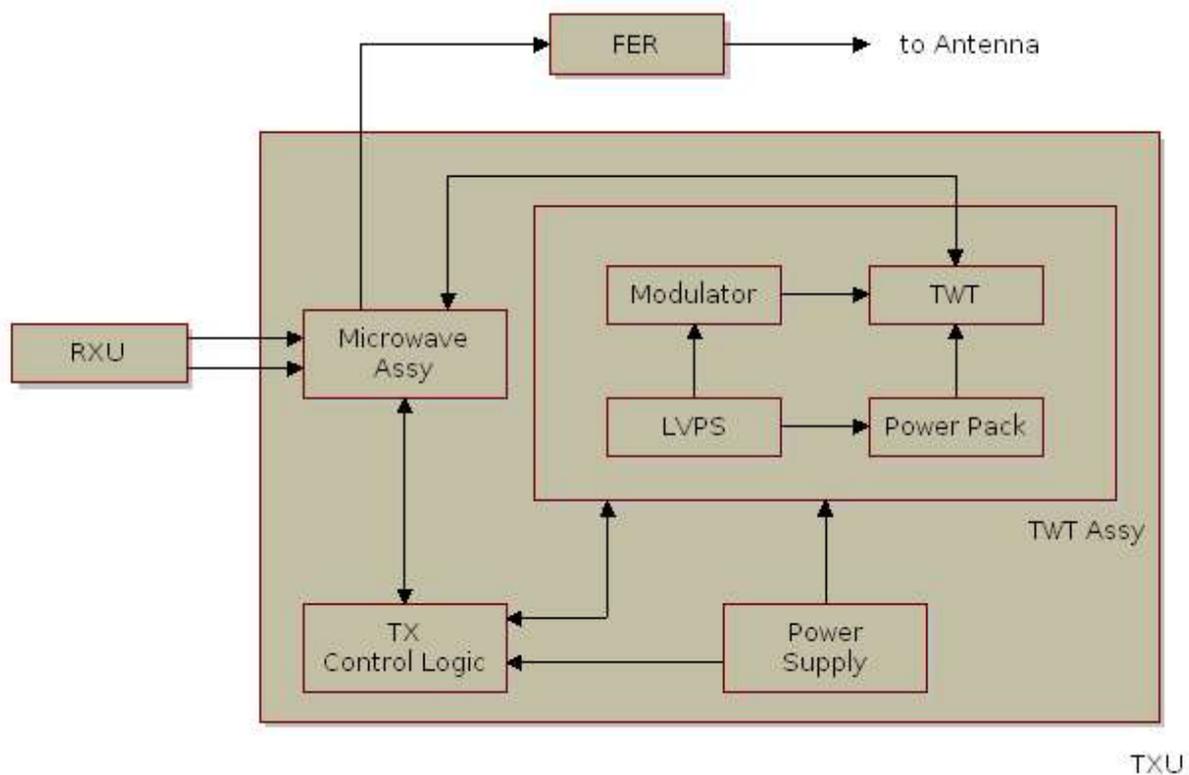


Fig. 4.4-1 Schema a blocchi del trasmettitore

La generazione delle forme d'onda da trasmettere è a carico dell'expander posto all'interno della RXU. L'unità trasmettitore ospita un mixer il quale preleva in ingresso un tono prodotto dall'oscillatore stabile (STALO) e le forme d'onda provenienti dall'expander, modula il segnale da trasmettere alla radiofrequenza e lo cede al driver.

Il segnale viene conseguentemente amplificato dal TWT ed inviato al duplexer. L'amplificatore di potenza del RASS è realizzato con un TWT a cavità accoppiate, modulato di griglia, focalizzato con magneti permanenti, operante con collettore depresso e raffreddato ad aria forzata, le tensioni continue, collettore-catodo e body-catodo, gli vengono fornite rispettivamente dagli alimentatori CPS e BPS.

Il Cathode Floating Deck contiene la circuiteria per l'alimentazione del filamento ed il pilotaggio della griglia.

La Main distribution è la rete primaria che distribuisce l'alimentazione alle varie utenze del TXU, il transmitter maintenance panel consente di visualizzare i parametri di funzionamento del TXU.

il Control Logic Assy è costituito da tre sezioni: Il controllore ha a carico la gestione delle comunicazioni tra i vari sottoassiemi del TXU, la protezione che gestisce le avarie comandando interventi di protezione vitali per l'integrità del sistema, ed il timing che genera i vari clock necessari ai sottoassiemi ed il gate di modulazione video.

4.5 Front End Receiver (FER)

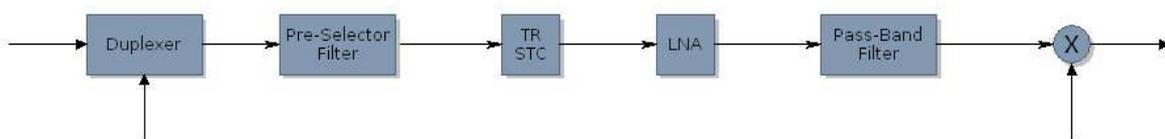


Fig. 4.5-1 Schema a blocchi del FER

Il FER è costituito dalle seguenti unità:

- Circolatore a quattro porte
- Testine bolometriche per misurazione VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)
- Switch di guida
- Filtro preselettore
- TR/STC Limiter
- LNA
- Mixer a reiezione della frequenza immagine

Il circolatore a quattro porte consente il transito della radiofrequenza dal trasmettitore verso l'antenna e dall'antenna verso il ricevitore.

In trasmissione, l'isolamento della porta di ricezione, e quindi la protezione del ricevitore, viene garantita dal circolatore ed il TR limiter.

In ricezione il segnale RF viene normalizzato in distanza tramite il dispositivo STC, amplificato dall'LNA e convertito alla prima frequenza intermedia mixandolo col tono proveniente dallo STALO.

Gli switch di guida consentono l'iniezione di segnali di test, la calibrazione STC e per la verifica della catena di ricezione.

4.6 Receiver Unit (RXU)

Il RXU è costituito dalle seguenti unità:

- AC/DC converter
- Service and Maintenance Panel
- IF Receiver Assy
- Frequency Synthesizer
- Radar Processor Assy

Il pannello di servizio e manutenzione consente la gestione dell'unità in configurazione locale e la connessione della RXU alla radar LAN o al BUS della nave.

La catena di ricezione effettua tre conversioni, la prima all'interno del FER e le altre due nel IF receiver, che portano il segnale ricevuto dalla

radiofrequenza alla IF3.

Si riporta di seguito lo schema a blocchi del IF receiver Assy.

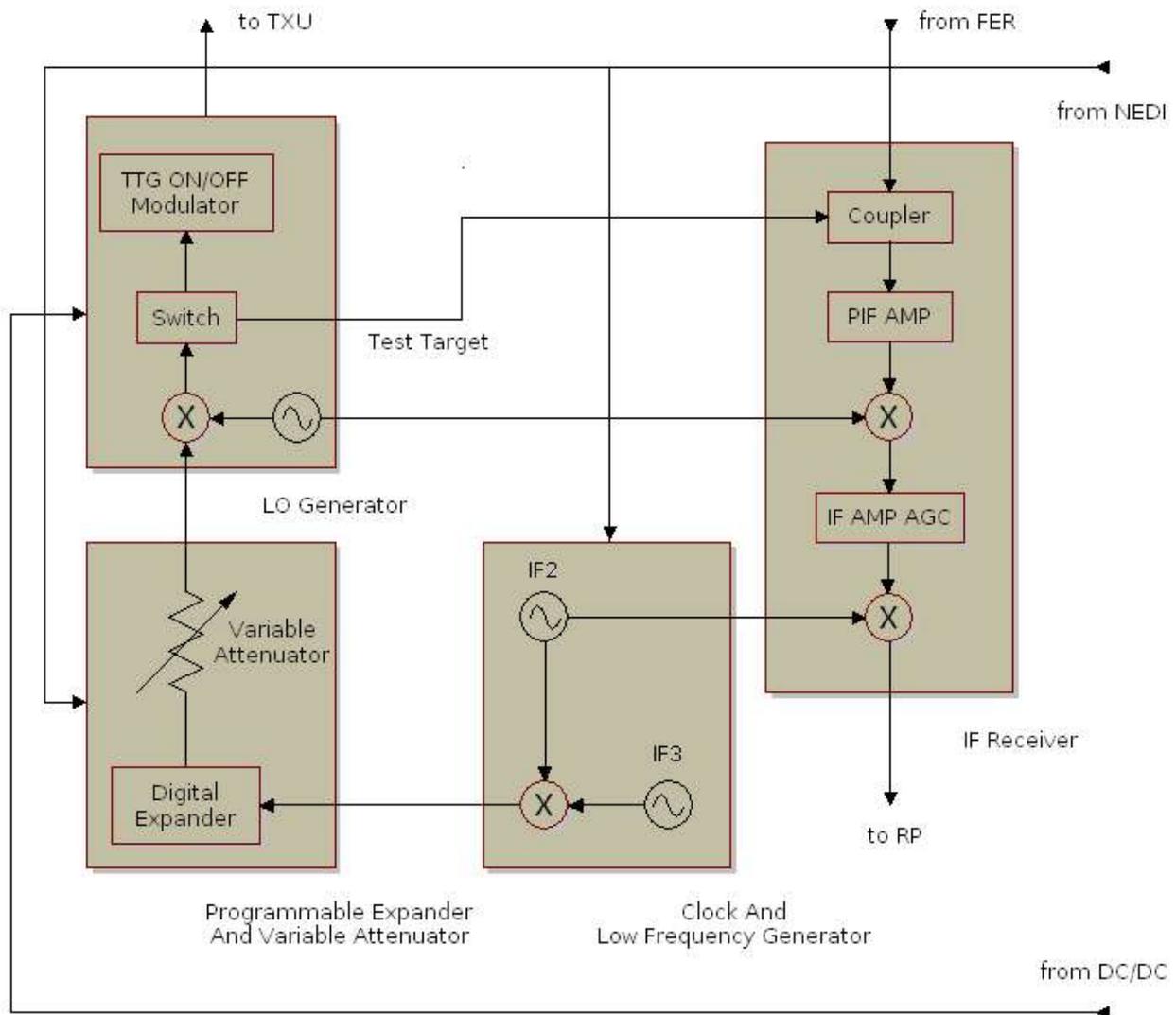


Fig. 4.6-1 Schema a blocchi del IF receiver Assy

Le sinusoidi di riferimento utilizzate nel ricevitore, sono generate rispettivamente dall'oscillatore locale e dal COHO.

Il segnale prima di ogni conversione viene amplificato e filtrato, mentre, dopo l'ultima, a IF3, viene inviato al proprio filtro adattato per la massimizzazione del rapporto segnale rumore. Successivamente il segnale viene inviato al convertitore A/D.

Caratteristica del ricevitore è che sia il filtraggio adattato che la conversione A/D avvengono su portante IF3, quindi, il filtro adattato avrà una risposta in frequenza centrata attorno a IF3, ed il campionamento avverrà con un periodo di $1/IF2$.

I campioni vengono poi prelevati ad istanti opportuni ed inviati alle componenti in fase e quadratura.

Dopo la conversione che porta il segnale alla seconda frequenza intermedia è presente un blocco analogico per il controllo automatico del guadagno.

Le oscillazioni utilizzate per le conversioni sono prodotte: da un oscillatore locale, dal COHO ed all'interno del IF receiver stesso tramite battimento dei due segnali in uscita agli oscillatori citati in precedenza.

Il frequency synthesizer genera le frequenze utilizzate, in trasmissione per portare il segnale a radiofrequenza ed in ricezione come ingresso al mixer di prima conversione.

E' costituito da 14 oscillatori fondamentali più 5 differenti canali moltiplicativi: I toni prodotti dagli oscillatori vengono combinati in modo tale da generare un certo numero di frequenze che, a loro volta vengono ulteriormente combinate per uno dei cinque canali moltiplicativi.

La legge di miscelazione dei segnali prodotti dagli oscillatori e la successiva selezione della sottobanda viene implementata attraverso una rete di switch pilotati da un segnale digitale proveniente dall'esterno.

L'expander consiste in un banco di memorie all'interno delle quali sono conservati i campioni degli impulsi, codificati e non, nelle loro componenti in fase e quadratura. Al fine di ridurre la dimensione del banco, i campioni vengono memorizzati nel loro andamento temporale in banda base, all'uscita dall'expander le due componenti trovano un convertitore D/A per venire successivamente traslate su portante IF attraverso mixaggio col COHO.

Un modulo limitatore, posto in cascata al convertitore D/A, inizia la catena di iniezione dei bersagli di test.

Il radar processor assy riceve il segnale analogico alla frequenza IF3 ed ha a carico la sua elaborazione fino all'ottenimento delle informazioni sintetiche di plot e track.

Questo compito viene espletato, di massima, in tre step successivi:

Signal Processing, Data Processing e Tracking.

