

Relazione degli ausiliari Giaccari ed altri - 05.02.90.

Prima di concludere la parte dedicata alle due perizie Blasi si deve ricordare l'apporto dato dagli ausiliari radaristi, in particolar modo alle risposte di Blasi e Cerra. Costoro sin dall'inizio della propria relazione si propongono di approfondire le conoscenze delle caratteristiche tecniche e del funzionamento del sistema ATCAS, per poter stimare gli errori di posizionamento introdotti dal sistema stesso. Appare in tale proposito enunciato prima dell'inizio dell'analisi dei dati radar quasi una precognizione dell'esistenza dei detti errori.

Di conseguenza i due si premurano di richiedere alla Selenia la documentazione relativa al sistema e di avvalersi dell'opera di ausiliari con competenza specifica nel campo dei sistemi radar in questione. Costoro furono individuati nel professor Galati e negli ingegneri Giaccari e Pardini, questi ultimi due dipendenti della SpA Selenia.

Su questi ausiliari – a parte il legame di due di loro con la società Selenia – si deve dire che essi appaiono, immediatamente dalla lettura della loro Relazione, dotati di conoscenze superiori a quelle dei periti. Essi determinano il lavoro e le risposte dei periti d'Ufficio e mostrano di superare quelli che sono i limiti dell'attività degli ausiliari, con conseguenze sul valore delle risposte peritali e dell'intera perizia.

Il titolo della relazione di Giaccari ed altri è "Descrizione degli apparati e analisi dei dati relativi registrati dal sistema ATCAS relativi all'incidente del velivolo I-TIGI la sera del 27.06.80" ed essa viene fatta propria da BC al punto da essere riportata integralmente nel testo dell'elaborato.

Nella relazione è data una descrizione degli apparati di interesse – radar ed estrattori – presenti nel sistema ATCAS. Particolare rilievo viene dato all'estrattore in quanto elemento fondamentale nella catena dell'elaborazione radar, non sufficientemente analizzato secondo Giaccari e gli altri in precedenza, specialmente nel caso di presenza di più oggetti interferenti. Gli ausiliari sottolineano la singolarità di funzionamento degli estrattori associati al radar Marconi nel caso di presenza di due o più oggetti interferenti, cioè presenti nel fascio d'antenna e con separazione radiale inferiore a circa 1NM. Analizzano poi i dati alla luce del comportamento dell'estrattore. Indicano infine plausibili traiettorie degli oggetti rilevati, mediante interpolazione delle singole posizioni misurate utilizzando tutti i plots disponibili da entrambi i radar (Marconi e Selenia).

La congruenza (cioè appartenenza) dei plots alla rispettiva traiettoria viene interpretata in base al comportamento dell'insieme radar-estrattore, riuscendo in tal modo a correlare tutti i plots. Delle traiettorie individuate vengono fornite le caratteristiche cinematiche (valori medi delle componenti di velocità), precisandone il grado di accuratezza.

Da ultimo vengono date alcune possibili attribuzioni agli oggetti, indicando quella più probabile, basandosi solo su elementi cinematici e di fenomenologia radar derivabili dalle misure disponibili. Ovviamente, concludono gli ausiliari questo sommario, la validazione di tali attribuzioni richiede l'integrazione con ulteriori elementi basati su considerazioni diverse dall'analisi dei dati radar, come valutazioni in termini aerodinamici, strutturali, fisico-chimici.

Preliminarmente gli ausiliari spiegano la configurazione del sistema, così come riportata a Fig. 1:

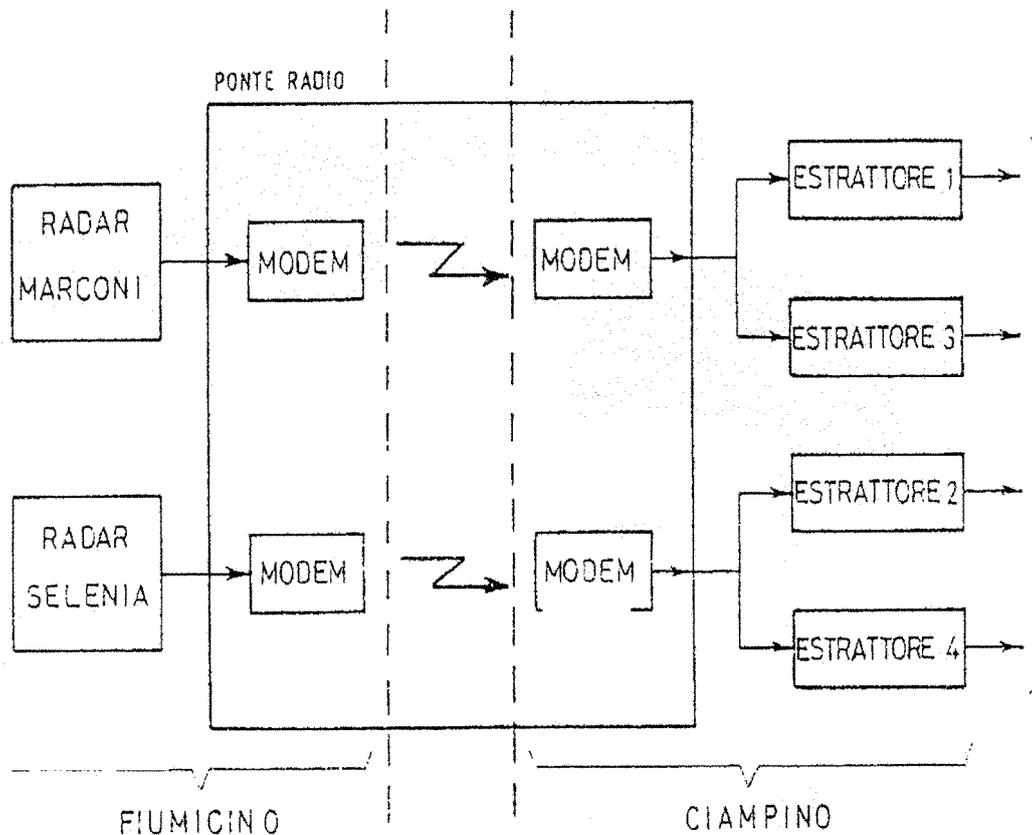


FIG. 1 - Configurazione di sistema della catena radar

I due radar forniscono alla loro uscita un segnale video grezzo quantizzato a due livelli "0" e "1" e campionato in tempo. Tali segnali sono trasmessi mediante ponte radio alla RIV di Ciampino, dove vengono elaborati dagli estrattori per formare i plots. Ciascun radar ha due estrattori, che elaborano in parallelo il segnale video ricevuto. La configurazione degli estrattori è la stessa per ciascuna coppia e dipende dal tipo di radar. I quattro estrattori sono dello stesso tipo EAF-7/C. Indicano poi nelle tabelle 1 e 2 le caratteristiche rilevanti dei radar Marconi e Selenia.

TABELLA 1
Caratteristiche tecniche principali del radar Marconi

Frequenza di trasmissione	(circa) 585-610 MHz
Larghezza (nominale) fascio antenna (-3dB)	2 gradi
Durata (nominale) impulso trasmesso	3,3 ($\pm 10\%$) μs
Passo di campionamento degli impulsi (*)	1,8 μs (**)
Velocità di rotazione d'antenna	11 giri/min
Frequenza di ripetizione impulsi (PRF)	448 Hz

T A B E L L A 2
Caratteristiche tecniche principali del Radar Selenia

Frequenza di trasmissione	(circa) 1250-1350 MHz
Larghezza (nominale) fascio antenna	1,25 gradi
Durata (nominale) impulso trasmesso	2,75 μ s
Passo di campionamento degli impulsi (*)	2,6 μ s (***)
Velocità di rotazione d'antenna	10 giri/min
Frequenza di ripetizione impulsi (PRF)	circa 450 Hz

(*) misurato all'uscita del ponte radio

(**) valore nominale 1,54 μ s

(***) valore nominale 2,5 μ s

Con riferimento alla Fig.1 il segnale video in uscita da entrambi i radar ha già subito un primo processo di "integrazione" dei singoli impulsi radar. Il definitivo processo di "integrazione" avviene nell'estrattore. Così poi descrivono gli integratori rispettivamente del Marconi e del Selenia.

"Nel radar Marconi l'integratore è costituito da un anello di reazione (loop a β) del tipo indicato in Fig.2.

I valori di ingresso $x_i(n)$, corrispondenti a ogni singolo impulso in ricezione corrispondente allo sweep n , sono sommati con uscita $x_u(n-1)$ relativa allo sweep $n-1$.

