

Perizia tecnico scientifica Misiti; parte radaristica 1^a.

I volumi dedicati alle questioni radaristiche occupano le parti quarta e quinta con relativi allegati della perizia e meritano particolare attenzione per tutte le questioni cui durante l'intera istruttoria hanno dato luogo.

Dopo il documento dei consulenti di parti civili del 13 luglio 93, il primo elaborato di rilievo in materia radaristica ed in effetti è la parte a tale materia dedicata della perizia del CP Misiti.

In effetti questo collegio tenta, a seguito delle bozze del 91 e 92 di difficilissima comprensione principalmente per lo stato di disordine degli scritti, delle tabelle, delle figure e degli allegati - solo i consulenti sopra detti riuscirono, pur non avendo i due ultimi capitoli, ad orientarsi - tenta si diceva di dare un ordine alla materia radaristica. Tenta, si diceva, perchè anche in questa presentazione definitiva, che almeno graficamente si presenta in un certo ordine, compaiono i difetti di sempre.

Sin dall'introduzione si rilevano difficoltà di esplicitazione. "Converrà infatti notare che un radar per il controllo del traffico aereo (civile) è progettato e caratterizzato usualmente per osservare aerei nella loro dislocazione naturale, conviene ricordare che le distanze minime tra aerei è dell'ordine di diversi km (5÷10). Peraltro nel caso in questione dai dati radar di Fiumicino si desume un volo regolare prima dell'incidente ma subito dopo (quando il radar secondario SSR non dà più risposta) i "plots" che dovrebbero indicare il volo terminale del DC9 delle sue parti e/o di velivoli estranei, sono confinati in una regione estremamente limitata, inferiore al miglio nautico (NM) in distanza".

Quindi il problema della caratterizzazione - termine che non viene spiegato - del radar in questa particolare situazione. Apparentemente chiare le fasi secondo cui tale caratterizzazione è stata effettuata:

- identificazione della struttura radar della monografia, dalla particolare configurazione di Fiumicino, dalla situazione operativa del momento;
- analisi delle prestazioni mediante simulatore di echi radar (a livello frequenza intermedia);
- analisi dei dati radar della sera del 27.06.80 e relativi al volo di simulazione del 30.04.85;
- analisi teoriche da complementare alle verifiche sperimentali al fine di accertare le risoluzioni ed accuratezze in distanze e azimuth e le problematiche commesse al blanking.

In esito quelle conclusioni da cui parte la critica del documento Pent-Vadacchino del luglio dell'anno precedente e cioè che "i vari tracciati radar identificati o meno non rendono ragione di uno scenario radar particolarmente complesso: non esiste evidenza radar di uno o più aerei che si immettono sulla traccia del DC9 I-Tigi al fine di averne copertura radar". I periti radaristi Misiti, pur disponendo delle dette osservazioni dei consulenti, non ne tengono conto e ribadiscono quanto già detto nel corso dei lavori peritali.

Nel capitolo 2 della parte 5, dedicata come è noto alla analisi dei dati radar del sito di Fiumicino, affrontano, secondo le "fasi della caratterizzazione", la struttura del

radar di Fiumicino - Ciampino al momento dell'incidente: Lo scritto è di carattere eminentemente tecnico con tabelle, formule e note di impossibile sintesi, per cui testualmente lo si riporta:

“Si farà nel seguito particolare riferimento alla monografia del radar Marconi e del EAF-7 complementando le varie informazioni disponibili nella “Perizia sull'incidente del DC9 I-Tigi del 27.06.80” consegnata il 16.03.89, nel supplemento di indagini presentato il 26.05.90 e da ulteriori analisi derivanti dalla testimonianza dei tecnici della Selenia.

La fig.2.1 mostra da [2] (p.110) la configurazione di sistema della catena radar mettendo in evidenza il collegamento su ponte radio.

In tab.2.1 sono riportate le caratteristiche tecniche principali del radar Marconi e Selenia e dell'estrattore di Ciampino. Nella tabella vengono riportati i vari parametri secondo la configurazione del 1980 (tale configurazione è quella desunta da varie testimonianze). Nel seguito verranno evidenziate le modifiche della configurazione attuale relativamente a quella del 1980.

In particolare converrà notare che il segnale radar è campionato nel radar stesso (Fiumicino) quindi convertito in modo analogico prima di essere inviato al ponte radio e quindi ricampionato (con clock asincrono) nell'estrattore EAF-7 (Ciampino); in ogni caso l'estrattore opera una risincronizzazione con risoluzione a passi di 100nsec al fine di ottenere l'operazione di integrazione azimutale.

Per quanto concerne le operatività del radar è stato accertato (dal registro “TWR” consegnato all'AG il 20.09.90 e dai plots stessi come disponibili) che il radar Marconi il 27.06.80 (così come il radar Selenia - dal registro “controlli canale operativo ATCR2”) operava nella regione di interesse in configurazione “canale normale” e sembra che non siano stati presenti problemi di propagazione anomala. Pertanto nel seguito verrà analizzato lo schema in questione solo per quanto concerne il canale normale.

Per quanto concerne lo schema a blocchi converrà osservare che nel 1980 un canale (quello normalmente operativo) era digitale (S7100), mentre quello analogico (S7006) di riserva usualmente non era operativo.