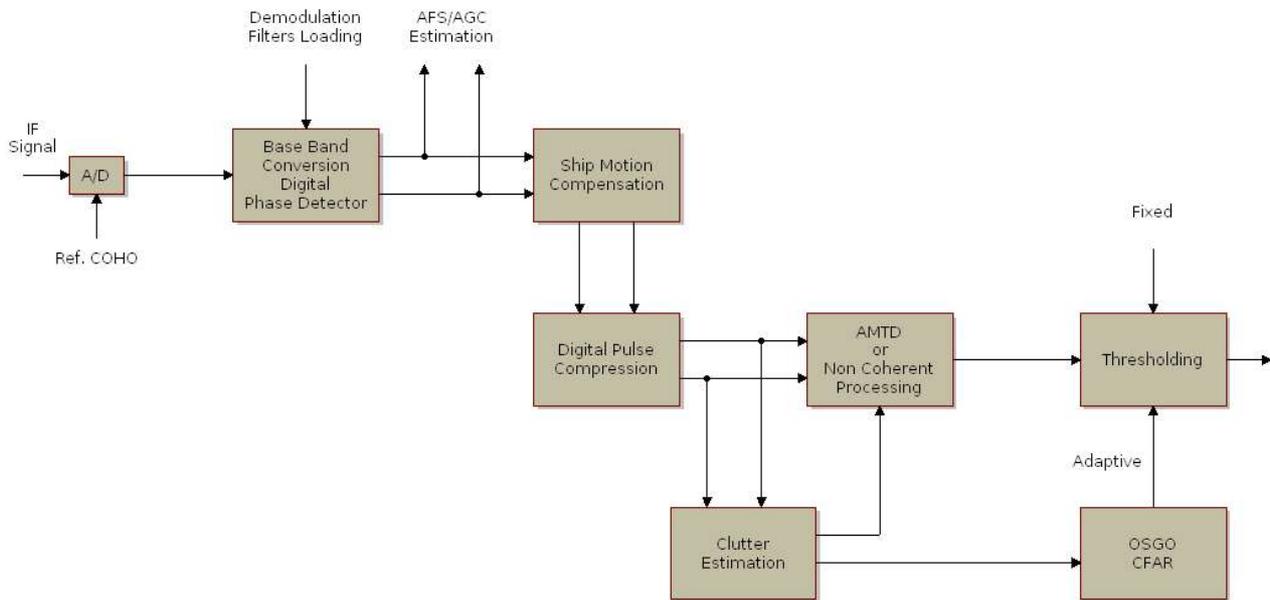


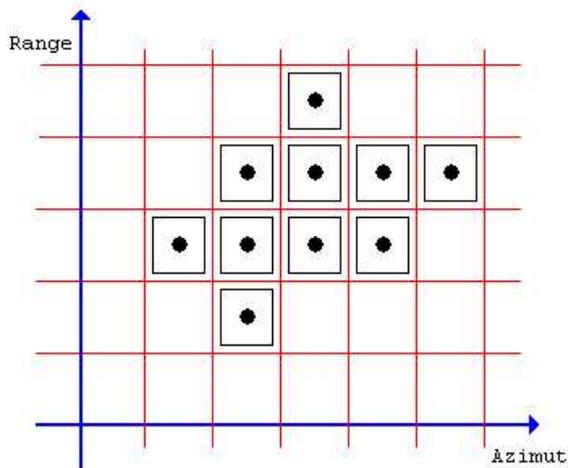
Fig. 4.6-2 Diagramma a blocchi del signal processing

Nel primo step vengono effettuate in cascata

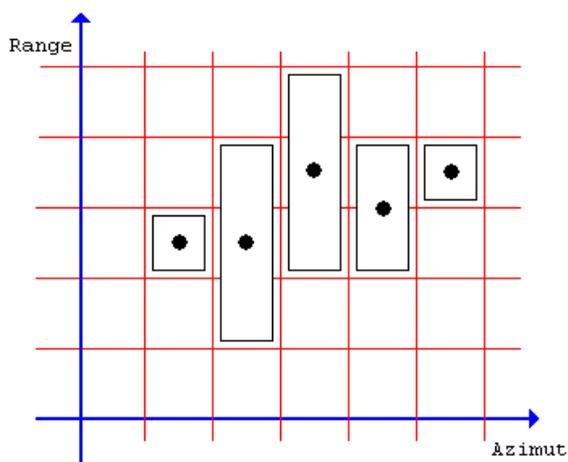
- la conversione A/D
- la conversione digitale in banda base
- la compensazione del moto nave
- la compressione digitale dell'impulso
- il filtraggio AMTD o la rivelazione non coerente
- l'applicazione dei criteri di soglia, definiti nel blocco OSGO-CFAR, (Ordered Statistics Greater Of – Costant False Alarm Rate) in funzione dell'eco di clutter.

La generazione di plot consiste nel mettere in relazione tutte le detezioni che si ritiene appartengano ad uno stesso bersaglio.

L'orizzonte radar all'uscita del signal processor



Associazione degli RBR in gruppi, il pallino nero indica la posizione del centro di massa.



Associazione dei gruppi in cluster, il pallino nero indica la posizione del centro di massa.

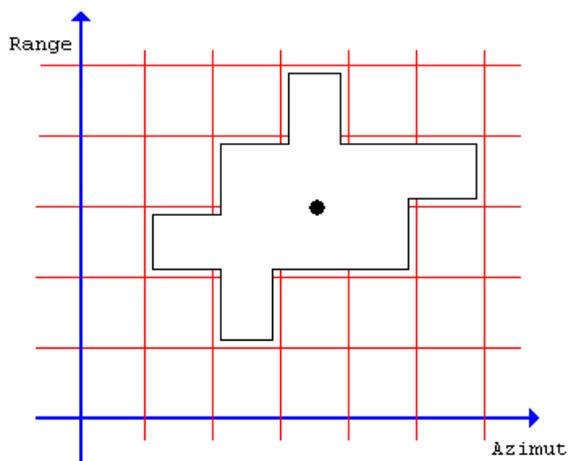


Fig. 4.6-3 Processo di creazione dei plot

In un primo momento si decide, secondo un criterio di distanza, e di velocità qualora si utilizzi il filtraggio MTD, quale sia l'insieme di detezioni che deriva da un singolo bersaglio, questo insieme viene quindi scandito prima in azimut, per la creazione di gruppi, poi in distanza, per la creazione di cluster, fondendo in tal modo le detezioni che lo compongono in una sola entità.

La definizione completa di plot richiede che a questa entità si aggiungono ulteriori informazioni sotto forma di valore numerico, per esempio, applicando una media ponderata alla posizione delle detezioni che lo compongono, si definisce un valore numerico di posizione per il plot stesso.

Le logiche di estrazione dei plot sono dettagliate nel capitolo 5.13.

L'operazione di tracciamento consiste nel mettere in relazione tutti i plot che si ritiene appartengano ad uno stesso bersaglio.

E' opportuno evidenziare che, a differenza di quanto accade nella generazione di plot dove il criterio di relazione è strettamente spaziale, nella generazione di tracce si associano più plot in relazione alla loro evoluzione temporale.

Quindi, Indipendentemente dal valore numerico di velocità assegnato al singolo plot come risultato del filtraggio MTD è possibile assegnare alla traccia una informazione di velocità derivante dalle informazioni di posizione dei plot e dalla loro frequenza di aggiornamento.

In particolare la logica di tracking si compone di cinque step fondamentali:

- correlazione, funzione che stabilisce tutte le relazioni tra una traccia esistente e i nuovi plot
- associazione, funzione che stabilisce una relazione uno a uno tra una traccia esistente ed un plot
- inizializzazione, funzione che, allorquando un plot non si correla ne associ a nessuna traccia esistente, diventa esso stesso una nuova traccia
- stima, funzione basata su filtraggio α/β adattivo con guadagni α/β derivanti da filtraggio di Kalman (approfondito in appendice A)
- predizione, funzione che elabora il punto futuro di ogni singola traccia rendendolo disponibile per la correlazione coi plot dell'impulso successivo.

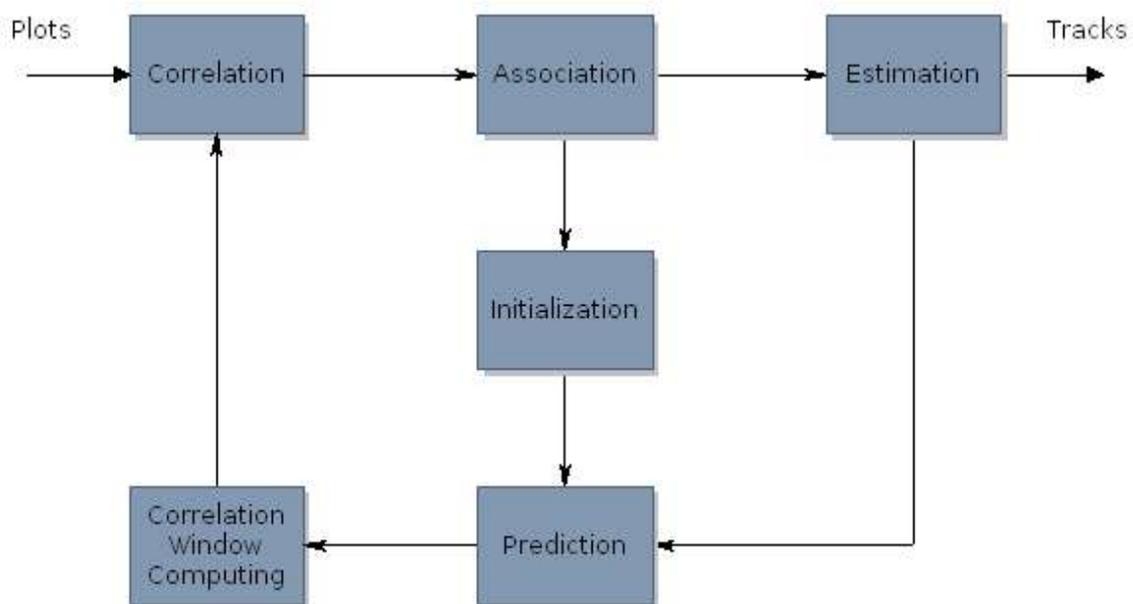


Fig. 4.6-4 Processazione TWS (Track While Scan)

4.7 Local Control Panel (LCP)

Costituisce una delle interfacce tra l'apparato e l'utenza tecnica del sistema, è basato su un pc industriale con processore pentium e sistema operativo Microsoft ed utilizza un display TFT touch screen a colori come interfaccia di input/output.

L'interfaccia uomo/macchina, sviluppata adottando finestre, menu e pannelli, risulta altamente intuitiva.

L'LCP è direttamente connesso al radar bus e da esso è possibile

- settare i parametri di funzionamento operativo del RASS
- supervisionare TXU, RXU, ASU/AG e radar bus inviando opportuni messaggi di controllo e ricevendo i relativi messaggi di stato
- effettuare i test di funzionamento sulle singole unità
- gestire le fasi di manutenzione.

4.8 Remote Control Panel (RCP)

Costituisce l'interfaccia tra l'apparato e l'utenza operativa del sistema, è situato all'interno della Centrale Operativa ed è connesso direttamente allo ship bus. Dal Remote Control Panel, che è sviluppato con la stessa tecnologia dell'LCP, si può accedere a tutte le funzioni accessibili dal Local Control Panel.

4.9 Power Distribution Unit (PDU)

La PDU riceve alimentazione dalla rete nave ed è costituita da un trasformatore che eroga le alimentazioni alle varie unità del sistema ed un alimentatore che fornisce alla TXU ed all'ASU le tensioni di servizio.

4.10 Safety Pressurizer Unit (SPU)

Nel caso in cui la nave operi in ambienti caldi ed umidi è necessario preservare la guida d'onda, che collega l'Unità Trasmittitore al Gruppo Antenna, dalla formazione di condensa al suo interno.

La presenza di condensa produce due effetti indesiderati in quanto peggiora le condizioni di trasferimento dell'energia a radiofrequenza e deteriora la struttura fisica della guida.

La SPU attraverso una flangia di mandata inserisce aria secca pressurizzata all'interno della guida d'onda, così, mantenendo l'interno ad una pressione maggiore rispetto all'esterno, l'aria ambiente rimane confinata al di fuori della guida.

La SPU inoltre monitorizza costantemente la pressione in guida inviando alla TXU un messaggio di degrado qualora questa scenda al di sotto di una soglia di guardia predefinita.

4.11 Software Control Module (SCM)

Il Software Control Module è un componente software allocato su una consolle CTI-20 che consente la gestione del RASS sotto ogni suo aspetto.

5 Funzioni del Radar Processor

In questo capitolo verrà data una descrizione delle funzioni rese disponibili dal radar processor.

5.1 Conversione A/D e demodulazione in banda base

Il campionamento del segnale ricevuto avviene con il segnale alla terza frequenza intermedia, in particolare con periodo

$$T = \frac{1}{IF2}$$

dove $IF2$ è la seconda frequenza intermedia.

A fronte dello svantaggio derivante dai costi di dover utilizzare un convertitore A/D che lavora ad una frequenza più elevata si ottengono i seguenti vantaggi: il campionamento avverrà su un solo convertitore al posto dei due necessari per la conversione della componente in fase e di quella in quadratura (il che comporterà anche una riduzione del fenomeno della sample misregistration e del mismatching di fase) e sarà sostituito il phase detector analogico con uno digitale notevolmente più performante.

I campioni in uscita dal filtro corrisponderanno alternativamente, a meno del segno, ai campioni della componente in fase ed in quadratura

Ipotizziamo infatti che l'istante d'inizio del campionamento avvenga, ad esempio, con la fase della portante in fase uguale a zero, la componente in quadratura risulterà nulla perché nullo sarà il valore della sua portante in quell'istante. Dopo un angolo di $\pi/4$ si annullerà il valore della componente in fase e l'alternanza si ripeterà ogni $k \pi/2$.

Dal momento che è sempre possibile ricostruire il segnale a frequenza intermedia per quanto la fase associata all'istante iniziale di campionamento sia arbitraria, la scelta dell'istante di inizio campionamento risulta, di fatto, ininfluenza.

Al termine delle terza conversione il segnale, di banda B, viene traslato alla frequenza portante di IF3 Mhz, il periodo di campionamento per la ricostruzione del segnale a IF3 è

$$T = \frac{1}{2 \cdot (IF3 + B)}$$

mentre quello per la ricostruzione dello stesso segnale in banda base è

$$T = \frac{1}{2 \cdot B}$$

In effetti il segnale viene mediato raggruppando i campioni a blocchi di quattro, in tal modo si ottiene una riduzione del data rate a valle ed un miglioramento dell'errore di quantizzazione.

Nella fase seguente ognuna delle due componenti I(t) e Q(t) viene interpolata, mediante un opportuno filtraggio FIR passabasso, ed infine integrata.