I valori di ingresso sono espressi a 8 bit con saturazione a 6 bit. Il valore nominale di β è uguale a 7/8.

L'uscita dell'integratore è comparata con una soglia di decisione e può assumere due valori logici:

"1" (detezione) e "0" (non deteazione)

Tale soglia può essere controllata mediante regolazione semioperativa.

Nel caso si abbia in ingresso un segnale forte da raggiungere il livello di saturazione (6 bit corrispondono a un valore numerico pari a 64), l'uscita generata da un singolo picco evolve secondo la seguente legge:

$$x_u(n) = x_u(n-1) \cdot 7/8 + x_i(n)$$

Per cui si ha un'uscita significativa per un numero elevato di sweep. Questo significa che un solo impulso forte che "dura" un solo sweep, in uscita "dura" per molti sweep.

Agendo sul valore della soglia, a parità di valori dei segnali di ingresso, si modifica la "durata" del segnale di uscita.

Nel radar Selenia l'integratore è costituito da "finestra mobile", il cui ingresso è costituito da segnali a 1 bit (livelli logici 0 e 1) e la cui uscita è ancora un segnale a 1 bit (livello logico 0 e 1)".

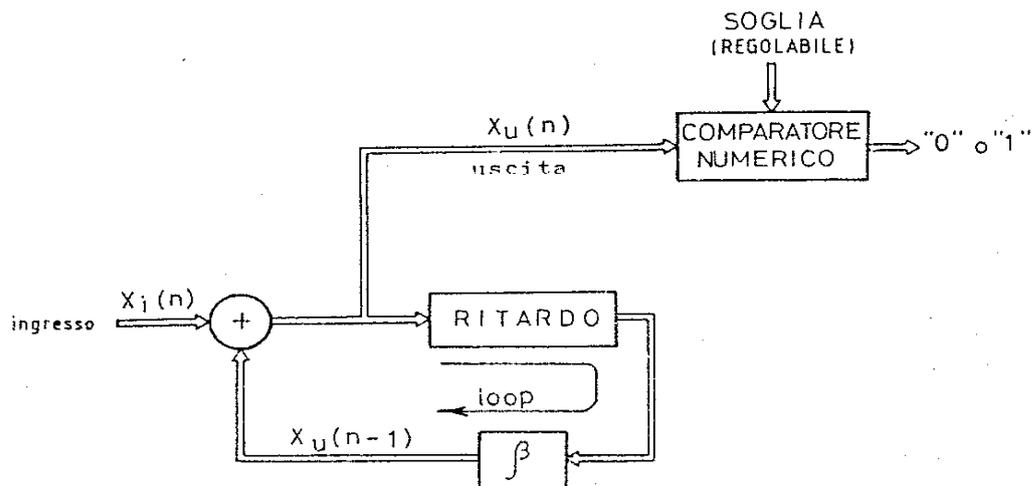


FIG. 2 - Schema di integratore mediante loop β

NOTA : Il ritardo indicato nel loop e' pari al periodo di ripetizione degli impulsi ($1/PRF$)

Giaccari e gli altri due passano poi a descrivere l'estrattore che preliminarmente viene definito come il dispositivo posto tra ricevitore radar e utilizzatore, che a sua volta può essere costituito da uno o più dei seguenti elementi: - unità di presentazione (schermo), - unità di registrazione, - calcolatore di tracciamento (tracking).

Quindi la funzione dell'estrattore, che è quella di trasformare l'insieme dei segnali video, che costituiscono gli echi di ritorno appartenenti ad uno stesso oggetto, in informazioni numeriche (digitali). Queste informazioni sono in genere: - la distanza dell'oggetto dal radar, - l'angolo che individua la direzione dell'oggetto rispetto ad un riferimento (Nord), - la forza del segnale, parametro indicativo della intensità del segnale d'eco.

In effetti l'estrattore fornisce per ogni singolo oggetto "isolato" la misura delle due coordinate polari (distanza ed angolo) e l'attributo "forza" che qualifica la misura. Quanto più la "forza" è elevata tanto più risulta affidabile l'informazione.

Un oggetto si dice "isolato", i tre continuano con queste definizioni preliminari, quando risulta separato (dagli altri oggetti) in distanza e/o angolo in quantità tali da escludere effetti d'interferenza reciproca nel processo di astrazione.

Procedono quindi alle definizioni di maggior conto:

"Si definisce convenzionalmente cella di risoluzione una figura spaziale costituita da un segmento di corona circolare (v. Fig.4), la cui dimensione radiale è pari allo spazio corrispondente alla durata dell'impulso e la cui dimensione angolare è pari alla larghezza nominale del fascio d'antenna.

Teoricamente due oggetti appartenenti a celle di risoluzione distinte risultano "isolati", cioè non interferenti. In realtà in funzione dell'intensità dell'eco può accadere che la durata dell'impulso in ricezione (intervallo di tempo in cui il segnale ricevuto è

sopra la soglia di rivelazione) può essere superiore od inferiore alla durata nominale (v. Fig.5). Analogamente la estensione angolare (intervallo angolare durante il giro di antenna in cui il segnale ricevuto è sopra la soglia di rivelazione) può essere superiore od inferiore alla larghezza nominale dell'antenna (v. Fig.6).

Si ricorda che convenzionalmente viene definita larghezza nominale del fascio d'antenna l'intervallo angolare entro il quale il guadagno risulta compreso entro 3dB (decibel) rispetto al valore massimo.

Analogamente si definisce durata dell'impulso il tempo entro il quale la potenza della forma d'onda trasmessa risulta compresa entro 3 dB (decibel) rispetto al massimo. Cioè le definizioni di "larghezza del fascio d'antenna" e "durata dell'impulso" sono relative a forme normalizzate, cioè prendendo a riferimento il valore massimo e trovando i punti a metà potenza (-3dB).

Il processo di ricezione provoca:

- a livello di antenna un restringimento del fascio a causa del processo di trasmissione e ricezione (2 vie) rispetto al fascio nominale sopra definito;
- a livello di impulso, a causa del filtraggio in ricezione, una modifica delle forme dell'impulso, che comporta anche un allargamento, rispetto al valore nominale sopra detto.

Il successivo processo di estrazione basato su confronti con delle soglie, può comportare ulteriori modificazioni della larghezza angolare dell'eco di ritorno e della sua estensione in distanza (v. Fig.6).

Per quanto riguarda l'estensione in angolo essa dipende anche dal tipo di integratore degli impulsi presente essenzialmente nel ricevitore radar. Si ricorda che il ricevitore del radar Marconi è dotato di un integratore ad anello, che in funzione della soglia (regolabile) del comparatore può provocare un sensibile incremento (funzione della intensità dell'eco radar) della estensione angolare dell'oggetto stesso rispetto al valore nominale (anche oltre due volte).

Con il processo di ricezione e di estrazione (essendo quest'ultimo basato sul concetto di soglia) nascono "larghezze effettive" che possono differire (in più o in meno) rispetto alle larghezze nominali.

Infatti la soglia è fissa e dimensionata sulla intensità del rumore e non su quella del segnale, la cui intensità varia in funzione della distanza dal radar dell'oggetto, e della sezione radar dell'oggetto.

Risulta che alla distanza corrispondente alla portata nominale per sezione radar aerea equivalente dell'oggetto uguale a quella per cui è stata calcolata la portata "larghezze effettive" e "larghezze nominali" assumono valori comparabili.

Per distanze inferiori o per sezioni radar superiori le larghezze "effettive" sono superiori a quelle "nominali".

Vale il ragionamento opposto quando le distanze sono più grandi o le sezioni radar più piccole.

Questo significa che il rispetto della cella di risoluzione nominale non sempre garantisce la condizione di oggetto "isolato", nel senso sopra specificato.

La zona in cui oggetti possono interferire nel senso detto sopra, come meglio vedremo, può assumere maggiore estensione in funzione della logica di estrazione.

Per cui può essere più utile e corretto, ai fini di certe analisi, fare riferimento alla "cella di interferenza" anzichè alla cella di risoluzione nominale (v. Fig.7).

La condizione di interferenza, presenza di due o più oggetti nella cella di interferenza, può produrre effetti diversi a secondo della logica dell'estrattore. Tali effetti possono ricondursi alle seguenti categorie:

- mascheramenti,
- errori "anomali" nelle misure delle coordinate.

I due effetti possono presentarsi anche in forma combinata, es. mascheramento di un oggetto e introduzione di un errore di misura. In ogni caso la interferenza può produrre errori "anomali", cioè non riconducibili agli errori presenti nel caso di oggetto isolato.