In fig.2.2 è riportata una mappa della zona di Fiumicino con indicata la dislocazione dell'antenna e delle parti trasmittente e ricevente (a radio frequenza - RF).

Nelle figg.2.3a) e b) sono riportati i diagrammi di copertura per i due radar in questione. In particolare converrà osservare che il diagramma di copertura del radar Marconi è differente da quello indicato nella “Blasi”, infatti è stato accertato (All.Q) che l'antenna del radar S-264 installata nell'aeroporto di Fiumicino (v.fig.2.3c) è del tipo “high looking”.

In fig.2.4 è riportata una parte dello schema a blocchi del ricevitore (ultima sezione dell'elaboratore (dopo MTI)) che si ritiene di interesse per l'analisi in questione.

Il segnale video (digitalizzato a 8 bit) entra nel circuito antiinterferenza (PRFD). In realtà il circuito in questione (fig.2.5) opera nel senso di discriminare interferenze impulsive asincrone rispetto alla PRF del radar.

Tab.2.1

| Radare | Marconi | Selenia |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Coordinate | 41°47'51"N 12°13'11"E | 41°48'23"N 12°14'58"E |
| Frequenza di trasmissione (f_T) MHz | 600 | 1300 |

| | | |
|--|------------|------------|
| Larghezza del fascio d'antenna (-3dB) (θ_B) gradi | 2.1° | 1.25° |
| Durata impulso trasmesso (τ) μ sec | 3.3 | 2.75 |
| Passo di campionamento (τ_c) μ sec | 1.54 | 2.6 |
| | (~0.125NM) | (~0.21NM) |
| Velocità rotazione di antenna(ω_B) giri/min | 10.66 | 10 |
| Frequenza di ripetizione radar (PRF) Hz | 448 | 450 |
| Coordinate centro sistema | 41°48'01"N | 12°14'26"E |

Estrattore EAF - 7/C

-Tecnica Moving Window (MW)

| | |
|---------------------------|-----------|
| Larghezza MW | 15 |
| Soglia detezione | 7 (su 15) |
| Soglia "inizio bersaglio" | 7 |
| Soglia "fine bersaglio" | 2 |

La prima soglia viene regolata sul segnale in input (proveniente dal ponte radio)

Tab.2.1 (cont.)

| | |
|---|------------------|
| -Passo di campionamento (cella di elaborazione) (τ_{CH}) msec | 1.93 (~156NM) |
| -Accuratezza nella risincronizzazione (per integr. azimutale) nsec | ~ ~ 100 |
| (Clock asincroni Radar/EAF-7/C) | |
| -Mascheramento o blanking in range (NM) | ~1.09 ~0.16 |
| “ - numero delle celle da 0.965 msec | 14 2 |
| -Stima posizione azimutale | $A_f - (1/2E+B)$ |
| A_f azimuth finale (soglia 2) | |
| E estensione azimutale del segnale (dal primo superamento - Soglia 7 - all'ultimo - soglia 2) | |
| B "Bias" iniziale (soglia 7) | |
| -Quantizzazione nella lettura della distanza | 1/16 NM |
| -Soglia qualità | 0 8 |
| -Circuito antijitter: "estensione in range" (dei dati in input dalla MW) nella cella successiva nel caso di superamento nella seconda parte (seconda semicella) della cella in esame. Nel caso di presenza di un plot esteso (su due range bin), il primo si considera sempre presente, il secondo solo nel caso che il numero degli "estesioni" sia inferiore della soglia di jitter" (che risulta essere posta a zero). | |

La discriminazione in questione viene fatta sulla base di un confronto ("range cell" per "range cell") del segnale che supera una determinata soglia (T_1) con il segnale che la superava nella corrispondente "range cell" nello sweep precedente.

Ogni assenza di superamento contemporaneo in celle contigue azimutali provoca un azzeramento [Blanking: v. PRFD Blank W/F] nel circuito video gate del segnale che poi costituisce l'ingresso del convertitore D-A (v. fig.2.4)

La modalità di regolazione della soglia T_1 , desunta dalla operatività attuale, è riportata nella stessa fig.2.5

Il circuito video gate (fig.2.6) opera nel senso di “mescolare” (mixing) segnali MTI e normali. Nella condizione operativa della sera del 27.06.80 il segnale risultante era costituito da segnale MTI per distanze inferiori a 70-80NM e segnale normale al di sopra di tale valore; pertanto converrà porre particolare attenzione (nella regione dell’incidente) al canale normale (Video norm).

Sul segnale video normale agisce il blanking (dal circuito PRFD), che, in caso di interferenza, posiziona tutti i bit a zero e un circuito di “enhancement” che posiziona tutti bit a 1 (livello massimo) qualora si decida presenza di segnale dal circuito “integratore”. In altre parole il circuito in questione opera una “specie” di prima soglia utile poi come prima soglia di ingresso della moving window dell’estrattore EAF-7/C.

Il circuito integratore (v.fig.2.7) opera in senso non convenzionale; infatti il circuito in questione lavora “in parallelo” alla linea di flusso del segnale. In realtà il segnale entrante viene limitato a 6 bit: riducendo la dinamica di ingresso si riduce l’allungamento azimutale dei segnali forti, così da consentire ancora una conveniente risoluzione azimutale.