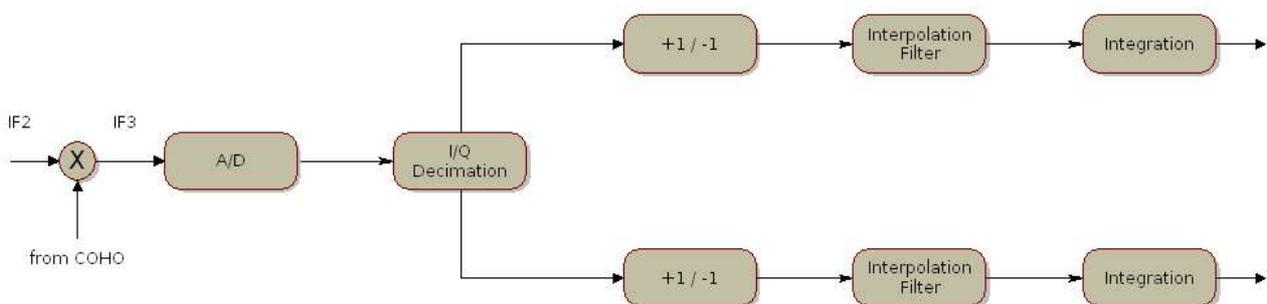


Fig. 5.1-1 Schema funzionale del campionamento su portante

5.2 AFS (Automatic Frequency Selection)

L'idea sulla quale si basa la funzione AFS è quella di ricevere passivamente sulle frequenze utilizzate dal radar e scegliere, secondo un determinato criterio, quella meno disturbata da rumore. L'AFS si adatta alla modalità

operativa in uso e, nella descrizione seguente, assumeremo l'ipotesi di integrazione coerente e bassa PRF.

La funzione si suddivide, quindi, in due step successivi: nel primo viene effettuata una stima del rumore ambientale, nel secondo viene fatta l'elaborazione dei campioni e viene applicata la politica di selezione della frequenza.

STEP 1:

Il periodo utile alla ricezione è quello che va dall'istante in cui l'impulso raggiunge la fine della portata radar all'inizio del CPI (Coherent Pulse Interval) successivo, teoricamente in questo lasso temporale nulla degli impulsi utili trasmessi dovrebbe rientrare nella catena di ricezione, ma, per evitare di polarizzare la stima con echi di seconda traccia o detezioni per propagazione anomala, si preferisce utilizzare frequenze diverse da quella alla quale appartiene il CPI trasmesso e si assume che il valore della stima di rumore per la frequenza in uso sia dato dall'interpolazione delle stime di rumore delle due frequenze adiacenti.

Il segnale rumoroso transita attraverso la catena di ricezione fino ad essere trasformato in campioni ed i campioni vengono utilizzati per una stima di potenza media.

Il periodo utile per la ricezione passiva è sufficiente per il prelievo di un numero adeguato di campioni sul 100% delle frequenze utilizzate dal radar, nel caso in cui si stiano adottando modalità operative che prevedano alte PRF, per ottenere una mappatura completa delle frequenze saranno necessari due CPI.

STEP 2:

Al termine di ogni CPI, all'interno di un vettore ordinato in senso crescente, vengono memorizzati i risultati delle stime di rumore effettuate su ogni frequenza, il vettore viene inviato al data processor che, prima confronta il valore di ogni componente con una soglia predefinita ed al verificarsi di un superamento, genera un allarme e lo invia all'operatore, poi effettua la scelta delle frequenze da utilizzare adottando la seguente politica:

- se la modalità di selezione delle frequenze in uso è fissa ignora la mappa di rumore
- se è attiva la funzione AFS, a secondo della modalità operativa in uso,

sceglie le prime due frequenze meno disturbate

- se la modalità di selezione delle frequenze in uso è random ignora la mappa di rumore.

5.3 AGC (Automatic Gain Control)

La funzione AGC ha la finalità di ottimizzare i valori di guadagno del ricevitore in funzione della distribuzione temporale del rumore sulle varie frequenze.

Il vettore utilizzato per la selezione automatica delle frequenze, viene usato come input della AGC, in particolare il data processor memorizza un ciclo di 1024 misure, preleva i valori di rumore di ogni CPI relativi ad una stessa frequenza e su questi effettua una media temporale del disturbo secondo la relazione

$$e_n(\tilde{f}_i, k) = \frac{\alpha \cdot a_n(\tilde{f}_i, k) + \beta \cdot e_n(\tilde{f}_i, k-1)}{\alpha + \beta}$$

Il calcolo della stima di rumore viene effettuata su ogni settore angolare di 22.5° , per ogni scan e per ogni frequenza, detti

- $e_n(\tilde{f}_i, k)$ il valore della stima di rumore alla frequenza \tilde{f}_i ed allo scan k
- $a_n(\tilde{f}_i, k)$ il valore medio di disturbo alla frequenza \tilde{f}_i ed allo scan k
- α e β due fattori di peso programmabili da operatore complementari a 16
- N_r il valore equivalente del livello di riferimento espresso in step da 0.25 dB

il guadagno viene dato dall'espressione:

$$AGC(\tilde{f}_i) = 80 \cdot \log_{10} e_n(\tilde{f}_i, k) - N_r$$

La funzione AGC deve essere disattivata in fase di prelievo dei campioni di rumore.

5.4 Compensazione moto nave

Se la modalità operativa in uso prevede un'integrazione coerente il fatto che la nave si muova con una certa velocità radiale rispetto al bersaglio comporta un errore nella misura della fase dell'eco ricevuta che deve essere compensato. Il dato di velocità viene fornito al data processor attraverso la rete dati nave sulla quale sono connessi sia un GPS sia un solcometro, la frequenza di aggiornamento del dato è in ogni caso molto inferiore alla PRF ed il data processor, per la sua elaborazione, utilizzerà l'ultimo dato utile.

Detti:

- λ la lunghezza d'onda alla frequenza di trasmissione
- Θ_p l'azimut corrente del CPI rispetto al nord geografico
- Θ_n l'azimut della prora rispetto al nord geografico
- V vettore velocità della nave nella direzione della prora

avremo

$$\Delta \phi = \frac{4\pi \cdot |\vec{V}| \cdot \cos(\Theta_p - \Theta_n)}{\lambda} \cdot PRT$$

Al momento dell'elaborazione del dato di fase l'azimut corrente del CPI non è ancora disponibile, il calcolo viene effettuato stimando questo valore sul dato ricevuto al CPI precedente.

5.5 Compressione digitale del segnale

La DPC (Digital Pulse Compression) è una funzione numerica che elabora sequenze appartenenti al dominio delle frequenze.

Sfrutta la proprietà della convoluzione circolare secondo cui, detti:

- $s(n)$, il segnale di ingresso, con $n = 1, \dots, N$.
- $h(k)$, il filtro di compressione, con $k = 1, \dots, M$.
- $c(z)$, il segnale compresso, con $z = 1, \dots, N-M+1$.
- $F(\cdot)$, l'operatore trasformata di Fourier

$$F(c(z)) = F(s(n)) \cdot F(h(k))$$

Quindi:

- Il segnale di ingresso, nel dominio del tempo, viene trasformato con un algoritmo FFT.
- Al vettore risultante dalla trasformazione vengono aggiunti un numero di componenti tale da portarlo alla dimensione di $N+M-1$, ad ognuna delle componenti aggiunte viene assegnato valore nullo (zero padding).
- Il filtro di compressione, già memorizzato nel dominio della frequenza, viene sottoposto a zero padding fino a portarlo a $N+M-1$ componenti.
- I due vettori vengono moltiplicati componente per componente.
- Il vettore risultante viene antitrasformato ottenendo il vettore rappresentativo dell'impulso compresso.

In effetti l'algoritmo utilizzato, comunemente denominato "metodo di sovrapposizione ed estrazione" (overlap save), consiste nel convolvere circolarmente segmenti di segnale di lunghezza prefissata con il filtro, ed individuare, al loro interno, lo spezzone appartenente all'intera sequenza risultante.

Il costo computazionale dell'algoritmo descritto è notevolmente inferiore a quello sostenuto per la convoluzione circolare delle due sequenze intere.

L'architettura del receiver unit prevede la possibilità di compensare le distorsioni introdotte dal canale TX/RX che comportano un degrado delle prestazioni della DPC in termini di PSLR (Peak to Side Lobe Ratio).

Il procedimento si basa sulla valutazione delle distorsioni introdotte, sulla sintesi di un filtro digitale che le rappresenti e sull'inversione e prodotto di questo col filtro DPC ideale.

Condizione necessaria per il funzionamento è che gli effetti distorcenti siano stabili e ripetitivi in modo tale da allocare la procedura di stima e compensazione in fase di manutenzione.

Il front end receiver inietta, a valle dell'LNA, otto test target per la forma di

impulso sotto test, il signal processing campiona ed estrae le componenti in fase e quadratura, formatta in un messaggio il risultato ottenuto e lo invia al data processor.

Il data processor esegue le seguenti elaborazioni:

- Media i campioni ricevuti relativi agli otto test target e li pone in un vettore.
- Trasforma il vettore, tramite FFT, portando il test target medio nel dominio della frequenza.
- Moltiplica il vettore ottenuto per la risposta in frequenza del filtro DPC ideale.
- Allinea il picco della risposta in frequenza del filtro ideale a quello della risposta in frequenza del filtro calibrato al segnale vero.
- Divide il risultato ottenuto per la risposta in frequenza del filtro ideale.
- Antitrasforma il vettore ottenuto con algoritmo FFT.
- Produce un pacchetto contenente le informazioni delle componenti in fase e quadratura, della frequenza e del tipo di test target utilizzati e lo invia al signal processor.

I passi appena descritti sono ripetuti per tutte le frequenze e per tutti gli impulsi utilizzati dal radar, in questo modo è possibile ottenere una mappatura completa per la compensazione delle distorsioni del canale trasmissivo.

E' poi possibile ripetere il test con il front end receiver in due distinte configurazioni, nel primo caso il test target viene iniettato a valle del low noise amplifier, nel secondo a monte del filtro preselettore di banda.

5.6 Stima real time dei parametri caratteristici del clutter

Il signal processor consente una stima real time dei seguenti parametri del clutter:

- Potenza
- Doppler media
- Ampiezza spettrale
- Disomogeneità del clutter in range.

I dati sotto analisi sono l'ampiezza e la frequenza delle eco ricevute, in particolare viene fatta una media di questi valori estesa ad un singolo CPI ed ad un numero prefissato di celle di risoluzione in distanza (da 16 a 64). Si osserva l'accortezza di eliminare dall'operazione di media le celle con valori di potenza corrispondenti alla detezione di un bersaglio e le due ad essa adiacenti.

La stima della potenza media si ottiene mediando i quadrati della ampiezze dei campioni ricevuti, la doppler media è calcolata mediando le differenze di fase relative a due campioni adiacenti alla stessa distanza, l'ampiezza spettrale viene stimata calcolando il coefficiente di autocorrelazione ad un passo della sequenza di campioni in ingresso.

Il clutter viene anche caratterizzato da un parametro che da una misura della sua omogeneità in range: ogni valore di potenza media di clutter calcolato viene prelevato e confrontato con quello relativo alle celle precedente e successiva ed, a seguito di un confronto con opportune soglie, gli viene assegnata una etichetta, costituita da una coppia di bit, che ne indicano il livello di variazione.

Entrando nel dettaglio e considerando:

- L : celle di risoluzione in distanza
- i : indice degli impulsi che scandisce in distanza
- N : impulsi appartenenti ad un CPI
- j : indice degli RBR che scandisce in azimuth
- x_{ij} : il valore dell'ampiezza di un RBR

è possibile riempire una matrice M , di dimensione $L \times N$, con i valori delle ampiezze dei campioni misurati ottenendo una matrice di covarianza.

$$M_c = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdot & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdot & x_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{L1} & x_{L2} & \cdot & x_{LN} \end{bmatrix}$$

Ricordando che dall'algorithm sono esclusi i valori relativi alla detezione di un

bersaglio, nella descrizione delle elaborazioni ci si riferirà indipendentemente all'ampiezza dei campioni o all'ampiezza del clutter.

Ogni elemento della matrice M è una variabile casuale che esprime l'ampiezza del clutter, ogni riga della matrice è un vettore aleatorio che indicheremo come cella di risoluzione in distanza, ogni colonna della matrice è vettore aleatorio che indicheremo come cella di risoluzione in azimut.

Dato che l'apertura in azimut del lobo dell'antenna è tale per cui la stessa porzione di clutter viene illuminata per N volte si può assumere che:

- i campioni di una cella di risoluzione in distanza sono dipendenti
- i campioni di una cella di risoluzione in azimut sono indipendenti.

Il primo passo dell'algoritmo calcola la stima di una matrice di correlazione su ognuno dei vettori aleatori relativi ad una cella di risoluzione in distanza:

$$\hat{M}_{ci} = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \cdot \\ x_{iN} \end{bmatrix} \cdot [x_{i1} \quad x_{i2} \quad \cdot \quad x_{iN}]^*$$

Anche su ogni vettore aleatori relativo alla cella di risoluzione in azimut si potrebbe valutare una stima della matrice di correlazione ma, ricordando l'assunto di indipendenza tra i campioni in range, il risultato sarebbe una matrice identica poco significativa.

Il secondo passo effettua una media su numero delle celle in range ottenendo una matrice di clutter stimata data dalla seguente:

$$\hat{M}_c = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^L \hat{M}_{ci}$$

Al passo successivo, dalla matrice di clutter stimata, si calcolano i seguenti parametri caratteristici del clutter:

Potenza Lineare

$$\hat{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{M}_c(i, i)$$

Potenza in dB

$$\hat{P}_{dB} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \hat{M}_c(i, i) \right]$$

Coefficiente di correlazione
ad un passo

$$\hat{\rho} = \frac{1}{(N-1) \cdot \hat{P}} \cdot \sum_{i=1}^{N-1} |\hat{M}_c(i, i+1)|$$

Stima della frequenza
doppler

$$\hat{f}_d = \frac{1}{(N-1) \cdot 2\pi PRT} \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \angle[\hat{M}_c(i, i+1)]$$

Il coefficiente di correlazione ad un passo non rappresenta il parametro di ampiezza spettrale del clutter poiché è un parametro temporale. Le soglie di decisione dovranno essere valutate sui suoi corrispettivi valori in frequenza. Il legame tra il coefficiente di correlazione e la larghezza spettrale è il seguente:

$$\rho(t) = R \frac{(t)}{P_0} = e^{-2\pi^2 \sigma_f^2 t^2}$$

Ricavando σ_f si ottiene:

$$\sigma_f = \frac{1}{\pi \tau} \cdot \sqrt{\frac{-1}{2} \cdot \ln \left(\frac{|\rho| - P_0}{1 - P_0} \right)}$$

valutato per $\tau = PRT$.