Le prestazioni degli estrattori in termini di specifiche o caratteristiche tecniche sono in generale sempre valutate su oggetto isolato. Una usuale ipotesi di lavoro è che oggetti appartenenti a celle di risoluzioni distinte siano tra loro non interferenti, cioè garantiscano le prestazioni nominali: per quanto sopra illustrato questa ipotesi non sempre corrisponde alla realtà".

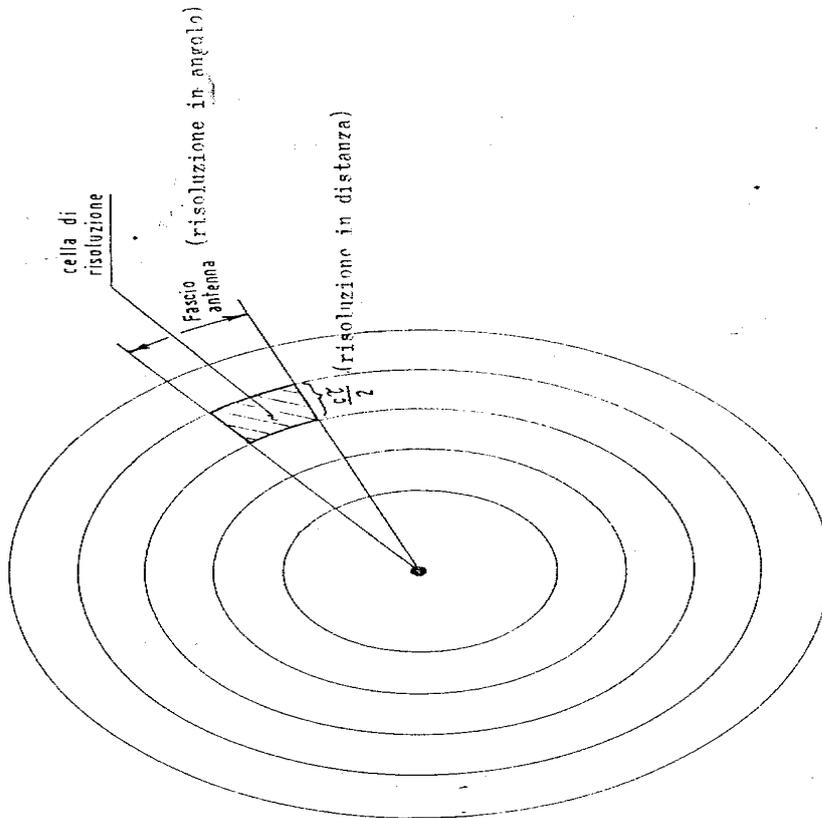
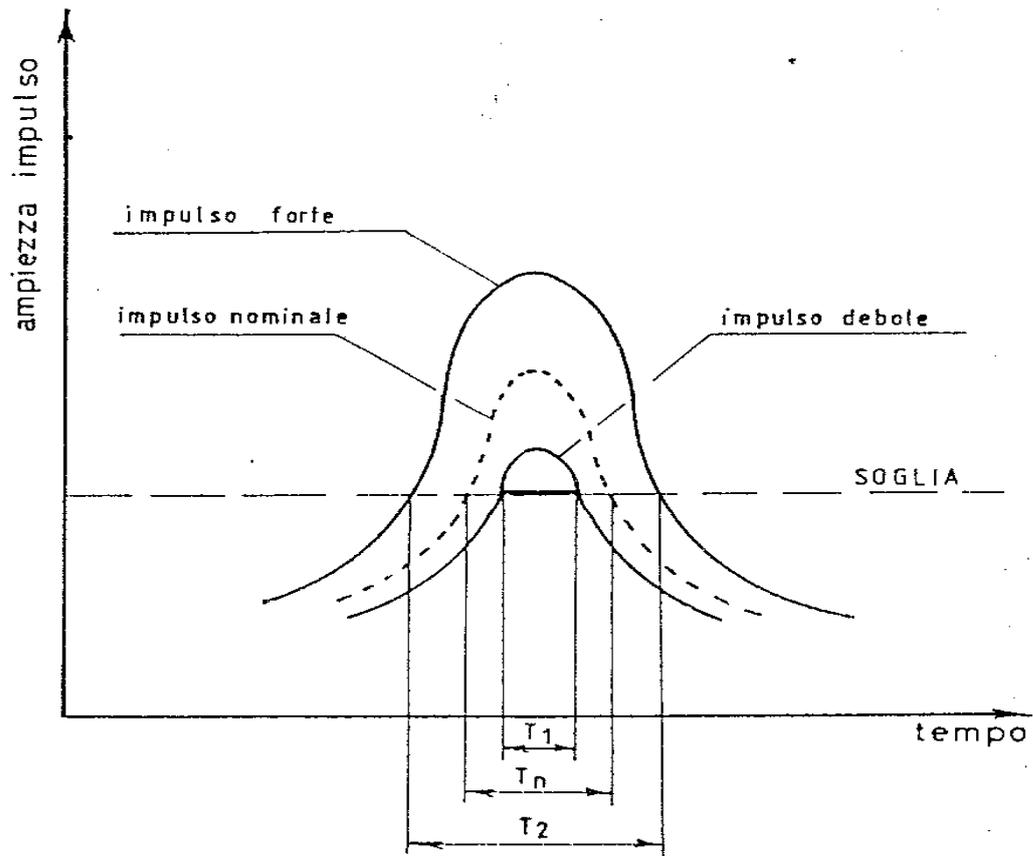


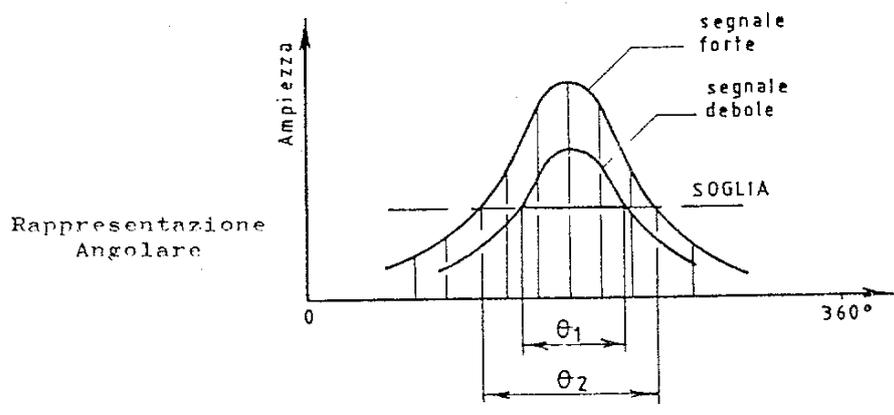
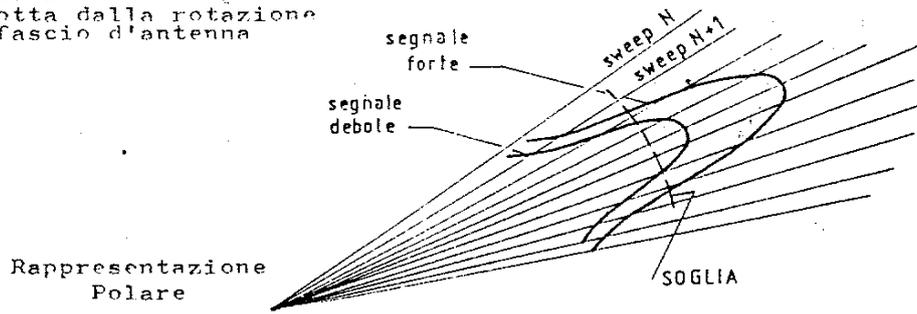
FIG. 4 - Struttura delle celle di risoluzione radar



T_1 = durata effettiva dell'impulso debole
 T_2 = durata effettiva dell'impulso forte
 T_n = durata nominale