Il circuito di integrazione (“integratore video”) opera con un guadagno $k = 7/8$ nel modo convenzionale con tecnica di “integrazione video” (v.[3]p.335), ne risulta una costante di tempo per integrazione azimutale di

$$\tau/T = \frac{1}{\ln 1/k} = 7.5$$

ossia pari a 7.5 battute radar. Sul segnale in uscita dal circuito di integrazione (dopo il sommatore) agisce una soglia T_2 (regolata operativamente come riportato ancora in fig.7); se il segnale integrato supera la soglia in questione si ha l’“enhancement” (ossia il corrispondente contenuto digitale viene posto al suo livello massimo ottavo bit.) del segnale (v. circuito “video gate”).

Converrà precisare che la funzione di enhancement esiste ancora oggi, anche se il “loop” di integrazione negli anni 82 e 83 fu aperto (ed attualmente è in tale stato) per il problema dello scarso allineamento dei dati del radar secondario e primario che rendevano complicata la funzione di estrazione del dato radar, quando si rese attiva la funzione di multiradar tracking (MRT).

Peraltro la funzione integrazione con conseguente regolazione della soglia T_2 è stata ripristinata nelle varie fasi sperimentali, anzi per la presenza contemporanea dei due canali, con e senza integrazione, è stato possibile valutare che l’integratore in questione comporta un allungamento azimutale massimo di $1.8 \div 2$ sui segnali sia simulati che reali; peraltro è facile valutare analiticamente che tale allungamento è limitato al valore sopra indicato per effetto della citata riduzione della dinamica (a 6 bit) all’ingresso del circuito integratore (come verrà evidenziato nel seguito).

Per quanto concerne l’estrattore EAF-7/C (Ciampino) le caratteristiche generali sono riportate in tab.2.1; peraltro converrà osservare che:

- l’identità dell’aereo e le relative quote sono ovviamente fornite unicamente dal radar secondario (SSR);
- la distanza è fornita dal radar secondario (SSR) e, in assenza di tale risposta, dal radar primario (PR); in presenza di un target esteso in distanza tale informazione è relativa alla risposta più vicina al radar;
- l’azimuth è fornito dal radar primario (PR) ed in assenza dal radar secondario (SSR);
- la qualità è associata ai soli plots primari ed è disponibile solo in assenza dei dati secondari.

A chiarimento del circuito “antijitter” sempre dell’estrattore (v.tab.2.1) (circuito non convenzionale), nel seguito viene riportata una rapida descrizione dello stesso (da Appunti resi disponibili dall’ing. S. Pardini dell’Alenia S.p.A.):

1. Lo scopo della logica antijitter è quello di evitare che un oggetto debole che si trovi a cavallo di due celle possa essere penalizzato da fatto che gli “1” logici possano disperdersi su due celle adiacenti a causa del jitter dell’istante di attraversamento della prima soglia (es. a causa di fluttuazioni del segnale).
2. A tal fine ad ogni sweep viene determinato l’istante di superamento della soglia. Viene determinato se tale istante appartiene alla 1^a o alla 2^a metà della cella. Se appartiene 1^a viene posto ad “1” il contenuto della cella in esame; se appartiene alla 2^a metà viene posto ad “1” sia il contenuto della cella in esame sia quello della cella adiacente in distanza, segnalando al contempo con un FLAG tale secondo “1”.
3. La logica del Moving Window viene applicata ad entrambe le celle. Se entrambe le celle vanno in detezione, la detezione a distanza maggiore viene annullata purchè gli “1” con FLAG siano in numero maggiori di una prefissata soglia.
4. La misura della distanza viene calcolata in corrispondenza dello sweep corrispondente a quello di inizio detezione. Tra l’altro la distanza viene misurata con una quantizzazione più spinta di quella corrispondente alla cella di elaborazione.
5. A causa della logica dell’estrattore la misura viene effettuata sul fronte dell’impulso.

In realtà il processo di cui sopra converrà dettagliarlo come segue.

In accordo alla tab.2.1 il campionamento sul radar Marconi (Fiumicino) avviene con clock (asincrono rispetto all’estrattore Ciampino) la cui durata nominale è di 154msec.

Peraltro nell’estrattore radar il segnale (reso praticamente analogico (v.fig.2.1 e 2.4) viene ricampionato in distanza con un “Fine Range Clock” (FRC) (fig.2.8a) e un “Range Bin Clock (RBC) (fig.2.8.b) che determina la definizione delle celle di distanza (v. passo di campionamento di tab.2.1).

Peraltro, al fine della elaborazione azimutale, se il superamento della soglia di input avviene nella zona A, determinata dal RFC, viene attivata la cella come disegnata in fig.2.8c); se invece il superamento avviene nella zona B vengono attivate due celle di cui la seconda costituisce l’estensione (fig.2.8d). Si noterà in fig.2.8 uno slittamento in distanza classico negli elaboratori radar, ininfluenza dal punto di vista logico.