5.7 Leggi STC

Talvolta il clutter può presentare un'eco talmente ampia da provocare la saturazione del ricevitore ed il conseguente mancato avvistamento dei bersagli utili.

L'STC (Sensitive Time Control) consiste nel modulare il guadagno del ricevitore in funzione del range così che, dopo un periodo temporale tale che le eco attese siano prossime all'antenna, il ricevitore amplifica con guadagni molto ridotti, il guadagno viene incrementato progressivamente fino a raggiungere il suo massimo dopo un periodo temporale tale che le eco attese siano ad una distanza prossima al limite della portata radar.

L'utilizzo di tale funzione ha anche l'utile conseguenza di normalizzare in distanza la potenza delle eco ricevute: nelle ipotesi esemplificative di rivelazione in assenza di clutter e di presenza di una coppia di bersagli aventi uguale RCS ed appartenenti a celle di risoluzione in distanza differenti, l'STC consente di fornire al ricevitore due eco dal contenuto energetico molto simile. Il RASS consente la memorizzazione di 16 leggi STC differenti, ognuna delle quali indica, in sostanza, un diverso profilo di variazione del guadagno in funzione del range.

Il data processor, quindi, organizza opportune mappe di clutter sulla base delle stime effettuate dal signal processor e le invia in ingresso alla funzione STC, questa valutando

- l'attenuazione iniziale
- la legge di decadimento in funzione del range

seleziona, secondo un criterio specificato in seguito, la legge più idonea tra le 16 disponibili.

Att. Vs. Range	Attenuazione iniziale			
	10 dB	20 dB	30 dB	40 dB
R^{-1}	L[1]	L[5]	L[9]	L[13]
R^{-2}	L[2]	L[6]	L[10]	L[14]
R^{-3}	L[3]	L[7]	L[11]	L[15]
R^{-4}	L[4]	L[8]	L[12]	L[16]

L'adozione della funzione STC può essere automatica o manuale e può essere applicata singolarmente ad ognuno dei 16 settori angolari di 22.5° che costituiscono l'orizzonte radar.

Il criterio di scelta della legge da adottare è quello dei minimi quadrati, il data processor, ad ogni cambio di settore, determina quella che meglio approssima la sequenza di punti determinata lungo la portata della stima di clutter.

Detto quindi $C[i]$ il vettore che contiene la stima di clutter in un determinato settore la selezione adattiva in quel settore si estrinseca nella ricerca della legge STC che per la quale risulta minima la seguente relazione:

$$\sum_i (C[i] - STC(L[i]))^2$$

La funzione STC necessita una preventiva operazione di calibrazione, cioè devono essere valutati dei fattori di compensazione in modulo e fase, per ogni legge da applicare al segnale prima della compressione digitale dell'impulso.

La prima fase della calibrazione è una fase di misura, e si compone dei seguenti passi:

- selezione della legge sotto calibrazione.
- selezione della frequenza da calibrare.
- attivazione di un test target, generato come risposta ad un CPI, ad una distanza R_{min} (minimo valore in range al quale è possibile attivare un test target).
- Campionamento del segnale da una distanza R_{min} ad una distanza $R_{min} + R_{bin}$, dove R_{bin} è la lunghezza dell'impulso di test.
- Ripetizione degli ultimi tre passi per una distanza iniziale di $R_{min} + kR_{bin}$, dove $k=1, 2, 3, \dots$, fino al valore che consente di arrivare al massimo valore in range al quale è possibile attivare un test target.

Al termine della fase di misura il data processor ha collezionato k coppie M_k, φ_k , una per ogni R_{bin} , per cui, detto M_R il valore di massima dinamica misurato, le coppie di compensazione saranno:

$$\frac{M_R}{M_k} \quad \text{per il modulo}$$

$$\varphi_k \quad \text{per la fase}$$

L'applicazione della legge STC consiste nel moltiplicare l'ampiezza del bersaglio

ricevuto per M_r/M_k , e sommarne la fase a φ_k , in funzione del range del bersaglio stesso.

Va aggiunto che, considerando che la capacità risolutiva in range del signal processor riguardo la compensazione della legge STC è di due R_{bin} , il data processor adotta fattori derivanti da una media dei fattori relativi a due celle di risoluzione contigue.

5.8 Elaborazione coerente del segnale tramite filtraggio doppler (AMTD)

Il radar processor rende disponibili quattro banchi di filtri doppler diversi a seconda delle stime effettuate sui parametri caratteristici del clutter.

Ognuno di questi banchi è caratterizzato da un Improvement Factor, un indice di quanto sia disuniforme la distribuzione dei filtri che lo costituiscono all'interno della campata doppler e del relativo svuotamento attorno alla doppler zero.

L'algoritmo di selezione del banco è l'RTWS (Real Time Weight Selection) ed ha come ingressi le stime effettuate sui parametri caratteristici del clutter, applicato a tre settori adiacenti con profondità di range di 8τ , e come uscita un codice di quattro bit che seleziona il banco per il filtraggio.

Il principio di funzionamento dell'RTWS è quello di scegliere il banco con maggiore Improvement Factor al presentarsi di stime caratterizzate da potenze medie di clutter maggiori e pesando maggiormente le stime con distribuzione di velocità più ampie.

Avvenuta la selezione del banco ottimo, i suoi filtri vengono ricollocati attorno alla doppler zero tramite moltiplicazione per un fattore complesso ricavato dalla stima delle caratteristiche del clutter.

Successivamente i campioni di segnale ricevuto vengono convolti con i campioni di ognuno dei filtri appartenenti al banco doppler relativo al range di detezione del bersaglio, detti:

- $s(\cdot)$ il segnale ricevuto
- $h(\cdot)$ il filtro doppler

- $f(\cdot)$ l'uscita del filtro
- n indice del range con $n=1, \dots, N$
- k indice dello sweep con $k=1, \dots, M-1$
- j indice del banco
- i indice del filtro nel banco

$$f(i, n) = \sum_{k=0}^{M-1} s(k, n) \cdot h(k, i, j)$$

5.9 Elaborazione incoerente

Nelle modalità operative in cui il RASS opera in agilità di frequenza da impulso ad impulso si ha incompatibilità con l'integrazione coerente. Nell'integrazione incoerente i singoli impulsi vengono confrontati direttamente con una soglia e consiste nella somma di tutti i moduli appartenente allo stesso pacchetto.

5.10 Processo di detezione del segnale a valle della integrazione

Il processo di detezione si sviluppa secondo i passi descritti di seguito col la differenziazione specifica per modalità di integrazione coerente o incoerente. Integrazione incoerente:

- Estrazione del modulo tramite somma dei moduli dei singoli impulsi ricevuti.
- Confronto della somma ottenuta dal pacchetto di impulsi con una soglia fissa o adattiva (CFAR).
- Integrazione delle detezioni ottenute su più pacchetti.
- Integrazione coerente:
- Estrazione di un modulo per ciascuno dei filtri AMTD.
- Confronto delle uscite dei moduli con una soglia fissa o adattiva.
- Integrazione delle detezioni per ciascuno dei filtri AMTD.
- Integrazione delle detezioni ottenute su più pacchetti.

Le soglie fisse sono definite sul criterio della massimizzazione della probabilità di detezione mentre quelle adattive sulla minimizzazione della probabilità di falso allarme.

Per la determinazione di queste ultime viene adottato l'algoritmo CFAR OSGO (Constant False Alarm Rate Ordered Statistics Greater Of) che preleva in ingresso i dati provenienti dalle stime dei parametri caratteristici del clutter e fornisce in uscita la soglia di detezione, implementando il seguente schema di elaborazione:

- Definizione della CUT (Cell Under Test) ed una regione di guardia di M celle intorno ad essa.
- Definizione di due finestre in range della dimensione complessiva di N celle centrate attorno alla CUT.
- Posizionamento in un vettore ordinato in senso crescente dei valori di ampiezza delle detezioni relativi alle celle contenute nelle finestre.
- Scelta della ρ -esima componente di ognuno dei due vettori.
- Scelta del maggiore dei valori delle ρ -esime componenti.
- Definizione del parametro α e moltiplicazione dello stesso per l'ampiezza maggiore.

Il RASS rende disponibile lo STAC (Strong Target Adaptive Controller) un algoritmo che compensa l'effetto dei lobi laterali che si generano a seguito della compressione dell'impulso e che se non opportunamente trattati, in presenza di bersagli particolarmente riflettenti e vicini, possono generare eco indesiderate.

Il principio è quello di individuare il bersaglio altamente riflettente e selezionare delle soglie adattive CFAR nelle due finestre in range adiacenti a quelle all'interno della quale è avvenuta la detezione. La dimensione delle finestre è funzione dell'impulso e della sua compressione.

5.11 Ricostruzione video e sincronismi di presentazione

Il video analogico viene ricostruito prelevando il segnale digitale in due punti diversi della catena di signal processing.

La carta VITO (VIdeo To Output) riceve il segnale prelevato a monte ed a valle della processazione doppler e su entrambi i flussi compie le seguenti azioni:

- estrae i sincronismi video
- elabora il segnale digitale
- converte il segnale in formato analogico.
- In particolare il blocco elaborazione consiste nel produrre:
 - una rappresentazione combinata di Raw e Processed video secondo un parametro impostabile da operatore
 - una rappresentazione logaritmica in funzione dell'ampiezza del segnale, in modo tale che sia possibile prediligere la visualizzazione dei bersagli le cui eco si attestino in regioni di dinamica medio basse.

La VITO, inoltre, produce messaggi in formato ethernet contenenti le informazioni del video digitale e le invia sul radar bus.

5.12 Recording

La funzione di recording consiste nel prelevare insiemi di dati appartenenti a stadi diversi della catena di elaborazione di signal processing, formattarli in un messaggio nello standard Fast Ethernet ed inviarli all'esterno del Radar Processor.

Un host computer riceve i messaggi attraverso un collegamento dedicato e li memorizza su un idoneo supporto di massa per consentire la successiva analisi sia tecnica che operativa.

5.13 Plot Extraction

Come già anticipato nel paragrafo 3.6, la funzione Plot Extraction ha il compito di associare in plot le risposte dei filtri derivanti dal processo di detezione aggiungendo, ad ognuno di essi, una classificazione di tipo aereo o navale. La descrizione di seguito riportata, per quanto specifica del software del data processor del RASS, può essere considerata di validità sufficientemente

generale per tutti i sistemi che forniscono un analogo algoritmo di estrazione. Si ritiene utile, pertanto, spingerla ad un opportuno livello di dettaglio.

La PE (Plot Extraction) riceve in ingresso gli RBR (Range Bin Report), prodotti dall'integrazione delle risposte di un filtro agli impulsi appartenenti ad un singolo CPI e può essere attivata in modo settoriale su 32 settori fissi di uguale ampiezza.

Il data processor riceve un messaggio, con cadenza di CPI, contenente informazioni generali sul CPI, il numero di RBR estratti ed una lista degli stessi ordinata in range.

Si riportano di seguito le informazioni generali sul CPI che, per la descrizione della funzione, sono ritenute di maggior rilevanza:

- Modo operativo, contiene l'informazione sul numero di filtri utilizzati e il tipo di integrazione effettuata.
- Codice di compressione, contiene l'informazione relativa al tipo di impulso utilizzato.
- Numero d'ordine del CPI.
- Codici delle frequenze di trasmissione.
- PRT.
- Azimut del CPI, si noti che l'informazione è stimata dalla conoscenza dell'angolo relativo al CPI precedente, dalla PRT e, tramite la modalità operativa, dalla velocità di rotazione dell'antenna.

Si riportano di seguito le informazioni relative alla lista degli RBR:

- Range espresso in passi di clock.
- RTWS, che consente di risalire al banco di filtri MTD adottato per la detezione.
- Filtro di ampiezza, ampiezza della risposta di un filtro al singolo impulso.
- RTCC, sensore di discontinuità del clutter.
- DET, etichetta di detezione, parola nella quale, ad ogni bit, è associato il valore logico 1 al superamento della soglia di detezione relativo al filtro associato e 0 altrimenti.

L'estrazione dei plot si sviluppa su tre fasi distinte, la prima delle quali inizia con l'arrivo dei messaggi dal signal processing, ed ha il compito di associare in range gli RBR elencati nel messaggio stesso per la formazione di strutture più complesse denominate gruppo.

La formazione del gruppo avviene se e solo se due RBR sono adiacenti in range o ad una distanza non maggiore di un numero prefissato di celle di risoluzione, la dimensione del gruppo non si può estendere per un numero di RBR maggiore di una soglia determinata in funzione dell'ampiezza delle primitive appartenenti all'RBR stesso.

Un gruppo deve inoltre osservare il criterio del minimo profondo che si basa su considerazioni differenziali sull'involuppo delle ampiezze degli RBR in funzione del range, detti quindi,

- M_1, M_2 ed M_3 , i valori delle ampiezze relativi a tre RBR qualsiasi ma ordinati in range
- ΔM_{th} una soglia che individui una massima differenza di ampiezza consentita
- indicando con “ \wedge ” l'operatore logico “and”

qualora,

$$(M_1 - M_2 > \Delta M_{th}) \wedge (M_3 - M_2 > \Delta M_{th})$$

gli RBR da cui derivano M_1 ed M_3 , non possono appartenere allo stesso gruppo.