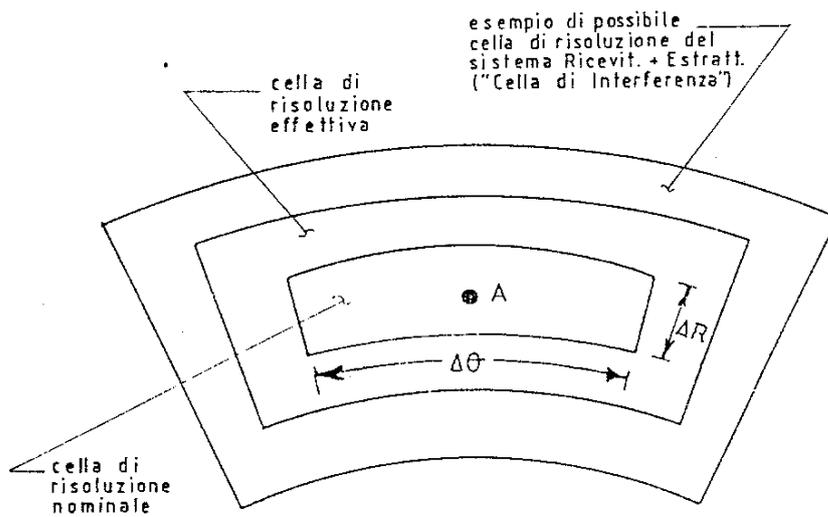
FIG. 5 - Variazione della durata dell'impulso rivelato in funzione della sua ampiezza

Modulazione del segnale
prodotta dalla rotazione
del fascio d'antenna



θ_1 = durata angolare per segnale debole
 θ_2 = durata angolare per segnale forte

FIG. 6 - Variazione della estensione angolare del segnale d'eco in funzione della sua ampiezza



-CELLA DI RISOLUZIONE NOMINALE:

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2} \text{ (essendo } \tau = \text{durata impulso; } c = \text{velocita' della luce)}$$

$$\Delta\theta = \text{larghezza del fascio d'antenna a } 3 \text{ dB}$$

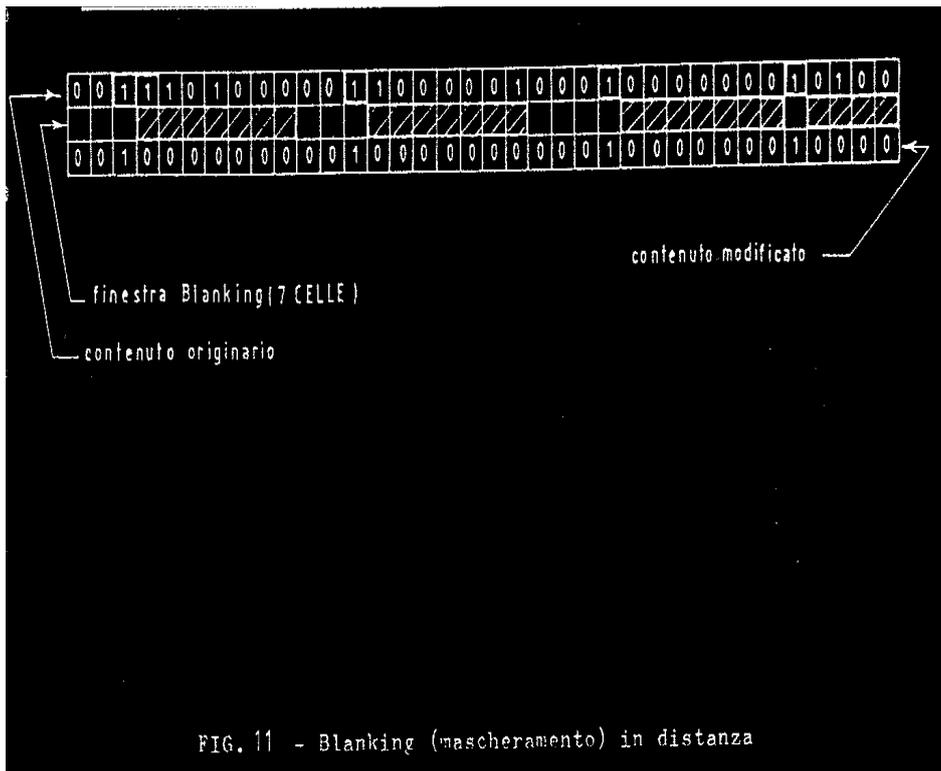
-CELLA DI RISOLUZIONE EFFETTIVA:

ΔR e $\Delta\theta$ possono variare in piu' o in meno a seconda della intensita' del segnale in ricezione

-CELLA DI INTERFERENZA

Piu' grande della cella di risoluzione effettiva, dipendente dalla logica dell'estrattore e posizionata non necessariamente in modo baricentrico.