La lettura in distanza invero viene effettuata sullo sweep corrispondente al superamento della prima soglia (di salita) della Moving Window (MW); peraltro la lettura in questione viene effettuata sul fronte di salita del segnale sincronizzato da FRC (v. fig.2.8a), rileggendola in distanza con un clock che opera su una frazione di 1/16 di miglio nautico (NMC - Nautical Mile Clock) (v.fig.2.8f). Tale clock NMC viene generato dal TMC (Ten MHz Clock → 96,5 nsec ~ 100 nsec → 10,360 MHz) e sincronizzato tramite questo con trigger radar (jitter corrispondente ~100nsec)”.

Di rilievo in questo capitolo, e quindi da rammentare ai fini della valutazione delle conclusioni, le affermazioni sull’estrattore EAF-7C; sull’identità dell’aereo e relativa quota, distanza, azimuth e qualità; sulla logica e il funzionamento del circuito antijitter. Su tali temi i radaristi Misiti, avvalendosi come detto di documentazioni Blasi e testimonianze Alenia, si diffondono con larghezza, pur operando dei salti nei vari passaggi od omettendo sufficienti spiegazioni di affermazioni di rilievo.

Nel capitolo 3 vengono riportate le prove di simulazione effettuate con simulatore della Alenia. Anche per questo capitolo appare necessario riportare integralmente il testo.

“Al fine di validare quanto sopra sulla struttura e le “performance” del radar Marconi sono state effettuate delle prove di simulazione facendo uso del simulatore messo a disposizione dalla Alenia S.p.A. (All.A-a); le prove in questione sono dettagliate in All.A-b.

In realtà le prove di simulazione effettuate il 7.02.91, 21.02.91, 6.03.91 e 13.03.92 si basano su un “generatore di due target indipendenti, forniti di velocità radiale2 dettagliato in All.A-a, il cui schema a blocchi è riportato in fig.3.1.

Un tale simulatore consente una regolazione indipendente dei due target nelle:

- posizione azimutale,
- larghezza azimutale (larghezza media $N \sim 15$)
- posizione in range;
- velocità radiale (risoluzione $15\text{m} \leftrightarrow 100\text{msec}$ per ogni giro d’antenna);
- livello dei target (regolabile separatamente, regolando il livello del segnale di uscita sugli strumenti generatori: A_1, A_2);
- livello comune (regolabile dall’attenuatore comune A_0).

Una volta addizionato il segnale reale al segnale simulato all’ingresso della torre di controllo di Fiumicino, ossia a frequenza intermedia, è stato possibile stabilire una dinamica per A_1, A_2 e A_0 :

| | | | | |
|-------|----|-----|---|---------|
| A_0 | da | -20 | a | -10dB |
| A_1 | da | 7.9 | a | -2.1dBm |
| A_2 | da | 8 | a | -2Bm |

Posizionando $A_1=7.9\text{dBm}$, $A_2=8\text{dBm}$ e $A_0=20\text{dB}$ si raggiunge un livello che è stato possibile ritenere pari al MSD (minimum detectable signal) $\sim 80\%$, osservando sul PPI disponibile a Fiumicino il segnale dei due target (per semplicità lunghissimi: interessanti tutta la circonferenza (posizione ring)). Nel seguito si farà riferimento ai valori di cui sopra o ad opportune variazioni relative.

Posizionando A_0 a -10dB si ha una dinamica dei segnali simulati di 10dB che consente di portarli al livello massimo (allungamento massimo azimutale) converrà infatti notare che il rumore (picco-picco) occupa in uscita dal radar (ingresso al ponte radio) circa 20 livelli (peraltro questo rumore appare leggermente “tosato” per effetto della soglia T_1 di PRFD: v.fig.2.5).

Osservando il rumore in questione si è ritenuto di poter considerare il livello medio (x) intorno al quanto “8” e quindi (ipotizzando una distribuzione di tipo Rayleigh) è possibile ritenere:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot x \cong 6 \text{ (quanto)}$$

ossia la deviazione standard relativa al processo gaussiano (rumore) di ingresso [3] può essere ritenuta pari a “6” quanti.

La dinamica del segnale utile allora (riportato in IF), all’ingresso del circuito integratore, è limitata al valore

$$\frac{L}{\sqrt{2} \sigma} \frac{64}{\sqrt{2} \cdot 6} \cong 7.54 \rightarrow 17.5 \text{ dB}$$

(corrispondendo $L(=64)$ a 6 bit).

Pertanto ricordando il livello di minima rilevabilità, la dinamica di 10dB come proposta dai tecnici “Alenia” (che pertanto dalle (3.1) è globalmente di 20dB: ulteriori 10dB in basso) appare più che soddisfacente.

Utilizzando il simulatore in questione si è proceduto a quattro tipi di prove (descritte nel seguito) al fine di ottenere indicazioni su:

- risoluzioni e accuratezze in “range”:
- accuratezze in azimuth;
- risoluzione in azimuth;
- effetti del blanking.

Nella descrizione che segue le prove simulative sperimentali verranno confrontate con delle analisi teoriche e con i dati disponibili della sera dell’incidente”.

Seguono due capitoli di fondamentale importanza in cui vengono compiute affermazioni che però non vengono portate ad ulteriori conclusioni o non sono usate per le conclusioni finali.