La classe informatica caratterizzante il gruppo contiene i seguenti campi:

- Range, il cui valore viene dato da una media ponderata, rispetto al quadrato delle ampiezze, dei range dei due RBR aventi ampiezza maggiore.
- Ampiezza, il cui valore è quello della massima ampiezza degli RBR che lo costituiscono.
- Estensione, il cui valore è il numero degli RBR associati (nel calcolo rientrano anche le celle di risoluzione in distanza che non hanno originato RBR).
- Filtro, enumerato associato al filtro dal quale è stata estratta l'ampiezza massima.

- Frequenza doppler ambigua, campo valido nel solo caso in cui almeno un RBR abbia ampiezza superiore ad una soglia ed il cui valore è dato da una media ponderata, rispetto ai quadrati delle ampiezze, delle frequenze doppler calcolate.
- Etichetta di validità della doppler, enumerato che indica il livello di credibilità del calcolo della frequenza doppler ambigua e che può assumere i valori: IMPRECISA, VALIDA, NON VALIDA.
- Etichetta di validità, il cui valore è quello della migliore etichetta di validità degli RBR che lo compongono.
- Doppler, il cui valore viene dato da una media ponderata dei valori delle doppler ambigue di miglior categoria degli RBR appartenenti al gruppo
- Altre liste di informazioni derivanti dai singoli RBR e non associate nel gruppo.

Per determinare l'appartenenza di un gruppo al dominio aereo o di superficie vengono valutati i parametri RCS (Radar Cross Section) e BW (Band Width) relativi agli RBR che lo compongono. L'RCS assume il valore della somma dei quadrati di tutte le ampiezze delle primitive che lo compongono, anche se esse non hanno superato la soglia di decisione, la BW è data dal numero di primitive che hanno ampiezza superiore ad una determinata soglia.

Il gruppo viene assegnato al dominio di superficie se ha un estensione maggiore di una soglia prefissata ed almeno un suo RBR ha una BW minore di una soglia prefissata, il gruppo viene assegnato al dominio aereo se ha una estensione minore di una soglia prefissata ed almeno un suo RBR ha una BW maggiore di una soglia prefissata.

Nei casi rimanenti il radar processor assegna al gruppo una etichetta non classificabile.

I gruppi vengono inseriti in una struttura informatica che, in analogia all'orizzonte radar, assume la forma di una coda circolare. La dimensione della corona è data da $M \cdot N$ gruppi dove N è il numero massimo di gruppi che possono essere estratti per un CPI, M è pari al doppio della estensione azimutale massima di un target report espresso in CPI.

La coda, così costituita, agevola la seconda fase della creazione dei plot durante la quale i gruppi vengono accorpati in strutture più complesse denominate cluster, in particolare vengono verificati i criteri di associazione dei gruppi con cluster già esistenti, da ora in poi cluster attivi e qualora non fossero verificati inizializzati essi stessi in cluster autonomi.

Durante la verifica del primo criterio, separazione in azimut, si parte da un cluster attivo e si verifica la compatibilità di alcuni dei suoi valori con quelli relativi al gruppo col quale è in corso il tentativo.

Se la compatibilità viene a mancare con i gruppi interni al CPI corrente e con quelli interni ai due CPI successivi si ha la chiusura del cluster, ad indicare che la distanza angolare non è compatibile con l'appartenenza ad uno stesso bersaglio.

Ma se:

- Il gruppo tentativo è etichettato non valido in doppler (o se lo è l'ultimo gruppo associato)
- La differenza tra le frequenze doppler del gruppo tentativo e dell'ultimo gruppo associato al cluster è minore di una soglia prestabilita

il primo criterio di associazione viene verificato.

Per la verifica del secondo criterio viene valutata l'estensione in range, in particolare il cluster comprende un valore di range minimo, R_{min} , uguale al valore di range minore di un gruppo al suo interno ed un valore di range massimo, R_{max} , uguale al valore di range maggiore di un gruppo al suo interno, detto R_G il range del gruppo e definita C_{th} , una opportuna soglia di correlazione, il secondo criterio viene convalidato al verificarsi della seguente relazione:

$$(R_G < R_{min} + C_{th}) \wedge (R_G > R_{max} - C_{th})$$

Il terzo ed il quarto criterio sono equivalenti ai criteri di involuppo delle ampiezze e contiguità in range utilizzati nell'associazione in gruppi.

In definitiva la struttura cluster conterrà le seguenti informazioni:

- I campi necessari all'organizzazione della struttura stessa in un tipo di dato astratto
- Il modo operativo

- ampiezza massima
- filtro associato all'ampiezza massima
- RTWS
- RTCC
- contatore di buchi consecutivi in azimut ,dove un buco è un gruppo mancante tra due appartenenti allo stesso cluster
- flag di associazione, che in ogni CPI permette di stabilire se il cluster ha associato con un gruppo
- azimut del primo gruppo associato
- range minimo
- range massimo
- estensione in CPI
- massima estensione in CPI, che, a differenza del dato precedente viene aggiornato dinamicamente durante la correlazione dei gruppi
- Numero di CPI in cui è stato estratto l'ultimo gruppo associato

Le strutture descritte vengono organizzate in liste ordinate in range.

L'ultima fase consiste nella chiusura del cluster, formazione del target report e relativo messaggio e cancellazione del cluster stesso dalla lista ordinata in range.

Avviene il target report se è verificata almeno una delle seguenti condizioni:

- superamento del numero massimo di buchi in range (due)
- raggiungimento della massima estensione in azimut
- verificarsi della condizione di minimo profondo nell'inviluppo delle ampiezze

Le informazioni riportate nel messaggio di target report sono:

- range, il cui valore è dato da una media ponderata, rispetto al quadrato delle ampiezze, dei range dei gruppi componenti, detti quindi:
 - ✓ R_{tr} , il range del target report
 - ✓ R_M , il range del gruppo avente ampiezza massima
 - ✓ R_i , il range del generico gruppo
 - ✓ A_i , l'ampiezza del generico gruppo

$$R_{tr} = R_M + \frac{\sum_i A_i^2 \cdot (R_i - R_M)}{\sum_i A_i^2}$$

- azimut, il cui valore è dato da una media ponderata, rispetto al quadrato della ampiezze, degli azimut dei gruppi componenti, detti quindi:
 - ✓ AZ_{tr} , l'azimut del target report
 - ✓ AZ_1 , l'azimut dei primo gruppo che è stato correlato con il cluster
 - ✓ AZ_i , l'azimut del generico gruppo
 - ✓ A_i , l'ampiezza del generico gruppo

$$AZ_{tr} = AZ_1 + \frac{\sum_i A_i^2 \cdot (AZ_i - AZ_1)}{\sum_i A_i^2}$$

- filtro da cui è stata estratta la massima ampiezza nei CPI operanti a PRF alta
- filtro da cui è stata estratta la massima ampiezza nei CPI operanti a PRF bassa
- filtro da cui è stata estratta la massima ampiezza
- massima ampiezza tra quelle dei gruppi associati al cluster
- indice di qualità, enumerato i cui valori hanno il significato di seguito riportato:
 - ✓ 0: TR costituito da un solo gruppo
 - ✓ 1: TR costituito da due gruppi estratti da CPI con PRF diverse
 - ✓ 2: TR costituito da due gruppi estratti da CPI con uguale PRF
 - ✓ 3: TR costituito da tre o più gruppi estratti da CPI con PRF diverse
- confidence, enumerato i cui valori esprimono una caratterizzazione globale del TR estratto
- velocità radiale, campo che, qualora valido, è accompagnata da una relativa etichetta di validità
- frequenza doppler ambigua del gruppo, ad ampiezza massima, estratto con CPI a PRF alta
- frequenza doppler ambigua del gruppo, ad ampiezza massima, estratto con CPI a PRF bassa

- RTWS, valori relativi al gruppo avente ampiezza massima
- RTCC, valori relativi al gruppo avente ampiezza massima
- target type, enumerato che definisce il dominio di appartenenza del target e che può assumere i seguenti valori:
 - ✓ AIR, il TR è assegnato al dominio aereo se sono verificate almeno due delle seguenti tre condizioni, indicando con:
 - N^{RBR} , è il valore del campo numero di RBR associati appartenente al singolo gruppo
 - N^{AIR} , è il valore del campo numero di RBR associati del dominio (in questo caso aereo) appartenente al singolo gruppo
 - Th^{AIR}_{perc} , una opportuna soglia che caratterizza l'appartenenza percentuale al dominio degli RBR nel cluster (in questo caso aereo)
 - Th^{AIR}_v , una opportuna soglia di velocità per l'appartenenza al dominio (in questo caso aereo)
 - Th^{AIR}_{val} , una opportuna soglia che caratterizza la validità dell'assegnazione del cluster al dominio (in questo caso aereo)
 - V_R , la velocità radiale
 - i , indice di estensione ai gruppi

$$\text{Cond 1: } \frac{\sum_i N_i^{AIR} - \sum_i N_i^{SUR}}{\sum_i N_i^{AIR} + \sum_i N_i^{SUR}} > Th^{AIR}_{perc}$$

$$\text{Cond 2: } V_R > Th^{AIR}_v$$

$$\text{Cond 3: } \frac{\sum_i N_i^{AIR} + \sum_i N_i^{SUR}}{\sum_i N_{RBR}} > Th^{AIR}_{VAL}$$

- ✓ SURFACE, il TR è assegnato al dominio di superficie se sono verificate almeno due delle seguenti tre condizioni, si utilizzano le stesse definizioni del dominio aereo:

$$\text{Cond 1: } \frac{\sum_i N_i^{SUR} - \sum_i N_i^{AIR}}{\sum_i N_i^{AIR} + \sum_i N_i^{SUR}} > Th_{perc}^{SUR}$$

$$\text{Cond 2: } V_R < Th_V^{SUR}$$

$$\text{Cond 3: } \frac{\sum_i N_i^{AIR} + \sum_i N_i^{SUR}}{\sum_i N_{RBR}} > Th_{VAL}^{SUR}$$

✓ RTQC (Real Time Quality Control), il range e l'azimut di ogni TR viene confrontato con gli stessi parametri dell'RTQC, al fine di identificare quello prodotto dalla generazione dei segnali di test. Le soglie usate per questo confronto devono essere dello stesso ordine di grandezza dei valori di risoluzione in range e azimut richiesti. Per ogni TR vengono eseguiti i seguenti quattro tipi di test:

- presenza, si verifica che il TR cada nella finestra di presenza dell'RTQC.
- Precisione in range, solo per i TR che cadono nella finestra di presenza, si verifica il valore del range estratto rispetto a quello di programmazione.
- Precisione in azimut, solo per i TR che cadono nella finestra di presenza, si verifica il valore del azimut estratto rispetto a quello di programmazione.
- Precisione in ampiezza, solo per i TR che cadono nella finestra di presenza, si verifica il valore di ampiezza estratto rispetto a quello di programmazione.

- Un identificatore dei gruppi.
- Numero di gruppi, intero che indica il numero di gruppi associati nel target.

Al target report può essere assegnata una velocità radiale quando è costituito da almeno due gruppi contigui, l'algoritmo di estrazione verifica innanzitutto che i due gruppi siano stati estratti da CPI con PRF diverse, che chiameremo PRF_1 e PRF_2 , e che le due frequenze doppler ambigue, che chiameremo fd_1 ed fd_2 , siano etichettate valide.

Indicando con fd la frequenza doppler non ambigua avremo:

$$fd = fd_1 + M \cdot PRF_1$$

$$fd = fd_2 + N \cdot PRF_2$$

che, nel caso in cui si stia utilizzando una modalità operativa che prevede agilità di frequenza, devono essere riscritte considerando la diversa lunghezza d'onda dei due CPI:

$$V_R = \frac{\lambda_1 \cdot fd_1}{2} + M \cdot \frac{\lambda_1 \cdot PRF_1}{2}$$

$$V_R = \frac{\lambda_2 \cdot fd_2}{2} + M \cdot \frac{\lambda_2 \cdot PRF_2}{2}$$

dove V_R è la velocità radiale del bersaglio rispetto alla nave.

Indicando con:

$$Va_1 = \frac{\lambda_1 \cdot fd_1}{2}$$

$$Va_2 = \frac{\lambda_2 \cdot fd_2}{2}$$

$$VR_1 = \frac{\lambda_1 \cdot PRF_1}{2}$$

$$VR_2 = \frac{\lambda_2 \cdot PRF_2}{2}$$

possiamo scrivere

$$V_R = Va_1 + M \cdot VR_1$$

$$V_R = Va_2 + N \cdot VR_2$$

Il sistema scritto risulta indeterminato perché in due equazioni e tre incognite, sapendo però che i valori di M ed N possono differire al più di una unità è possibile aggiungere una delle seguenti equazioni

$$M = N$$
$$M = N + 1$$
$$M = N - 1$$

e verificare che solo una delle tre possibili soluzioni appartiene al campo di interesse.

5.14 Temporizzazione dell'apparato e gestione interfacce

L'Host Computer per la funzione di temporizzazione del sistema e comunicazione coi sottoassiemi si avvale delle periferiche VEG, IMI e MIB. La carta VEG (VME event generator) ospita il generatore di eventi temporali che è il cuore della funzione timing, il quale:

- produce il segnale di Start Sweep (o TBR Time base Reset) che indica l'istante temporale di inizio sweep
- genera tutti i clock necessari al processo radar come trigger pretrigger e range gate
- genera gli stimoli necessari al processo di iniezione di test target all'interno della catena di ricezione
- gestisce la ricezione dei segnali ACP (Azimut Change Pulse) provenienti dall'AG al fine di sincronizzare il TBR con la rotazione dell'antenna.

La VEG è un modulo slave programmabile che si interfaccia direttamente sul bus VME, ed è costituito essenzialmente da una memoria di 64 Kb le cui locazioni hanno una dimensione di 18 bit.

A seconda della modalità operativa in uso, nella memoria vengono posti gli eventi appartenenti ad un singolo sweep, con un ordine linearmente dipendente dalla cella di risoluzione in azimut, in modo tale che, alla generazione del TBR, avvenga il contemporaneo azzeramento del contatore di indirizzi.