FIG. 7 - Definizione delle celle



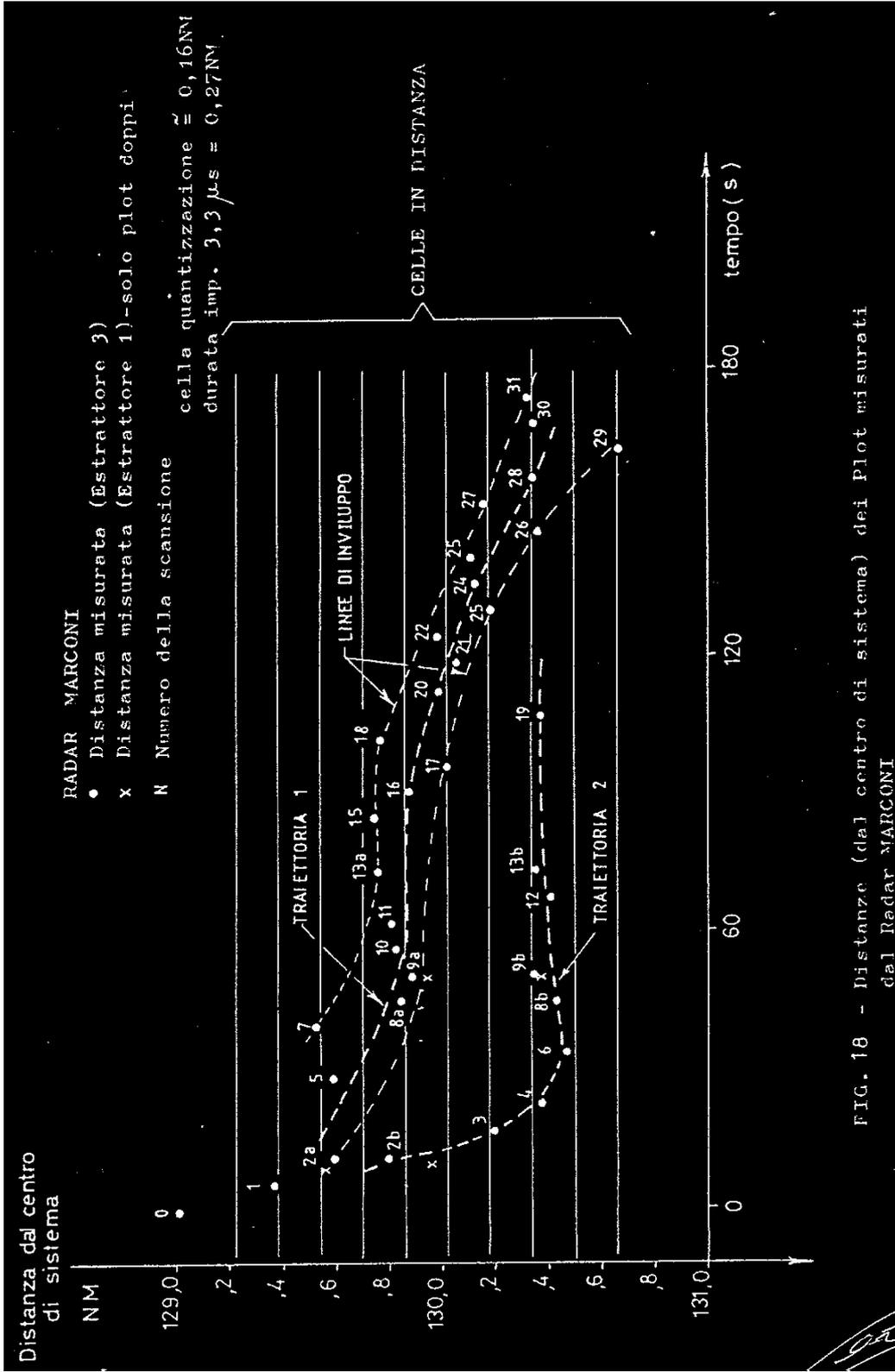


FIG. 18 - Distanze (dal centro di sistema) dei Plot misurati dal Radar MARCONI

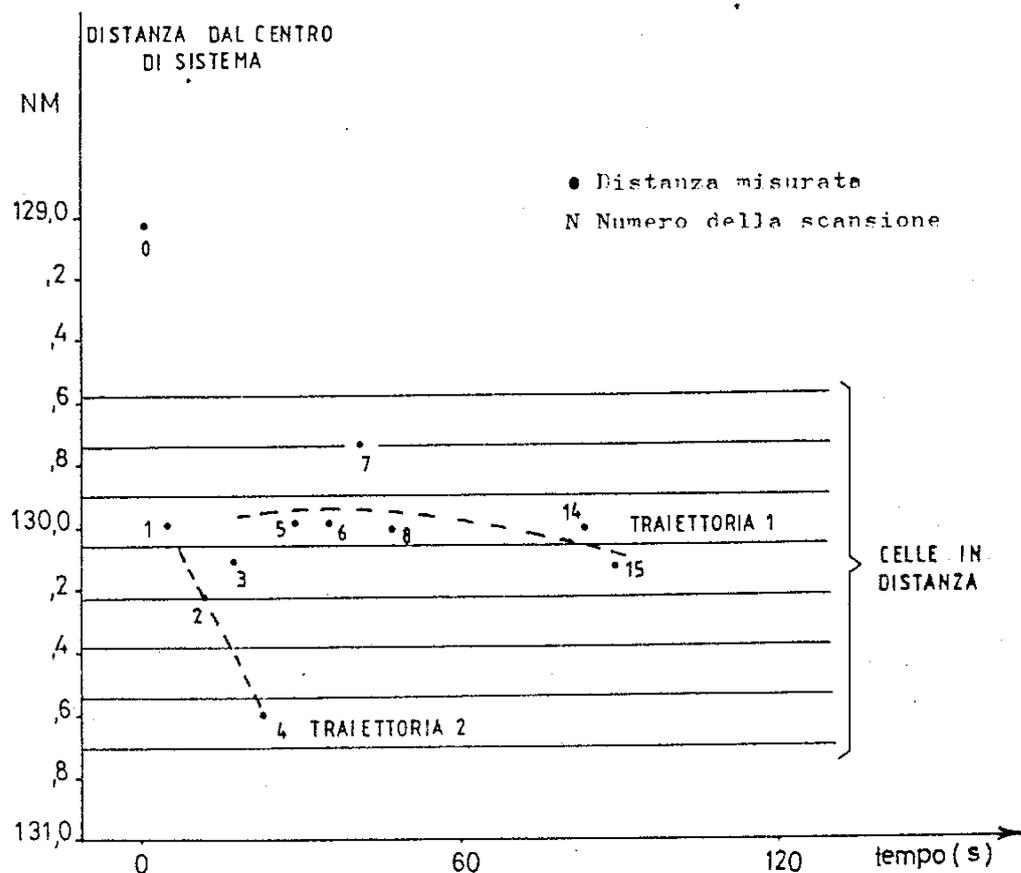


FIG. 20 - Distanza (dal centro del sistema) dei plot misurati dal radar SELENIA

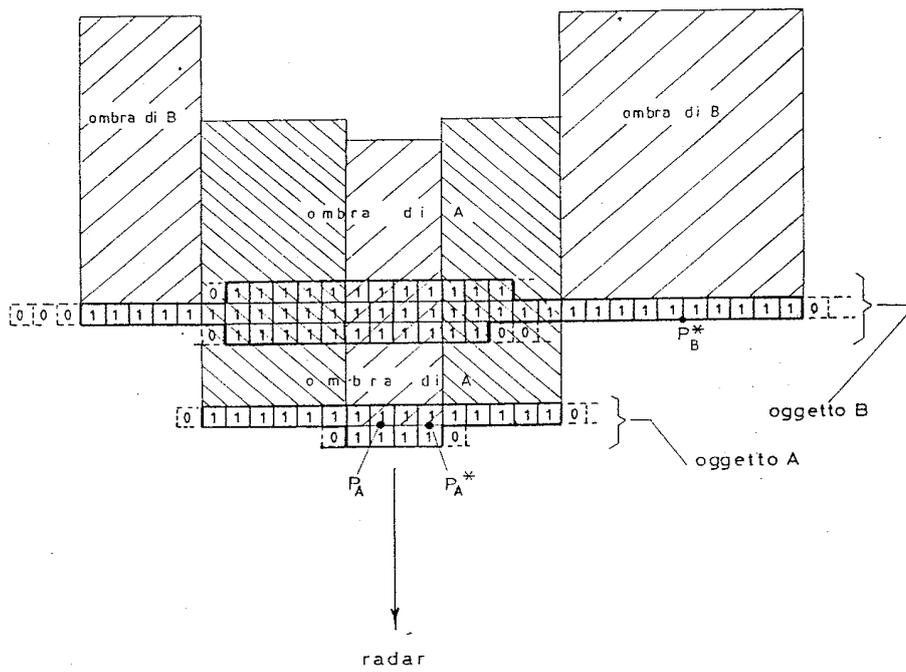


FIG. 15 - Effetti di mascheramento parziale tra due oggetti

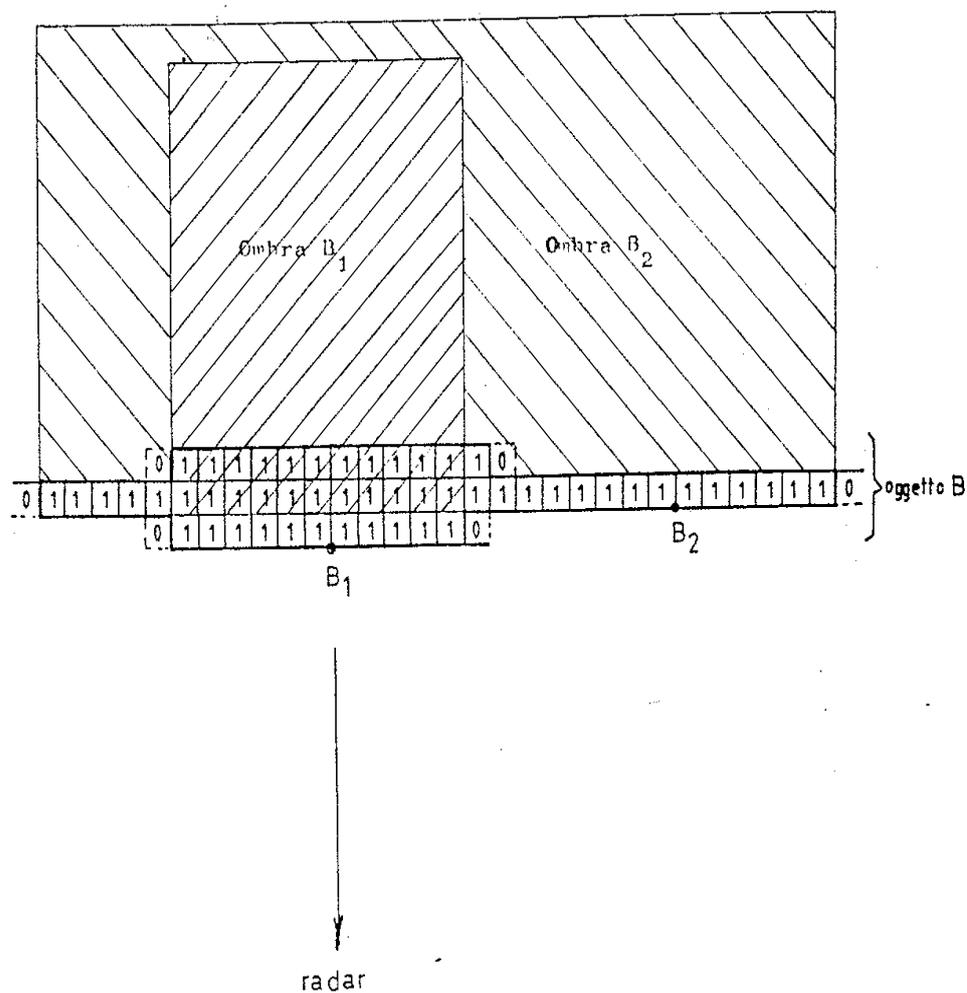


FIG. 16 - Esempio di fenomeno di splitting in distanza

Entrambi i radar di Fiumicino, il Marconi e il Selenia, usano lo stesso estrattore, l'EAF-7/C. Per ragioni di ridondanza a ciascuno dei due radar sono collegati due estrattori in parallelo, a cui arriva lo stesso segnale video del ricevitore radar. Le caratteristiche di questo estrattore sono le seguenti:

TABELLA 3
Caratteristiche tecniche principali dell'estrattore EAF-7/C
(Radar Marconi e Selenia)

Passo di campionamento	1,93 μ s
Risoluzione cella in distanza	circa 0,156 NM (1,93 μ s)
Lunghezza finestra mobile	15 sweep
Soglia di detezione	7 sweep su 15

Soglia “inizio bersaglio” 7

Soglia “fine bersaglio” 2

Durata mascheramenti in distanza:

- Radar Marconi (estr.1 e 3) 14 celle da 0,965 μ s (1,09 NM)
(7 celle da 1,93 μ s)
 - Radar Selenia (estr.2 e 4) 2 celle da 0,965 μ s (0,156 NM)
(1 cella da 1,93 μ s)
-

“All’estrattore arriva dal ricevitore radar un segnale video già quantizzato in ampiezza e tempo. L’ampiezza può assumere due livelli logici (“1” e “0”) determinati da un processo di rivelazione nel ricevitore radar.