I capitoli, 4 e 5, sono dedicati alla risoluzione ed accuratezza rispettivamente in range ed azimuth. Anch’essi devono essere riportati integralmente e per le ragioni già dette ed anche per evidenziarne pregi e difetti. Le figure e le tabelle cui si rinvia nel testo sono ovviamente allegate all’elaborato.

Questo il testo del capitolo 4:

“In All.B sono riportati i tabulati radar relativi alla sera dell’incidente relativamente ai quattro estrattori (v.fig.2.1).

I dati in questione sono solo quelli limitati al settore di interesse (7) e all’intervallo di tempo che va da due battute precedenti l’incidente a tutte le battute interessanti l’incidente stesso. Alla fine dell’All.B è riportata anche la descrizione di come le singole colonne del tabulato debbono essere lette ed interpretate.

Nel seguito gli andamenti distanza (range) - tempo e azimuth - tempo verranno trattati separatamente. Converrà infatti ricordare che l’accuratezza in range è di gran lunga superiore a quella in azimuth. Basterà allo scopo osservare che alla risoluzione in range di 3.3msec. ($\leftrightarrow 0.27\text{NM}$) corrisponde (alle distanze in questione) una risoluzione azimutale di $\theta_B \cdot R (\sim 0.035\text{rad} \times 130\text{NM}) \sim 4.5\text{NM}$.

In fig.4.1 sono riportati (dall’All.B) per il radar Marconi 3 (estrattore n.3) i plots relativi all’andamento range (NM) - tempo (s): il tempo viene riportato in ascissa è riferito alla comparsa dell’aereo in questione (A1136) nel settore 7.

Dall’andamento di fig.4.1, come già messo in evidenza nelle precedenti relazioni, è possibile considerare la presenza di almeno due tracce dislocate in distanza meno di 0.6NM. Si è peraltro nella zona di mascheramento (blanking) (v.tab.2.1). Quindi sono possibili diverse interpretazioni.

Comunque sia converrà osservare che i plots relativi alla traccia a distanza inferiore si presentano solo a valori discreti di distanza (molto trasversale al radar), a meno dell’errore di quantizzazione finale del radar che è, come precisato nel paragrafo che precede (v.fig.2.8f) e messo in evidenza dai tabulati dell’All.B, proprio di 1/16NM. Peraltro conviene osservare che la quantizzazione sulle ordinate di fig.4.1 è pari a 0.125NM.

Al fine di dettagliare il processo di quantizzazione conviene, sommarizzando quanto detto nel paragrafo che precede, precisare che:

- si è in presenza di una prima quantizzazione in range dettata dal passo di campionamento del radar Marconi ($\sim 1.54\mu\text{sec}$, v.tab.2.1), pertanto se si avesse ad esempio un target in avvicinamento o allontanamento, il lato in distanza come disponibile all’ingresso dell’estrattore radar a Ciampino dovrebbe essere quantizzato sempre in distanza con tale passo che corrisponde a circa 1/8NM;
- il secondo processo di quantizzazione in distanza dell’estrattore descritto in fig.2.8, anche se asincrono con quello del punto che precede, non può migliorare la

quantizzazione, che pertanto rimane di 1/8NM per un bersaglio in moto come sopra descritto.

Naturalmente converrà osservare che:

- un bersaglio fluttuante in ampiezza (per semplicità converrà pensarlo fisso in range) potrà dare superamenti dalla prima soglia della MW (si tenga presente la banda finita del ponte radio) nelle regioni ad esempio B e C (v.fig.2.8a) e quindi riletto con il NMC potrà dar luogo a salti di 1/16NM;
- un bersaglio in moto, peraltro fluttuante, potrà dar luogo a salti di 1/16NM per quanto detto al punto che precede, ma potrà anche dare origine a salti multipli di 1/16NM per lo stesso motivo.

Le simulazioni effettuate in data 7.02.91 e 21.02.91 hanno dato origine agli andamenti a step, come messo in evidenza nelle figg.A.b.1, A.b.2. e A.b.3 dell'All.A.b corrispondenti a diverse posizioni in range, diverse velocità e livelli e lo step di quantizzazione è risultato sempre di 1/8NM.

Il fatto di non avere evidenziato la quantizzazione più fine (1/16NM) di cui in fig. 4.1 ha fatto suggerire ai consulenti di parte dell'AM di ripetere le prove in questione. In particolare il 13.09.92 le prove sono state ripetute con due target in avvicinamento contemporaneo a livelli eguali o differenti (per simulare le fluttuazioni), dislocati ad azimuth differenti tali da non presentare effetti di cattura; i risultati di alcune prove sono riportati in fig.4.2, 4.3 e 4.4.

In particolare in figg.4.2 e 4.3 (bersagli e pari livello) sono evidenziati step minimi di 1/16NM e massimi di 3/16NM, in fig.4.4 (bersagli a livelli differenti simulanti fluttuazioni) sono visibili step anche 5/16NM.