La carta IMI (Input Message Interface) gestisce il transito dei segnali di timing dalle diverse utenze dell'apparato verso il bus VME in modo da renderli disponibili all'Host Computer.

La carta MIB (Multiple Interface Board), attraverso il bus VME, gestisce la

trasmissione dei messaggi dall'Host Computer verso le diverse utenze dell'apparato.

5.15 Gestione BITE

All'Host Computer è demandato il BITE (Built In Test Equipment), funzione di auto-diagnosi che attraverso:

- La schedula di opportune attività
- la valorizzazione e filtraggio delle informazioni provenienti dai vari sottoassiemi del radar
- la diagnosi dei messaggi di failure

consente la visibilità dello stato del sistema sotto il punto di vista dell'efficienza operativa.

Nella prima fase l'Host Computer interroga, secondo una schedula prefissata, i vari sottoassiemi del radar e raccoglie le informazioni di failure grezze provenienti da ognuno di essi.

Successivamente, secondo una logica di incidenza statistica, verifica quali segnalazioni sono stabili e scarta eventuali falsi allarmi dovuti a stati transitori dei sottoassiemi.

I test che stabilmente hanno dato risultato negativo vengono inviati ad un blocco logico che ha la funzione di identificare in modo non ambiguo l'unità che ha causato il malfunzionamento.

Le predisposizioni per un efficace ricerca avaria sono:

- la definizione delle LRU (Lower Replaceble Unit) intese come minime unità sostituibili
- la definizione di alcuni loop di BITE ognuno dei quali produca un risultato del test in un punto differente della cascata logica che coinvolge le LRU in esame.

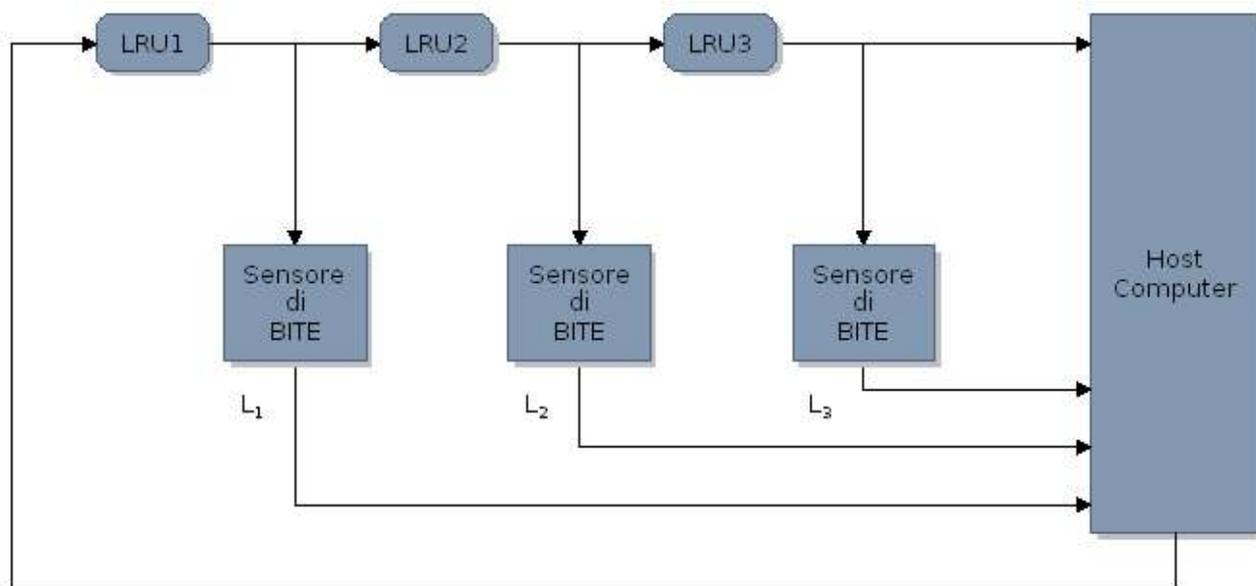


Fig. 5.15-1 Logica di verifica del BITE

Dal disegno si evince come, chiamando L_i le variabili booleane che assumono il valore del risultato del test eseguito nel sensore di BIT e tenendo in considerazione che un malfunzionamento in una unità possa modificare il pattern di verifica della LRU successiva, nel caso in cui

$$\begin{aligned} L_1 &= 0 \\ L_2 &= 1 \\ L_3 &= 1 \end{aligned}$$

le LRU in avaria possano essere o la LRU₂ o la LRU₃.

5.16 Naval Tracking Unit

La NTU ha il compito di fornire al sistema di comando e controllo i dati traccia relativi al settore corrente di scansione, elaborando i dati provenienti dalla funzione di plot extraction effettuata dal radar processor.

E' costituito dai seguenti tre componenti di configurazione software (CSCI Computing Software Configuration Item):

- il TWS (Track While Scan), cuore dell'algoritmo

- il RIM (Radar Interface Management), che costituisce un'interfaccia tra il TWS ed il radar processor per lo scambio delle informazioni di plot
- il TKH (TracKing Handler) che costituisce un'interfaccia tra il TWS e le rimanenti periferiche per lo scambio di informazioni quali stati di funzionamento e modalità operative.

Il TKH ed il RIM disaccoppiano il TWS dalle caratteristiche specifiche del RASS consentendo, dopo essere stati opportunamente modificati, la sua esportazione su un sistema differente.

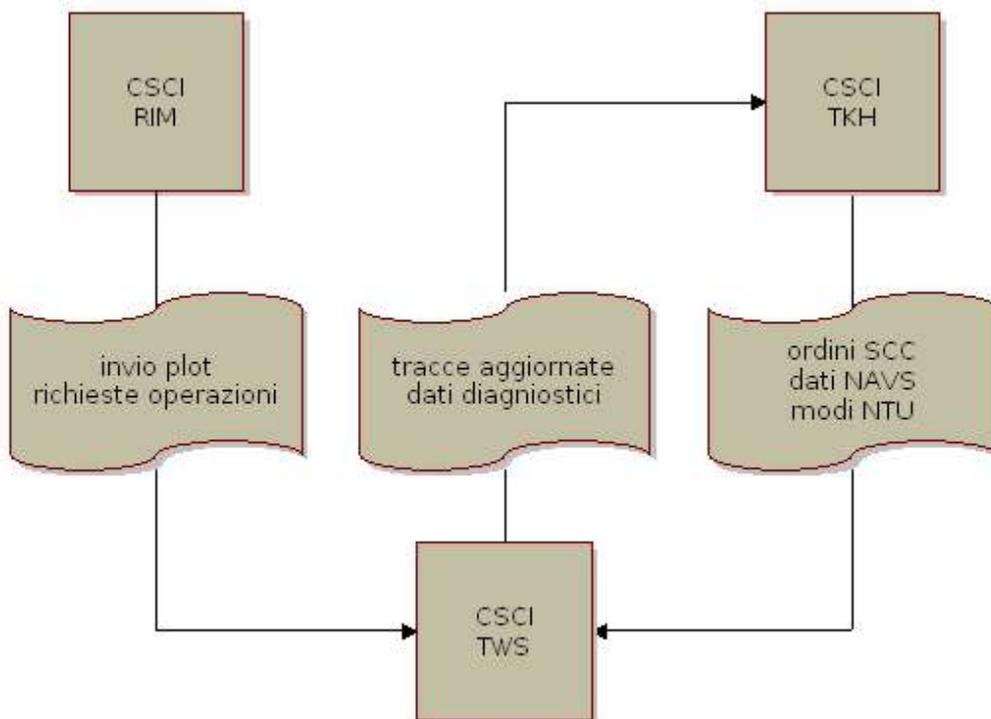


Fig. 5.16-1 Diagramma di contesto NTU

Il RIM trasmette al TWS i seguenti dati:

- l'Istante dell'ultimo passaggio dell'antenna per il nord ed il tempo locale del sistema
- la velocità della nave nelle sue componenti cartesiane (fornita dal solcometro)
- il settore corrente di scansione, definito da un intero progressivo e dai valori in azimut di inizio e fine settore

- le informazioni di plot in termini di: indice progressivo, ampiezza, categoria, posizione relativa alla nave e velocità radiale

Il TKH trasmette al TWS i seguenti dati:

- i modi di funzionamento della NTU
- la velocità della nave nelle sue componenti cartesiane (fornita da sistema integrato di navigazione)
- gli ordini provenienti dal sistema di comando e controllo per la creazione di una traccia, il cambio della sua categoria, la sua eliminazione o il cambio della modalità di tracciamento
- le richieste relative alle aree AICA (Automatic Initiation Control Area) come crea, modifica ed elimina.

Il TWS trasmette al TKH i seguenti dati:

- i dati traccia relativi al settore di scansione corrente
- le risposte alle richieste relative alle tracce
- le risposte alle richieste relative alle aree
- alcune informazioni di autodiagnosi.

Gli oggetti informatici utilizzati sono classi accorpate nei seguenti gruppi: le *tracce*, le *finestre* e le *strutture di controllo*.

La classe *traccia* è la rappresentazione interna del sistema di un oggetto del mondo reale come una nave o un aereo, possiede come attributi un numero identificativo, la sua posizione stimata per la scansione radar corrente e quella predetta per la scansione radar successiva, un tempo di validità e la categoria di appartenenza.

Le responsabilità sono funzioni che consentono di modificare gli attributi propri della classe, e per la classe *traccia* sono: la creazione e la cancellazione, la stima, la predizione ed una traslazione della posizione.

La classe *traccia* generalizza le seguenti sottoclassi:

- *traccia one plot*
- *traccia tentative*
- *traccia firm*
- *traccia external*

Ogni sottoclasse eredita gli attributi e le responsabilità della classe *traccia* ed a

questi ne aggiunge dei propri specifici.

Una particolare traccia è la *own ship*, cioè la nave sulla quale è imbarcato il radar, e per questa è stata definita una classe a parte.

La classe *window* definisce figure geometriche utilizzate nell'algoritmo, gli attributi principali sono la posizione del centro e la sua dimensione mentre le responsabilità ne consentono il riposizionamento e la modifica delle dimensioni. Altre tre responsabilità molto importanti, la cui funzione sarà chiarita in seguito, sono *correlate*, *plot in window* e *compute correlation index*.

La classe *window* generalizza le seguenti sottoclassi:

- finestra *one plot*
- finestra *tentative*
- finestra *firm*
- finestra *MHfirm*
- finestra *external*

Ogni sottoclasse eredita gli attributi e le responsabilità della classe *window* ed a questi ne aggiunge dei propri specifici.

La classe *control structures* generalizza le seguenti sottoclassi:

- *correlation relationship*
- *AICA* (Automatic Iniziation Control Grid)
- *AICG* (Automatic Iniziation Control Area)

La sottoclasse *correlation relationship* rappresenta tutte le relazioni che possono intercorrere tra gli altri oggetti software che popolano il dominio. In particolare tra i suoi attributi ci sono l'identificativo numerico di una traccia e l'identificativo numerico di un plot (con l'aggiunta di alcuni dati).

Alcune responsabilità sono quelle di seguito elencate:

- *update correlation relationship*
- *associate one plot track*
- *associate tentative track*
- *associate firm track*
- *associate external track*

Gli attributi delle sottoclassi *AICA* ed *AICG* definiscono rispettivamente delle aree e delle griglie relative alla cinematiche ed alle categorie delle tracce a cui si riferiscono.

Alcune responsabilità consentono, ad esempio l'aggiornamento delle dimensione e delle aree o la verifica che un plot, dato in ingresso appartenga all'AICA istanziata.

Per introdurre l'algoritmo è necessario fare la seguente premessa: durante la scansione del settore corrente il TWS preleva il valore di posizione predetto di tutte le tracce esistenti ed inizializza una finestra attorno al valore predetto solo quando almeno una porzione della finestra stessa ricadrà all'interno del settore successivo.

In questo modo, all'inizio della scansione corrente, ogni traccia interna al settore avrà una propria finestra di correlazione dipendente dalla cinematiche della traccia stessa.

Quando il radar processor invia un plot alla NTU se questo cade all'interno di una finestra di correlazione (chiamata della responsabilità *plot in window*) viene istanziata una relazione di correlazione tra una traccia ed un plot.

Un plot può appartenere a più di una relazione di correlazione.

Durante la fase successiva il TWS elabora in sequenza tutte le relazioni di correlazione stabilite durante la fase precedente e aggiorna di conseguenza le tracce coinvolte stabilendo delle relazioni di associazione univoche tra un plot ed una traccia.

I casi possibili sono quindi i seguenti:

- quando il plot appartiene ad una relazione di correlazione con una traccia *one plot* viene chiamata la responsabilità della relazione di correlazione *associate one plot track*
- quando il plot appartiene ad una relazione di correlazione con una traccia *tentative* viene chiamata la responsabilità della relazione di correlazione *associate tentative track*
- quando il plot appartiene ad una relazione di correlazione con una traccia *firm* viene chiamata la responsabilità della relazione di correlazione *associate firm track*.

In particolare quando un plot appartiene a più di una relazione di correlazione, il TWS confronta i valori risultanti dalle chiamate delle responsabilità *compute correlation index* di ognuna delle finestre di correlazione e lo associa con la

traccia la cui finestra ha restituito il valore più alto.

Il passo successivo è l'inizializzazione ed ha come ingressi tutti i plot e tutte le tracce non associate durante la scansione corrente: qualora sussistano ulteriori condizioni, tramite l'istanza delle responsabilità *create* e *delete* il plot diventa traccia *one plot*, la traccia *one plot* diventa traccia *tentative* e la traccia *tentative* diventa traccia *firm*.

Al termine dell'inizializzazione avviene l'aggiornamento delle tracce, durante il quale vengono predetti i valori cinematici della traccia stessa, e delle finestre, che comporta il calcolo delle finestre di correlazione per ognuna delle tracce appartenente alla finestra di scansione corrente che verranno impiegate durante la fase di correlazione della scansione successiva.