L’estrattore a sua volta ricampiona in tempo il segnale ricevuto alterando gli istanti corrispondenti ai fronti (in salita e discesa) degli impulsi.

Occorre considerare che:

- gli istanti di campionamento sul ricevitore radar e sull’estrattore sono generati da “orologi” (oscillatori) tra loro non agganciati (oscillatori tra loro asincroni);
- gli “orologi” (oscillatori) dei due estrattori in parallelo sono tra loro non agganciati (asincroni). Questo implica che i fronti ricostruiti dai due estrattori sono tra loro diversi. Cioè i segnali ricampionati in tempo dai due estrattori non sono più identici tra di loro. Questo giustificherà il diverso comportamento coppie di estrattori tra loro “omologhi” (estrattori 1 e 3 radar Marconi ed estrattori 2 e 4 radar Selenia).

Il passo di campionamento dell’estrattore (range bin clock) determina la dimensione della cella (in distanza) di elaborazione. Tale cella è proprio quella che in Tabella 3 è denominata cella di risoluzione in distanza.

L’estrattore EAF-7/C ha un numero di celle di distanza pari a 1024. Il passo di campionamento è impostabile in funzione della portata radar e varia da 0,965 μ s fino a 6,177 μ s. Per entrambi i radar (Marconi e Selenia) il passo di campionamento degli estrattori è fissato a 1,930 μ s, corrispondenti ad una cella in distanza pari a circa 0,156NM (circa 290 metri), associato ad una portata strumentale di circa 160NM. Si ricorda che la portata strumentale non coincide, e di solito è superiore, con quella effettiva del radar”.

La logica di rivelazione dell’estrattore in questione si fonda sulla tecnica della “finestra mobile” con lunghezza della finestra pari a 15 sweep. La decisione di oggetto presente avviene quando si hanno almeno 7 presenze su 15 sweep consecutivi.

Questo il meccanismo di logica di rivelazione e stima dell’estrattore:

“Per ogni impulso trasmesso dal radar l’estrattore costruisce sulla base della logica riportata nella Fig.9 una sequenza, lunga pari a 1024 celle, di “1” o di “0” in base al segnale ricevuto. Ciascuna cella, come già detto corrisponde a 0,156NM. La cosa si ripete per ogni impulso successivo, trasmesso in modo da formare una grossa matrice con tante colonne quante sono le celle in distanza e con un numero di righe sufficienti che si aggiornano ricorsivamente. Cioè per ogni “nuova” riga (corrispondente all’ultimo impulso trasmesso) viene eliminata la riga più “vecchia”.

Ad ogni riga è associata la posizione angolare dell’antenna radar durante il movimento di scansione meccanica del cielo radar, con passo di circa 0,15 gradi (intervallo angolare percorso dall’antenna tra due sweep consecutivi).

Per ogni cella di distanza, e ad ogni nuovo sweep, viene considerata una finestra lunga 15 sweep, contando il numero di “1” in esso presenti. In questo processo ricorsivo, appena il numero degli “1” raggiunge il valore 7, viene dichiarato “inizio bersaglio”, memorizzando contemporaneamente la riga corrente e quindi l’angolo a cui si verifica questo evento.

Per ogni nuova riga la finestra scorre di una posizione, cioè viene scartato l’elemento più vecchio e introdotto quello più recente.

La logica riprocede al conteggio degli “1” (la variazione dell’intervallo di tempo tra un impulso e il successivo contenuto può essere al massimo di una unità in più o in meno in funzione del contenuto entrante e uscente).

Una volta dichiarato “inizio bersaglio”, secondo la logica sopraddetta (contenuto almeno pari a 7), viene successivamente dichiarato “fine bersaglio” non appena il contenuto scende sotto il valore 2, memorizzando contestualmente la riga e quindi l’angolo al quale fenomeno avviene.

Viene inoltre memorizzato il massimo contenuto degli “1” durante il processo di rilevazione, compreso tra “inizio” e “fine bersaglio”. Tale contenuto, il cui massimo valore è 15 e il minimo è 7, costituisce la “forza” del bersaglio.

Per distanza dell’oggetto viene assunto il valore corrispondente alla cella in cui è avvenuta la detezione. In realtà esiste una logica più articolata che consente una misura più fine della distanza da attribuire al plot appartenente alla cella, mediante l’uso di un “clock” più veloce rispetto a quello che determina la dimensione della cella. Però tale logica può essere trascurata, perché irrilevante ai fini della presente analisi.

Per misura angolare viene assunto il baricentro tra gli angoli di “inizio” e “fine” bersaglio più un termine correttivo (uguale per tutte le detezioni) per compensare la dissimmetria legata al processo di “inizio bersaglio” (contatore a 7) e fine bersaglio (contatore a 2). A livello di “finestra mobile” ogni cella in distanza è elaborata indipendentemente da tutte le altre celle (incluse quelle adiacenti).

Per evitare, o limitare, che nel caso di impulsi più lunghi della dimensione delle celle si verifichi più di una detezione su celle in distanza adiacenti, nell’estrattore esiste una logica finalizzata a dare detezione solo sul fronte di salita dell’impulso. Tutto ciò perché l’estrattore non ha la capacità di riaggregare detezioni su celle contigue e ragionevolmente provocate dallo stesso oggetto, quando l’impulso è più esteso della cella di elaborazione.

Tale logica, che opera a livello di singolo sweep, e quindi prima della “detezione” del plot, opera un blanking (mascheramento) di un certo numero di celle successive in distanza al verificarsi di un “1” (Fig.11). La presenza di un “1” ad una qualsiasi cella pone a “zero” il contenuto di un certo numero di celle a distanze successive, indipendentemente dal loro contenuto originario. Cioè un “1” ad una certa cella crea un’“ombra” su un certo numero di celle successive.

La lunghezza del blanking viene decisa in fase di installazione del sistema e dipende dalla durata dell’impulso nominale del radar a cui l’estrattore è associato.

Per il radar Marconi il blanking è pari a 14 “Fine Range Bin”, (ogni Fine Range Bin essendo pari a 0,965 μ s) corrispondenti a 7 celle in distanza essendo ciascuna cella pari a 1,93 μ s. Il blanking totale è pari a $14 \times 0,965 = 13,51$ μ s corrispondenti a circa 2026m, circa 1,09NM. (Esiste una logica detta anti-jitter in distanza che consente di cogliere meglio il fronte di salita dell’impulso. Viene fatta una elaborazione in parallelo che utilizza due sequenze di celle sfasate tra loro di mezza cella – equivalente a un

“Fine Range Bin” – che consente di recuperare frastagliature sul fronte dell’impulso. Ma tale logica è irrilevante ai fini della presente analisi).

Per il radar Selenia il blanking è pari a 2 “Fine Range Bin”, cioè 1 cella in distanza, pari quindi a $1,930\mu\text{s} \approx 290\text{m} \approx 0,156\text{MN}$.

Pertanto possiamo dire che per il radar Marconi (e non per il Selenia) la dimensione radiale, cioè lungo la distanza dal radar, della “zona di interferenza” tra due oggetti si allunga al valore di circa 1,09NM, indipendentemente della durata dell’impulso. Questo fenomeno deve essere attentamente considerato quando si hanno più detezioni “vicine” o comunque più oggetti, vicini, anche quando non diano luogo a detezioni separate. Ciò sia ai fini della detezione stessa, sia ai fini della precisione di misura in distanza e, soprattutto, in angolo”.

Giaccari e gli altri due procedono poi all’analisi dell’estrattore su oggetti isolati. S’era già detto che i radar Marconi e Selenia sono dotati nel ricevitore di un dispositivo di integrazione in azimuth in funzione di miglioramento della capacità di rivelazione dei bersagli. Nel radar Selenia l’integratore non introduce errori, in quello Marconi invece l’integratore produce un allungamento dell’estensione angolare nel senso delle rotazioni di antenna e funzione della forza dell’eco radar; tale allungamento non è compensabile in modo corretto poichè provoca una dissimetria variabile tra “inizio” e “fine” bersaglio.