Ulteriori indagini sulla quantizzazione in range nel caso dei dati da radar primario è stata effettuata individuando una traccia di un velivolo nell'emisfero nord circa mezz'ora prima dell'incidente. Questa traccia non ha secondario e pertanto risulta utile ai fini della valutazione della quantizzazione in range. Effettuato un "best fitting" (lineare) dei dati in range (infatti si tratta di un velivolo in modo radiale) sono stati ottenuti gli errori in range, come riportati in fig.4.5, che sono compatibili con quelli in figg.4.1÷4.4. In realtà i dati in distanza risultano sopra campionati; infatti ad ogni giro d'antenna il velivolo percorreva più passi di quantizzazione in range.

La fig.4.6 mostra le differenze relative ai due estrattori del R.Marconi 1-3 (con scala delle ascisse riferite all'istante dell'ultima risposta radar (S.S.R.+P.R.)); è possibile osservare come la diversità fra i due estrattori possa essere attribuita alla quantizzazione della lettura in distanza e/o diverso campionamento in range. La diversa sensibilità dei due estrattori è attribuibile alla soglia primaria che è "riposizionata" all'ingresso dell'estrattore EAF-7/C indipendentemente per i due estrattori. Converrà osservare come il rumore di quantizzazione come disponibile all'ingresso del ponte radio (Fiumicino) appare completamente "coperto" dal rumore del ponte stesso.

La fig.4.7. mostra gli andamenti analoghi a quelli di fig.4.6 per il radar Selenia. E' possibile osservare la maggiore sensibilità dell'estrattore 4, giustificabile ancora dalla diversità delle soglie primarie ed in ogni caso l'estrattore 2 non aggiunge alcuna informazione ai dati disponibili dell'estrattore 4. Pertanto nel seguito converrà fare particolarmente riferimento ai dati degli estrattori 3 e 4.

Peraltro, osservando il diverso campionamento temporale e ricordando la diversa risoluzione in distanza dei due radar, è possibile asserire, osservando gli andamenti di fig.4.7, che il radar Selenia non porta informazioni significative per quanto concerne la distanza rispetto a quelle disponibili dal radar Marconi.

Per quanto concerne l'accuratezza della misura di "range" in tab.4.1. sono indicati i vari errori utili al fine di ottenere una caratterizzazione statistica globale. Conviene osservare che l'errore derivante dal campionamento dell'estrattore non è stato incluso, in quanto in zone spaziali limitate l'errore in questione è correlato con il corrispondente del radar. I primi tre errori di tab.4.1 sono da ritenere a distribuzione piatta di larghezza picco-picco (q) come riportato ancora in tab.4.1 (da tab.2.1) e quindi e quindi sommabili quadraticamente (ciascuno comportando globalmente una varianza $q^2/12$) come riportato nella stesa tabella.

Per quanto concerne il contributo del rumore si è ritenuto opportuno (cautelativamente) di volerlo valutare come fosse indipendente dagli altri e pensando a una lettura con tecnica fronte salita (v.p.51 di [3]), detto errore può essere stimato tramite la relazione

$$\sigma_{RN} = \frac{\tau}{\sqrt{\tau B} \sqrt{\frac{S}{N}}}$$

e considerando un $S/N \sim 10\text{dB}$ (per la P_{fa} e P_D presa in esame nella zona di interesse) e ipotizzando $\tau B \sim 1.2$ si hanno contributi ancora specificato in tab.4.1. In conclusione, i contributi globali, per quanto concerne l'accuratezza in distanza, sono da ritenere i seguenti:

Radar Marconi $\sigma_R = 0.059\text{NM}$

Radar Selenia $\sigma_R = 0.106\text{NM}$

Tab.4.1 - Accuratezza in "range"

| | Marconi | Selenia |
|---|-----------|-----------|
| contributo campionamento radar (NM) | 0.125 | 0.210 |
| " risincronizzazione EAF-7(NM) | 0.008 | 0.008 |
| " lettura distanza (NM) | 0.062 | 0.062 |
| | | |
| valore r.m.s. totale (NM) | 0.040 | 0.087 |
| " di rumore (S/N~10 dB) (r.m.s.) | 0.042 | 0.060 |
| | | |
| accuratezza globale (r.m.s.) $\sigma_R =$ | 0.059(NM) | 0.106(NM) |

In conclusione, da quanto precede è possibile asserire la presenza di un rilevante errore di quantizzazione in distanza tale da non poter fare escludere la possibilità che la traccia a distanza inferiore, di cui in fig.4.1, possa essere costituita da un solo oggetto".

Come ben si nota, la conclusione è formulata in forma di possibilità. Se ne deve desumere, non è logicamente possibile altrimenti, la possibilità del suo contrario.

Questo il testo del capitolo 5:

"Risoluzione ed accuratezza in azimuth"

"Il problema dell'accuratezza angolare si presenta più articolato e complesso. Converrà premettere alcune considerazioni di tipo teorico all'analisi sperimentale al fine di fornire una plausibile interpretazione dei dati radar, peraltro nell'All.C sono riportati vari conti di portata che validano le caratteristiche di visibilità del radar Marconi.

L'andamento azimuth tempo (corrispondente a quello di fig.4.1) è riportato in fig.5.1., in cui è evidenziata la zona prima dell'incidente (secondario + primario - SSR + PR)(*), la zona dopo l'incidente (solo primario - PR) (x). Relativamente ad alcuni particolari plot prima dell'incidente è disponibile solo il secondario (+).