E' opportuno a questo punto aggiungere che il posizionamento della finestra di correlazione non dipende solo dalla velocità della traccia ma anche dal comportamento cinematico della traccia stessa e questo viene valutato tramite le responsabilità delle classi AICA ed AICG.

Inoltre il TWS, in analogia a quanto avviene per le tracce inviate dal radar processor, può tracciare plot inviati dall'esterno attraverso il CSCI TKH, le tracce e le finestre sono denominate *external*.

6 Funzioni di classificazione del bersaglio

Il RASS ha la possibilità di integrare alcune tecniche di radar imaging per soddisfare l'esigenza operativa di classificare un bersaglio, il Range Profile e l'ISAR.

La funzione Range Profile traccia solo un "profilo" della nave illuminata ma può essere attivata partendo da qualsiasi modalità operativa senza che sia necessario arrestare la rotazione dell'antenna, al termine delle elaborazioni il sistema torna ad impiegare la modalità operativa di partenza.

Per la funzione ISAR è invece necessario arrestare l'antenna nella direzione di rilevamento del bersaglio per un periodo di osservazione che può durare fino ad alcune centinaia di millisecondi, al termine dei quali all'operatore verrà fornita una immagine bidimensionale dello stesso.

Presupposto comune per l'impiego di entrambe le funzioni è che i target sui quali si attivano abbia qualità elevata.

6.1 Range Profile

Il Range profile è una tecnica per l'alta risoluzione, sulla sola dimensione range, che si basa sulla proprietà del filtro adattato secondo cui il prodotto tra la durata e la banda di un impulso, all'uscita del filtro ad esso adattato, è circa uguale ad 1.

Indicando con:

- ΔR la capacità risolutiva in distanza
- B la banda del segnale
- c la velocità della luce ($3 \cdot 10^8$ m/s)
- p un fattore di peggioramento tale che $p \simeq 1.4$
- T_i la durata del segnale

$$\text{se } \Delta R = \frac{c \cdot T_i}{2}$$

$$\text{e } B \cdot T_i = p$$

avremo che

$$B = \frac{p \cdot c}{2 \cdot \Delta R}$$

Quindi, per ottenere una banda teorica di 1 metro dovremo utilizzare un impulso di banda 210 Mhz e l'informazione alla risoluzione voluta sarà disponibile ogni impulso trasmesso.

Questa modalità di compressione dell'impulso viene detta Range Profile con banda istantanea e gli impulsi utilizzati sono di tipo chirp.

Scandire bande talmente estese utilizzando un singolo impulso comporta delle difficoltà considerevoli, si utilizza perciò, un treno di impulsi rettangolari $r(t)$ avente la seguente forma:

$$r(t) = \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} A \operatorname{rect} \left(\frac{t - nT_R}{T_i} \right) \cdot \cos \left(2\pi f_0 \cdot (t - nT_i) + 2\pi n \Delta F_R \cdot (t - nT_i) + \frac{\mu \cdot (t - nT_i)^2}{2} \right) \right\}$$

dove μ è un parametro di modulazione lineare della frequenza rispetto al tempo dato da:

$$\mu = \frac{2\pi \Delta F_i}{T_i}$$

e dove:

- T_R è la PRT
- T_i è la durata dell'impulso
- ΔF_R è la differenza frequenziale istantanea che si valuta tra i fronti in salita di due impulsi consecutivi
- ΔF_i è la banda impulsiva del singolo impulso
- f_0 è la frequenza iniziale di scansione
- N è il numero di impulsi del pacchetto indicizzato da n
- A è l'ampiezza dell'impulso.

Derivando l'argomento del coseno si ottiene la seguente espressione della

pulsazione istantanea:

$$\omega(t) = 2\pi f_0 + 2\pi n \Delta F_R + \frac{2\pi \Delta F_i}{T_i} \cdot t - \frac{2\pi \Delta F_i}{T_i} \cdot n T_R$$

Il treno $r(t)$ è composto quindi, da N impulsi rettangolari ognuno dei quali è modulato con una sinusoide chirp con frequenze che vanno

$$\begin{aligned} \text{da } & f_0 + n \cdot \Delta F_R \\ \text{a } & f_0 + n \cdot \Delta F_R + \Delta F_i \end{aligned}$$

Dovendo scandire una banda di 210 Mhz si può porre, ad esempio:

- $N = 21$
- $f_0 = 10 \text{ Mhz}$
- $\Delta F_R = 10 \text{ Mhz}$
- $\Delta F_i = 5 \text{ Mhz}$

Utilizzare un treno di questo tipo comporta l'indubbio vantaggio della facilità con la quale lo si riesce a sintetizzare ma lo svantaggio che la banda da scandire subisce, di fatto, un campionamento in frequenza con periodicità ΔF_R , la risposta in distanza risulta quindi disponibile in forma periodica con una relativa ambiguità ΔR_a data dalla formula seguente:

$$\Delta R_a = \frac{c}{(2 \cdot \Delta F_R)}$$

Nel caso in cui la dimensione in range del bersaglio risulti maggiore di ΔR_a , l'effetto visivo sull'immagine risulterà quella di un ripiegamento del range profile su se stesso.

Il problema si risolve facendo in modo che il passo di campionamento frequenziale sia minore della banda istantanea del singolo impulso radar:

$$\Delta F_R < \Delta F_i$$

cioè la frequenza valutata all'istante del fronte in discesa di un impulso deve essere maggiore della frequenza valutata all'istante del fronte in salita dell'impulso successivo.

La tecnica descritta viene detta Range Profile con banda sintetica ed impone l'utilizzo di un numero molto elevato di impulsi, per limitare il numero di impulsi si può utilizzare una tecnica ibrida, derivata dalla banda istantanea e dalla banda sintetica, consistente nell'impiegare un treno composto da pochi impulsi ognuno dei quali possiede già una banda istantanea sufficientemente estesa.

6.2 ISAR

Qualsiasi moto meccanico di un corpo può essere scomposto nella traslazione di un punto P ad esso appartenente ed una rotazione attorno allo stesso punto, nell'analisi si possono quindi individuare le seguenti grandezze:

- s vettore traslazione del punto P
- d angolo di rotazione del corpo attorno a P
- ω velocità angolare di rotazione del corpo attorno a P

La tecnica ISAR consente di estrapolare immagini del bersaglio componendo alla tecnica range profile le informazioni che si ottengono dal moto di rotazione del bersaglio rispetto al radar (aspect angle), tenendo conto che il moto traslatorio non dà un contributo influente.

Il radar impulsivo effettua di fatto un campionamento dell'informazione relativa alla risposta doppler derivante dal moto di rotazione angolare del bersaglio, ed introduce una periodicità che produce un ripiegamento dell'immagine nell'intervallo di ambiguità conseguente.

Detti:

- D : la dimensione fisica del bersaglio
- Δx : la capacità risolutiva in distanza
- N : numero di impulsi del pacchetto
- T : tempo di osservazione

il problema dell'ambiguità si risolve scegliendo una frequenza di ripetizione degli impulsi data da:

$$PRF \geq \frac{2\omega D}{\lambda}$$

e la risoluzione richiesta si ottiene trasmettendo sul bersaglio N impulsi per un tempo di osservazione specificato dalle seguenti:

$$N \geq \frac{p\lambda PRF}{2\omega \Delta x}$$

$$T = N \cdot PRF$$

Se, per esempio, consideriamo le seguenti condizioni:

- Δx : 1 m
- λ : 3 cm
- D : 50 m
- ω : 2°/s
- p : 1.4

saranno necessari almeno 70 pacchetti alla PRF di 120 Hz con tempi di osservazione dell'ordine della centinaia di millisecondi.

Le tecniche range profile ed ISAR si compongono:

- trasmettendo un numero di pacchetti uguale al numero di impulsi richiesti dalla tecnica ISAR alla relativa PRF di pacchetto
- ogni pacchetto deve avere un numero di impulsi uguale a quello richiesto dalla tecnica range profile alla relativa PRF di impulso.

6.3 Modulo aggiuntivo KRINA

Le due funzioni di classifica del bersaglio nel RASS sono integrate dal KRINA (Kit Riconoscimento NAVale), un modulo aggiuntivo che si interfaccia col sistema come specificato nella seguente figura:

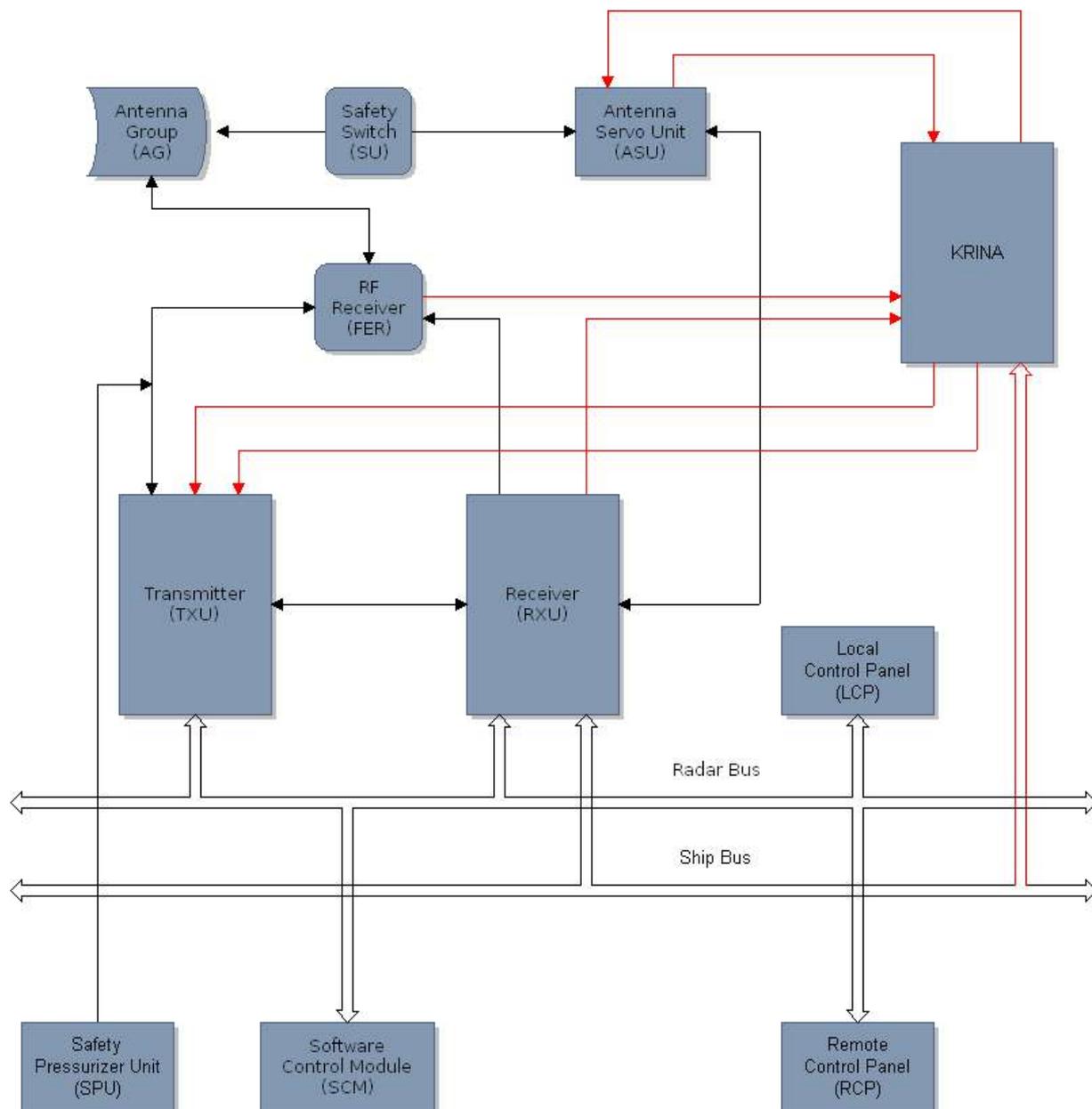


Fig. 6.1-1 Architettura di sistema con KRINA

I collegamenti necessari coinvolgono i seguenti sottoassiemi del RASS:

- RXU
 - ✓ un segnale di riferimento STALO alto viene inviato dalla Receiver Unit al KRINA
- TXU
 - ✓ il Krina genera un segnale master trigger verso la TXU, per consentire la trasmissione dell'impulso codificato
 - ✓ il Krina genera un segnale impulsato a radiofrequenza verso la TXU
- FER
 - ✓ una uscita dedicata del segnale ricevuto alla prima frequenza intermedia verso il KRINA
- ASU
 - ✓ un uscita dati di azimut verso il KRINA
 - ✓ segnale angolare per funzione ISAR verso l'ASU

APPENDICE A

Filtraggio α/β

Il filtraggio α/β trova la sua applicazione quando ad un sistema di elaborazione vengono forniti dei campioni di misura di un segnale, corrotto da rumore, con una periodicità T_s .

E' quindi un filtraggio numerico che, adottando il criterio del minimo errore quadratico medio, può assolvere alla seguente duplice funzione:

- stima: calcola i campioni che meglio approssimano i valori veri del segnale misurato
- predizione: calcola il campione che meglio approssima il valore futuro del segnale in esame.

Nell'ambito della progettazione radar trova applicazione nella stima e predizione della posizione di un bersaglio e nella stima e predizione della sua velocità.

In particolare, per un radar bidimensionale come il RASS, che determina la posizione del bersaglio sulle due componenti Range (ρ) ed Azimut (θ), il filtraggio α/β viene eseguito separatamente su ρ e θ , ricomponendo successivamente i dati nei vettori cinematici stima e predizione.