Gli ausiliari, pur non dimostrando questa differenza negli integratori dei due radar, procedono oltre sulla precisione in azimuth dell’estrattore Marconi.

“Questo comportamento si ripercuote sulla precisione in azimuth dell’estrattore Marconi che risulta quindi affetto da un errore aggiuntivo rispetto alla indeterminazione dovuta alla larghezza del fascio d’antenna ed alla logica di estrazione.

Tale comportamento del radar Marconi induce due tipi di errori e quindi di problemi.

Nel caso di bersaglio “fluttuante” (cioè con intensità dell’eco che varia da scansione a scansione) si ha una rumorosità aggiuntiva nella stima dell’angolo, rispetto al caso di bersaglio con intensità “stazionaria” dell’eco radar.

Ciò induce una maggiore rumorosità nella stima della traiettoria.

Inoltre il diverso valore della polarizzazione angolare tra radar Marconi e Selenia in funzione della intensità del segnale provoca un disallineamento non controllabile tra le misure angolari dello stesso oggetto fornito dai due radar. Tale disallineamento, che si aggiunge a quello naturale dovuto al non perfetto allineamento al Nord geografico dei due radar, rende più critica la congruenza delle misure di posizione angolare (fornite dai due radar) dello stesso oggetto. A causa di ciò quando si riportano su uno stesso sistema di riferimento le misure dei due radar, le due traiettorie (dello stesso oggetto) costruite singolarmente con i plot dei due radar possono essere non perfettamente sovrapponibili”.

Dopo aver esposto le formule dell’accuratezza della misura angolare e della misura di distanza dei due radar, viene affrontata l’analisi dell’estrattore in presenza di due o più oggetti interferenti. Queste le affermazioni di base nella enunciazione di Giaccari e gli altri. Quando due o più oggetti sono separati in angolo di una quantità inferiore all’ampiezza “effettiva” del fascio d’antenna e contemporaneamente sono separati in distanza, lungo cioè la radiale del radar, di una quantità inferiore alla durata dell’impulso, i due oggetti interferiscono a livello “elettromagnetico”. Le eventuali detezioni di uno od entrambi gli oggetti hanno attributi di estrazione, quali probabilità di detezione ed errori di misura – in distanza e in angolo – modificati rispetto al caso di singoli oggetti isolati.

Quando due o più oggetti sono separati in angolo di una quantità inferiore all'ampiezza effettiva del fascio di antenna e contemporaneamente sono separati di una quantità superiore alla durata dell'impulso, ma inferiore alla fascia di blanking (mascheramento) si ha una interferenza a livello "logico". In tal caso gli attributi di estrazione dell'oggetto più vicino al radar non risultano influenzati (rispetto al caso di oggetto isolato). Invece gli attributi di estrazione dell'oggetto più lontano risultano alterati (peggioramento) nei soli componenti della probabilità di detezione e dell'errore della misura angolare, mentre non risulta influenzato l'errore nella misura di distanza.

Gli ausiliari proseguono con l'esame in dettaglio del processo di interferenza logico e ne traggono queste determinazioni:

a - quando il segnale dell'oggetto si estende per più di una cella di risoluzione in range si può avere un errore (nella misura dell'angolo) più elevato di quello nominale (oggetto in una sola cella);

b - in presenza di due o più oggetti interferenti, quello a distanza maggiore dal radar, se rivelato, è affetto da un errore nella misura dell'angolo più alto di quello nominale. Se l'oggetto a distanza minore dà luogo a detezione, l'oggetto a distanza maggiore, se rivelato, risulta necessariamente spiazzato in angolo di una quantità che può variare indicativamente tra mezzo fascio fino ad anche un fascio d'antenna (nel caso che l'estensione angolare dell'oggetto a distanza maggiore sia dell'ordine di due fasci d'antenna).

c - per un oggetto con segnale radar molto forte, cioè in grado di estendersi su più celle di risoluzione in distanza e conseguentemente assai lungo anche in angolo (es. oggetto B di Fig.15) può accadere un fenomeno di "splitting" in distanza, cioè dare luogo a più di una detezione su celle in distanza distinte. Si veda la Fig.16 in cui è riprodotta la configurazione dello stesso oggetto B di Fig.15. L'unico oggetto B produce la detezione B_1 alla cella a distanza minima, e la detezione B_2 alla cella successiva. Anche per oggetto singolo la seconda detezione (a distanza maggiore) risulta spiazzata in angolo di una quantità che può variare tipicamente da mezzo fascio ad un fascio d'antenna.

Si anticipa che tale evento è risultato a probabilità molto bassa.

Obiettivamente fenomeni tipo quelli citati in a) e in c), anche se sono possibili, devono ritenersi poco probabili per l'insieme di condizioni richieste per il loro verificarsi (es.: gradiente opportuno d'impulso, estensione su più celle). Tali casi inoltre potrebbero essere identificati analizzando la "qualità". Infatti risulta assai verosimile pensare che nel caso si verificano più detezioni dello stesso oggetto, esse debbono avere bassa qualità. Perciò il fenomeno più ricorrente deve ritenersi quello indicato in b, cioè interferenza tra più oggetti distinti.

A questo punto Giaccari e gli altri due applicano le considerazioni sin qui formulate ai dati radar del momento dell'incidente, al fine di stimare le traiettorie degli oggetti rilevati. Stime costruite separatamente sui dati del radar Marconi e su quelli del radar Selenia, e successivamente confrontate.

A seguito di molteplici calcoli, a seguito dell'analisi comparata della figura 18 ove sono riportate le distanze dal centro del sistema dei plots misurati dal radar Marconi, con la figura 20, ove sono riportati le distanze dal centro del sistema dei plots misurati dal radar Selenia, quegli ausiliari colgono due "fatti": - un disallineamento in distanza tra i due radar di circa 0,2NM, che può essere spiegato con il fatto che i due radar (incluso gli estrattori) hanno clock tra loro indipendenti; - la sovrapposibilità delle due coppie di curve (una volta compensato il disallineamento in distanza tra i radar).

“Dall’analisi comparata della Fig.19 – angoli riferiti al centro di sistema dei plots Marconi – con la Fig.21 – angoli riferiti al centro di sistema dei plots Selenia –, che si riferiscono alle misure di angolo in funzione del tempo fornite dai due radar, si nota una aderenza tra le curve 1 (le sole comparabili in quanto per la curva 2 fornita dal radar Marconi gli angoli non sono affidabili e quindi non direttamente utilizzabili per costruire una curva). Per ottenere la loro sovrapposizione occorre preventivamente operare un allineamento in angolo tra i due radar di circa 0.2-0.3 gradi (tale valore di disallineamento era già stato individuato elaborando la traiettoria stimata prima dell’incidente)”.

E così concludono: “- Esistono 2 oggetti distinti (visti da entrambi i radar) che si muovono, dopo un tratto iniziale tra le scansioni 2 e 4, con velocità radiale assoluta assai bassa, circa 20 nodi e velocità radiale differenziale praticamente nulla.

- L’oggetto che si vede di più a lungo (per entrambi i radar) è quello a distanza inferiore e si muove con una velocità media trasversale (direzione Ovest-Est) di circa 110 nodi. Si ricorda che la velocità del vento in quota al momento dell’incidente era di circa 100 nodi e con direzione Ovest-Est, per cui tale oggetto risulta “trasportato” dal vento.

- La velocità trasversale media del secondo oggetto stimata al meglio combinando le misure fornite dai radar Selenia e Marconi vale al più 240 nodi (direzione Ovest-Est). Per cui la velocità differenziale rispetto all’aria è al più 140 nodi. Tale valore medio di 240 nodi è da ritenersi indicativo per quanto sopra spiegato e perchè non è detto che la velocità trasversale sia costante dal plot 2 al plot 19.”

“Ovviamente almeno una delle due traiettorie è costituita dal relitto dell’aereo vittima. Per raggiungere elementi di chiarezza occorre prima di tutto individuare a quale delle due traiettorie appartiene l’aereo vittima, successivamente individuare la natura dell’oggetto appartenente alla restante traiettoria. Cioè determinare se si tratta di un oggetto estraneo oppure di frammenti dell’aereo vittima”.

Quindi una serie di considerazioni basate sull’analisi dei dati radar e poi una analisi dei plots primari spuri rilevati dal radar Marconi nell’intervallo di tempo a cavallo dell’incidente.