Già dall'andamento di fig.5.1. è possibile dire che l'interpretazione si manifesta molto complessa.

5.1 Elementi di analisi teorica.

Come fatto cenno nelle pagine che precedono, il rumore all'ingresso dell'estrattore si presente come "Rayleigh" leggermente "Clipped", come riportato in fig.5.1.1. Il rumore appare quantizzato e ad una prima analisi è sembrato opportuno localizzare il valore medio della distribuzione al quanto "8" (v.par.3)

$$r \cong 8 \quad (\text{quanti})$$

ne viene

$$\sigma \cong 6 \quad (\text{quanti})$$

come deviazione standard del processo gaussiano predetection generante la distribuzione Rayleigh.

Peraltro il processo Rayleigh è caratterizzato da valor medio e varianza (intesa dopo rivelazione - distribuzione Rayleigh) in funzione del rapporto $S/N = A^2/2\sigma^2$ (in IF) che possono essere approssimati (v. [3], p.513):

$$(5.3) \quad \begin{cases} \bar{r}_s \rightarrow A \\ \sigma_R^2 = m_2 - \bar{r}^2 \rightarrow \sigma^2 \end{cases} \quad \text{per } \frac{S}{N} \rightarrow \infty$$

$$\begin{cases} \bar{r}_s \rightarrow \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{A^2}{4\sigma} \\ \sigma_R^2 \rightarrow \sigma^2 \cdot \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \end{cases} \quad \text{per } \frac{S}{N} \rightarrow 0$$

In fig. 5.1.2 è riportato l'andamento delle due relazioni per r_s di cui nella (5.3), da cui è possibile dire che per $A/\sigma > 3$ è possibile utilizzare l'approssimazione per $S/N \rightarrow \infty$ ed ancora è possibile asserire che questa ipotesi vale

$$r_s \sim A \quad \text{e} \quad \sigma_R \sim \sigma$$

(distribuzione Rice per $S/N \rightarrow \infty$).

Converrà notare che il rumore, come già accennati in precedenza, come quantizzato all'ingresso del ponte radio alla sua uscita appare di tipo analogico; pertanto è da ritenere che il canale "ponte radio" (a banda larga ~10MHz) introduce rumore (quindi perdite di sensibilità).

In realtà un tale argomento non appare rilevante ai fini di ciò che segue peraltro, poichè le soglie primarie della MW vengono riposizionate su tale rumore, appare giustificabile, come già detto, il diverso comportamento in sensibilità dei vari estrattori.

Il rumore, come descritto in fig.5.1.1 e nelle (5.1) e (5.2), cui è sovrapposto un segnale dato dalla (5.4) (che al massimo può essere pari a L (=64) - v. eq. (3.3) - ad opera del livello di limitazione all'ingresso dell'integratore) costituisce l'ingresso dell'integratore stesso.

Il rumore in uscita all'integratore può essere assimilato ad un processo gaussiano (v.pag.336 e seg. di [3]) il cui valore medio è dato dalla

$$\frac{r}{1-k} \cong 8r \quad \rightarrow \quad 64 \text{ (quanti)}$$

essendo k la costante di integrazione (v.(2.1) che nel caso in questione è pari a 7/8).

La deviazione standard in uscita diviene pari a

$$\sigma_{R0} = \frac{\sigma}{\sqrt{1 - k^2}} \cong 2\sigma \quad \rightarrow \quad 12 \quad (\text{quanti})$$

In accordo al criterio di regolazione della soglia T_2 di fig.2.7 è possibile ritenere che la soglia in oggetto sia posizionata ad un valore che va da 2 a 4 volte σ_{R0} ($P \sim 10^{-2} \cdot 10^{-5}$), sopra il valor medio (5.5); infatti la soglia in questione viene posizionata osservando il rumore sul PPI prima dell'estrattore.

Pertanto è da ritenere

$$T_2 \cong 8r + \gamma \cdot \sigma = 112 \quad (\text{quanti})$$

dove γ assume un valore che va da 4 a 8.

A questo punto è possibile valutare l'allungamento azimutale. Ritenendo di aver applicato un segnale $r_s - r \leq L - 8 = 56$ di durata pari a 15 (numero di impulsi medi nel fascio). Tale segnale comporta una riuscita come rappresentata in fig.5.1.3; pertanto il segnale sarà del tipo (v.(2.1)):

$$\frac{(r_s - r) \cdot (1 - e^{-vT/\tau})}{1 - k} = (r_s - r) \cdot 8 (1 - e^{-v/7.5})$$

(per $T = 1/\text{PRF}$) nel suo "rise time", mentre nel "decay":

$$\frac{(r_s - r)}{1 - k} (1 - e^{-N/7.5}) e^{-v/7.5}$$

Confrontando detti segnali all'incremento della soglia sul valor medio $\gamma \cdot \sigma$ si ha la schematizzazione di tab.5.1 in cui si è valutata, secondo questa metodologia semplicistica, la posizione centrale o "bias" θ , l'estensione azimutale E e la qualità Q (v.tab.2.1.)

E' possibile peraltro dimostrare che la "posizione centrale" θ come valutata all'uscita dell'estrattore, non viene alterata (accetto che per un valore costante, indipendente dal livello del segnale) dall'estrattore a finestra mobile (moving window) che segue.