Indicando con:

- x : il vettore misurato posizione del bersaglio
- \dot{x} : il vettore misurato velocità del bersaglio
- n : istante temporale con periodicità T_s
- α : parametro di stima della posizione del bersaglio
- β : parametro di stima della velocità del bersaglio

ed assegnando ai pedici i significati di fianco riportati

- p : predizione
- s : stima

il filtraggio α/β consiste nel valutare:

$$x_s(n) = x_p(n) + \alpha \cdot (x(n) - x_p(n))$$

$$\dot{x}_s(n) = \dot{x}_s(n-1) + \frac{\beta}{T_s} \cdot (x(n) - x_p(n))$$

dove il vettore posizione predetto è dato da:

$$x_p(n+1) = x_s(n) + \dot{x}_s(n) \cdot T_s$$

I parametri α e β possono variare tra 0 e 1, e la loro funzione risulta evidente se, ad esempio, consideriamo il valore delle relazione posizione per $\alpha = 0$ e per $\alpha = 1$.

Per $\alpha = 0$	$x_s(n) = x_p(n)$
Per $\alpha = 1$	$x_s(n) = x(n)$

Il valore della posizione stimata, aumentando gradualmente il valore di α da 0 a 1, sarà pesato sempre più dal valore della posizione misurata e sempre meno da quello della posizione predetta.

Quindi, in funzione delle caratteristiche del bersaglio e delle cinematiche che si attende assuma, ad α e β vanno assegnati dei valori di compromesso, che consentano al filtro da una parte di rispondere in modo sufficientemente pronto alle variazioni cinematiche del bersaglio e dall'altra di eliminare comunque il rumore prodotto dagli errori di misura.

La determinazione di α e β viene effettuata in maniera euristica.

APPENDICE B

Stadi di amplificazione

Il magnetron è un tubo a vuoto costituito da

- un catodo cilindrico centrale di ferro la cui superficie esterna è ricoperta da uno strato di ossido (grigio scuro nel disegno)
- un anodo di rame a forma di tamburo coassiale al catodo (grigio chiaro nel disegno)
- uno spazio di interazione sottovuoto tra anodo e catodo (azzurro nel disegno)
- una coppia di magneti permanenti (non riportati nel disegno) che inducono un campo magnetico parallelo all'asse del cilindro del catodo.

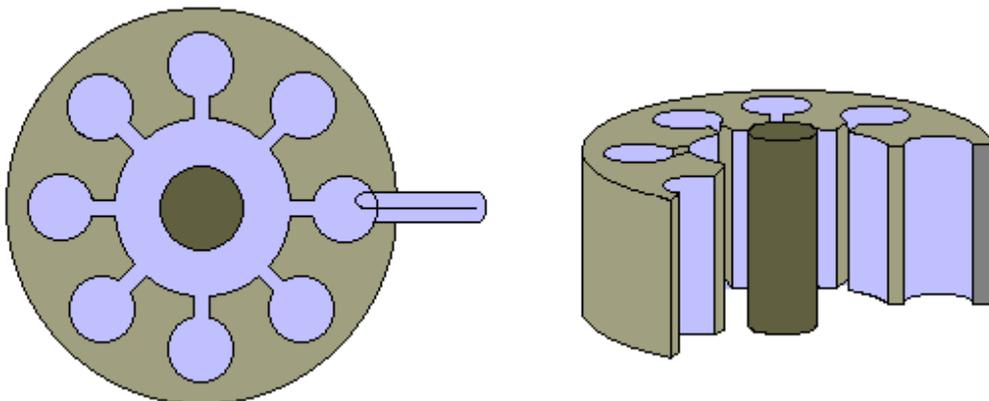


Fig. app-B-1 Struttura del magnetron

Il catodo viene posto ad un potenziale molto basso e, quando surriscaldato, emette elettroni che sfuggono verso l'anodo posto invece a potenziale positivo. La presenza del campo indotto dai due magneti permanenti flette il percorso degli elettroni nella direzione che, punto per punto, risulta perpendicolare al piano individuato dalle direttrici del campo elettrico e magnetico.

Così, il moto risultante degli elettroni è di forma circolare e tende a mantenersi all'interno della zona di interazione.

I fori circolari prodotti nell'anodo e gli intagli praticati radialmente all'asse del

catodo che collegano i fori alla zona di interazione, si comportano come delle cavità risonanti LC, dove i fori hanno comportamento di tipo induttivo e gli intagli di tipo capacitivo.

L'energia elettro-magnetica intrappolata all'interno di queste cavità oscilla con andamento sinusoidale e produce il seguente effetto: a seconda del tipo di comportamento assunto, se induttivo o capacitivo, aumenta o diminuisce l'intensità del campo elettrico in prossimità dell'intaglio, modificando di conseguenza, la distribuzione spaziale di elettroni nella zona di interazione. L'effetto elica, prodotto dagli elettroni, consente alle varie cavità di risuonare accordate.

All'interno di una cavità viene posto un circuito che spilla la radiofrequenza e la conduce verso l'antenna.

Il tubo descritto ha il grosso limite di non poter risuonare a frequenze diverse da quelle imposte dalla dimensione fisica delle sue cavità risonanti, per ovviare a tale limite si è dotato il magnetron del "tuning disk", cioè un anello che si può immaginare si ricavi prelevando una "fetta" di anodo e che venga poi calettato direttamente sull'asse del catodo.

Una rotazione del tuning disk tappa l'imboccatura dei fori e conseguentemente le caratteristiche delle cavità risonanti e consente di spostare la frequenza di trasmissione fino al 10% del suo valore di partenza.

I magnetron accordabili hanno permesso anche la realizzazione di radar ad impulsi codificati.

I magnetron, largamente utilizzati nei radar di bassa potenza, soffrono, però, dei seguenti problemi:

- la scarsa stabilità di fase non consente di utilizzare, in ricezione, un riferimento sufficientemente coerente per una efficace cancellazione del clutter
- dato che le variazioni di frequenza sono ottenute meccanicamente non è possibile realizzare sistemi che operino in agilità di frequenza
- lo spettro del segnale generato è affetto da considerevoli componenti spurie
- la frequenza di trasmissione è soggetta a forti derive in fase di riscaldamento (dilatazione termica delle cavità) e per invecchiamento

- le tensioni presenti tra anodo e catodo possono comportare la generazione di scariche elettrostatiche che abbattano la potenza a radiofrequenza.
- Ha una vita media molto ridotta in ragione della endemica fragilità del tubo a vuoto e, quando accordabile, dell'affaticamento meccanico delle parti in movimento.

Il TWT (Travelling Wave Tube) è un tubo a vuoto che sfrutta le interazioni tra l'energia cinetica di un fascio di elettroni ed l'energia potenziale di un campo elettrico opportunamente trattato.

Nella struttura di seguito riportata sono visibili:

- il catodo (verde)
- il collettore (arancione)
- la struttura ad onda lenta o elica (rosa)
- la guida d'ingresso a radiofrequenza (rosso)
- la guida d'uscita a radiofrequenza (azzurro)
- un cilindro di materiale attenuatore (giallo)
- il tubo di vetro (blu)

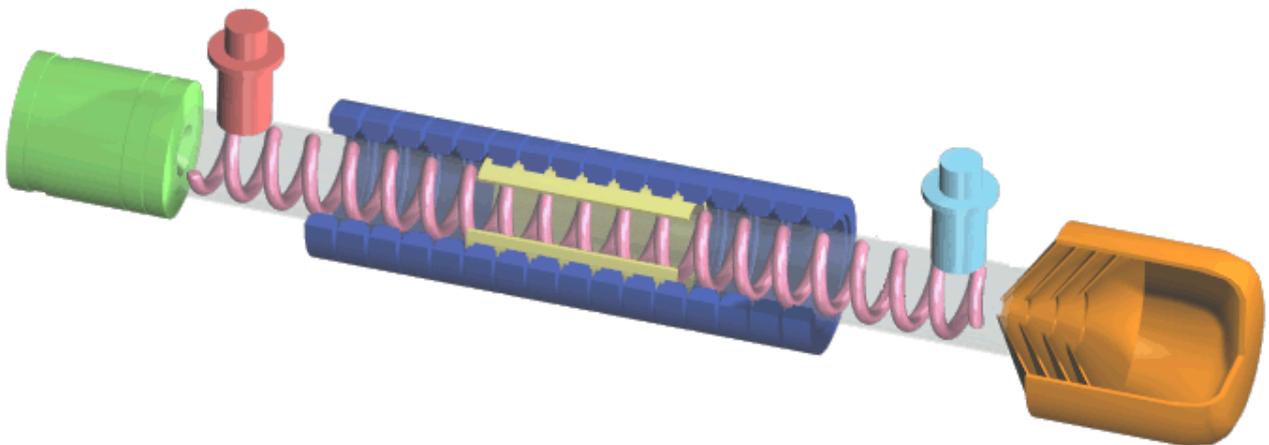


Fig. app-B-2 Struttura del TWT

All'interno del catodo è posto un filamento che surriscaldato emette elettroni. Questi elettroni vengono convogliati in un fascio da un campo magnetico ed accelerati, in direzione del collettore lungo l'asse della struttura lenta, da un campo elettrico generato dalla differenza di potenziale applicata tra catodo e anodo.

Il segnale a radiofrequenza viene convogliato all'interno della struttura lenta dalla guida d'onda d'ingresso percorrendo l'elica intera fino alla guida d'uscita, la velocità iniziale del fronte è data da:

$$V_R = \frac{p}{2\pi r} \cdot c$$

dove

- p è il passo dell'elica
- r è il raggio dell'elica
- c la velocità della luce.

Il fronte dell'onda, che si può dimostrare essere perpendicolare all'asse dell'elica, interagendo col fascio di elettroni riduce progressivamente la propria velocità fino a diventare più lento del fascio stesso in prossimità della guida d'uscita.

Il potenziale elettrico ad esso associato giace sull'asse del tubo ed ha un andamento del tipo specificato dalla seguente equazione

$$V = V_{RF} \cdot e^{\alpha x} \cdot \cos(\omega t - \beta x)$$

dove:

- V_{RF} è una costante che dipende dall'ampiezza della radiofrequenza d'ingresso
- α è una costante che dipende dalle caratteristiche fisiche del tubo
- β è la costante di fase.

Gli elettroni quindi, durante il semiperiodo positivo, subiranno una ulteriore accelerazione e durante il semiperiodo negativo una frenata trasformando continuamente la propria energia da cinetica a potenziale.

La naturale tendenza dei sistemi fisici ad assumere lo stato a minor potenziale porterà gli elettroni a raggrupparsi a distanza di una lunghezza d'onda generando, a loro volta un campo elettrico nella direzione dell'asse dell'elica. L'esponentiale positivo nell'espressione di V è il risultato fisico di una interazione tra il fronte d'onda ed il campo elettrico generato dagli elettroni che oscillano, in fase, alla stessa frequenza.

Il guadagno di un TWT cresce all'aumentare del numero di lunghezze d'onda contenute lungo il fascio ma la presenza della struttura fisica dell'elica ne stabilisce un limite.

Il TWT, a differenza del magnetron, non risuonando ad una frequenza legata alle sue caratteristiche fisiche, ha una banda di funzionamento estremamente elevata e trova applicazione ideale nei radar che richiedono alte potenze, coerenza di fase, rapide variazioni delle frequenze di trasmissione.

Gli amplificatori allo stato solido costituiscono una valida alternativa agli amplificatori con tubo a vuoto quando impiegati a frequenze comprese tra la banda UHF e la L.

Impiegando un transistor di potenza a microonde, per esempio, si possono ottenere potenze che arrivano a 500W di picco con un rapporto costo/watt notevolmente più ridotto dell'equivalente tubo a vuoto.

Anche altri dispositivi vengono usati negli amplificatori allo stato solido come i FET, i GaAs FET, i GaAs MESFET.

Combining ed Arraying sono due tecniche che, attraverso l'impiego di più amplificatori di wattaggio limitato opportunamente disposti, consentono il raggiungimento della potenza richiesta.

Attraverso il *combining* di due amplificatori è possibile ottenere le configurazioni ibrido ed a "T-Magico".

La configurazione a T-Magico, in particolare, impiega un circolatore a quattro porte, due delle quali sono porte di ingresso e due di uscita.

Alle due porte d'ingresso vengono collegati due amplificatori identici, una porta d'uscita è collegata alla guida d'onda che porta in antenna e l'ultima ad un

carico fittizio di impedenza adattata all'impedenza caratteristica.

La potenza di uscita è funzione del guadagno degli amplificatori e della differenza di fase con la quale i segnali amplificati entrano nel circolatore.

L'*Arraying* consiste nel disporre gli elementi radianti lungo una direttrice in modo tale che, modificando opportunamente la fase del segnale relativo ad ognuno degli elementi radianti, si possa dirigere il diagramma di radiazione dell'antenna dove voluto.

Relativamente allo stadio di amplificazione l'*arraying* può essere di tre tipi:

- *Single spigot*: viene utilizzato un solo amplificatore accoppiato ad un divisore in guida che distribuisce la radiofrequenza ed un phase shifter per elemento che produce il ritardo richiesto
- *Subarrays*: viene utilizzato un amplificatore per gruppo di elementi radianti ognuno dei quali è disposto ad array single spigot
- *One tube per element*: viene utilizzato un amplificatore per ogni elemento radiante con la distribuzione della radiofrequenza ed il phase shifting operati a bassa potenza.

Ovviamente nell'ultima configurazione si possono anche impiegare amplificatori allo stato solido.

La tecnica di ottenere la potenza richiesta attraverso l'impiego di più di un amplificatori conduce alle seguenti considerazioni:

- Il costo di un amplificatore cresce più che in ragione lineare della sua potenza, perciò è spesso più conveniente utilizzare molti piccoli amplificatori piuttosto che uno ad alta potenza.
- L'MTBF (Mean Time Between Failure) dell'insieme composto da stadio amplificazione e radiazione si accorcia di tante volte quanti sono gli amplificatori e gli elementi radianti che lo compongono.
- L'avaria ad un elemento dell'array comporta una riduzione della potenza emessa e non l'inoperabilità dell'intero sistema radar.

I contenuti del presente lavoro derivano da documenti progettuali di proprietà della Alenia Marconi System per gentile concessione della quale mi sono stati resi disponibili.

Mario Massari