Di questi fenomeni gli ausiliari evidenziano i seguenti aspetti:

“a - Tutti i plot spuri rilevati dal radar Marconi sono ad alta qualità. Questo autorizza a ritenere che non siano dovuti a rumori di sistema, ma ad altre cause, probabilmente emissioni elettromagnetiche della banda del radar Marconi.

B - Durante l’intervallo considerato risultano presenti due interferenze nel cielo radar nell’intorno degli angoli 86° e 272°.

c - L’insieme dei plot spuri, come mostrato nell’appendice A risulta essere non stazionario in tempo e non uniforme in azimuth. Stante tali due caratteristiche e l’alta qualità è possibile, ma non sussistono le condizioni per l’analisi rigorosa che i plot spuri siano dovuti alle interferenze suddette, causate da ricezione su lobi laterali d’antenna. A queste interferenze potrebbero essere attribuiti anche i due plot -12 e -17.

Va inoltre fatto presente che nessuno di questi due plot è stato rilevato dal radar Selenia che, come noto, opera su una banda di frequenza diversa ed è quindi immune dalle dette interferenze, che evidentemente sono presenti nella banda di frequenza usata dal radar Marconi.

Occorre a tale riguardo precisare, per completezza, che la probabilità che un’interferenza casuale del tipo rilevato nella situazione operativa in questione, generi due plot che chiamiamo A e B, aventi le stesse caratteristiche globali dei plot -17 e -12

(cioè, per il plot A, una distanza minore o uguale a venti miglia nautiche dall'ultima risposta del trasponder e un anticipo, rispetto ad essa, non superiore a due minuti e mezzo, e per il plot B, una distanza da A, minore o uguale a 8 miglia ed un anticipo, rispetto ad A, non superiore ad un minuto primo) è bassa: pur non potendosi fare una valutazione analitica precisa anche a causa della non stazionarietà e disuniformità spaziale del fenomeno l'ordine di grandezza della probabilità di una coppia A, B è risultata inferiore al per cento, e tale estremo superiore è confermato da un'analisi esaustiva delle coppie di plot spuri nella mezz'ora a cavallo dell'incidente (equivalente a 330 scansioni, cioè prove indipendenti) durante le quali si è rilevato solamente un paio di tali coppie".

Al termine del loro elaborato gli ausiliari forniscono le seguenti conclusioni:

- a. Successivamente al momento dell'incidente esistono due (o più oggetti), visti sia dal radar Marconi sia dal radar Selenia.
- b. Le misure (fornite da ciascun radar) di tali oggetti si correlano secondo due traiettorie distinte.
- c. Le due coppie di traiettorie (una coppia per ciascun radar) nei rispettivi tratti di visibilità sono tra loro congruenti e consistenti ("sovrapponibili"), una volta compensati i disallineamenti radar e tenuto conto degli errori di misura, specialmente nel caso di oggetti interferenti.
- d. La traiettoria più vicina al radar (traiettoria 1) probabilmente costituita da più oggetti, ha una velocità media radiale di circa 24 nodi (direzione Nord-Sud) e trasversale di circa 120 nodi (Ovest-Est).
- e. La traiettoria più lontana dal radar (traiettoria 2) quasi sicuramente costituita da un solo oggetto, ha una velocità radiale iniziale (dalla scansione 2 alla 4) di circa 150 nodi, che poi rapidamente scende a valori trascurabili: la velocità media radiale vale circa 20 nodi (Nord-Sud) e quella trasversale, indicativamente è dell'ordine di 240 nodi (Ovest-Est).
- f. La separazione radiale delle due traiettorie nella zona di visibilità cresce progressivamente da circa 0.2NM (scansione 2) a circa 0.6NM (scansione 6) stabilizzandosi successivamente nell'intorno di tale valore.
- g. La velocità media differenziale tra le due traiettorie è praticamente nulla per la componente radiale e di circa 130 nodi per la componente trasversale. Tenuto conto della velocità del vento in quota al momento dell'incidente (circa 100 nodi in direzione Ovest-Est) la velocità rispetto all'aria dell'oggetto (più probabilmente più oggetti) appartenenti alla traiettoria 1 risulta praticamente nulla, cioè tale oggetto (oggetti) risulta "trascinato" dal vento. Con analogo ragionamento la velocità media rispetto all'aria dell'oggetto appartenente alla traiettoria 2 risulta di circa 140 nodi.
- h. La sezione (area equivalente) radar dell'oggetto appartenente alla traiettoria 2 risulta verosimilmente più elevato di quella dell'oggetto (oggetti) appartenente alla traiettoria 1 (ciò in base a considerazioni sui plots del radar Marconi).
- i. L'oggetto (oggetti) appartenente alla traiettoria 1 rimane per più tempo in visibilità rispetto all'oggetto appartenente alla traiettoria 2. La maggior permanenza in visibilità deve essere attribuita alla maggiore permanenza in quota.
- j. L'aereo vittima (o suo relitto principale) a qualunque delle due traiettorie appartenga, successivamente all'incidente si deve essere innalzato rispetto alla precedente quota di volo, come risulta da elementari considerazioni di meccanica.

k. Per tutto quanto precede, che risulta basato solo sulle misure radar interpretate alla luce del funzionamento degli apparati, l'associazione più probabile tra traiettorie e oggetti, appare attribuire la traiettoria 2 alla parte principale del relitto del DC9 I-Tigi e la traiettoria 1 a suoi frammenti. Tale attribuzione richiede una convalida in base a valutazioni di carattere aeronautico analisi del relitto etc., specialmente per affidare la possibilità della permanenza in quota di frammenti; peraltro qualora si volessero attribuire la traiettoria 1 alla parte principale del relitto del DC9 e la traiettoria 2 ad altro oggetto (per es. velivolo) resterebbe di difficile spiegazione l'elevata dispersione della misura di distanza, alla quale si è fatto riferimento sopra e ben evidente dall'esame della Fig.18.

A questa lunga relazione i periti che conferiscono l'incarico poco o nulla aggiungono. Rammentano soltanto al riguardo della questione della possibile configurazione degli estrattori del tempo dell'incidente, che la Selenia con certificazioni ufficiali aveva attestato che al momento della consegna degli apparati ATCAS la configurazione era quella da essa sottoscritta - e a dir il vero sarebbe stato difficile che avesse attestato altrimenti. Gli ausiliari avevano confermato che detta configurazione doveva sussistere anche al momento dell'incidente - e su questa affermazione BL nulla rilevano, mentre su tali questioni si dovrà tornare. Aggiungono quindi un brevissimo commento incentrato sulla richiesta di convalida, formulata dagli ausiliari, delle loro conclusioni "in base a valutazione di carattere aeronautico analisi del relitto etc...". BL osservano che una siffatta convalida non potrà mai trovare un corretto riscontro in quanto la verifica aerodinamica può essere solo "un'analisi di calcolo basata su prefissate ipotesi di lavoro che dovrebbero derivare da certezze che non si hanno". D'altra parte essi non ritengono necessaria tale verifica, perchè secondo quanto specificamente detto dagli ausiliari "nessuna delle due traiettorie individuate può essere ragionevolmente attribuita ad un altro velivolo (aviogetto)".

A parte una tabella sulla Radar Cross Section tratta da Scolnik "Introduction to Radar System", null'altro aggiungono e si adeguano totalmente alla Relazione degli ausiliari. Questa la loro precisa conclusione: "Da quanto precede scaturisce la considerazione che l'analisi dei dati radar di Fiumicino è stata condotta in maniera corretta e rigorosa e pertanto le conclusioni in essa contenute sono totalmente condivise dagli scriventi che le fanno proprie".

Quindi con un metodo che a rigore di logica dovrebbe rendere nulle le conclusioni della perizia pro parte cioè nella parte relativa ai periti Blasi e Cerra, perchè costoro non hanno riferito al Giudice in base alle proprie speciali cognizioni scientifiche e tecniche, bensì adeguandosi, in tutte e supinamente, al sapere e alle argomentazioni degli ausiliari, che giuridicamente hanno solo il compito di fornire collaborazione per lo svolgimento di attività materiali non implicanti apprezzamenti e valutazioni, come chiaramente detta il nuovo codice di rito e come secondo giurisprudenza doveva essere sotto il previgente.

Ma queste considerazioni d'ordine giuridico sono superate da altre di ordine scientifico e di fatto, poste in luce dall'istruzione in merito compiuta e dalle requisitorie del PM, che si prenderanno in esame più oltre.

* * * * *