Gli andamenti relativi sono riportati in fig.5.1.4 e sono per certo utili nella interpretazione e valutazione dei risultati delle prove di simulazione; peraltro un diverso modo di procedere, probabilmente più attendibili (v. anche All.C), consiste di considerare il segnale di ritorno in dinamica, ipotizzando un fascio d'antenna gaussiano:

$$G = G_0 e^{-28 \theta^2 / \theta_B^2} \quad \theta_B = 2.1^\circ$$

che comporta un segnale, rivisto in tempo tramite la velocità angolare dell'antenna (10.66 giri/min. come valutata dai registrati, v. anche tab.2.1) e normalizzato

$$x(t) = e^{-(\alpha t)^2} \quad \alpha = 72 \text{sec}^{-1}$$

Peraltro il circuito integratore, operando nel continuo, è schematizzabile come filtro passa-basso (tipo RC, v.pag.336 e seg.di[3]) con costante di tempo

$$\tau = T/1n \ 1/k = 16.7 \text{msec}$$

essendo T l'intervallo di campionamento (pari a $1/\text{PRF} = 2.2 \text{msec}$)

K la costante di integrazione $7/8$.

L'uscita a meno di un termine costante della risposta del circuito integratore al segnale (5.11) è data dalla:

$$y(u) = e^{-0.58 u} \cdot F(u)$$

dove u è un parametro normalizzato che tramite il tempo t è legato alla evoluzione alla evoluzione angolare q (v.(5.10)):

$$u = \sqrt{2} \alpha t_1 - \underline{1} = \sqrt{2} \cdot \underline{\alpha} \cdot \underline{\theta} - \underline{1} = 1.59 \theta - 0.58$$

$\sqrt{2} \alpha \tau \quad \omega \quad \sqrt{2} \alpha \tau$
 e $F(u)$ è data dalla

$$F(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz$$

Tab. 5.1

$$(A-\bar{r}) \cdot 8(1-e^{-v_1/7.5}) = \gamma \cdot \sigma \rightarrow v_1 = 7.5 \ln \frac{1}{1 - \frac{\gamma \cdot \sigma}{8 \cdot (A-\bar{r})}}$$

$$(A-\bar{r}) \cdot 8(1-e^{-N/7.5}) e^{-v_2/7.5} = \gamma \cdot \sigma \rightarrow v_2 = 7.5 \ln \left[\frac{8(A-\bar{r})}{\gamma \cdot \sigma} \cdot (1-e^{-N/7.5}) \right]$$

-1 (N >> 7.5)

$$\hat{\theta} = \frac{1}{N} \left\{ v_1 + \frac{(N-v_1+v_2)}{2} \right\} \cdot \theta_B$$

$$E = N - v_1 + v_2 - B + 13 = N - v_1 + v_2 + 6$$

$$Q = \begin{cases} E & \text{se } E < 15 \\ 15 & \text{se } E \geq 15 \end{cases}$$

$$\frac{S}{N} = s = \frac{A}{\sqrt{2} \sigma}$$

$$\frac{A}{\sigma} - \frac{\bar{r}}{\sigma} = \sqrt{2} \cdot s - 1.3$$

La fig.(5.12) è riportata in fig.5.1.5. In realtà nella stessa figura è riportato l'andamento di u che corrisponde alla posizione media (polarizzazione o "bias") nella sua variabilità (errore di polarizzazione) al variare del segnale di ingresso. Su una dinamica di 17.5dB (v.(3.3)) opportunamente sistemata su un opportuno livello dettato dalla sensibilità è possibile notare un $\Delta u \cong 1.2$ che riportato in termini di $\Delta \theta$ (v.(5.13)) corrisponde ad un valore pari a 0.75° , converrà notare che una tale valutazione è anche fortemente dipendente dalla forma del fascio (assunto gaussiano v. (5.10)) e quindi il risultato conseguente è da ritenersi solamente indicativo.

Nella stessa figura 5.1.4 è riportata la deviazione standard σ_θ dell'errore angolare dovuto al rumore, avendo considerato il tutto come un'unica moving window (da pag.353 di[3]). Il modesto errore ottenuto ha fatto ritenere inutile un'ulteriore indagine su questo tipo di errore, infatti è possibile osservare che le fluttuazioni del target nella situazione in oggetto che fanno "spazzolare" (modelli di Swerling) i vari S/N producono un errore per "bias", maggiore di quello dovuto a problemi di sensibilità.

In ogni caso dagli andamenti di figg.5.1.4. e 5.1.5 è possibile concludere che nella zona in questione ipotizzata una escursione del rapporto segnale-rumore fino a ~17.5dB si è in presenza:

- di un errore angolare di polarizzazione che può variare da 0.5° a 0.9° ;
- di un errore per sensibilità dell'ordine di 0.2° .

I due errori di cui sopra fanno sì che è da attendersi un errore dell'ordine del grado nella accuratezza angolare.

Peraltro converrà anche notare la scarsa significatività della qualità, come è anche desumibile dall'istogramma relativo ai dati "Marconi" disponibili riportato in fig.5.1.6.

5.2 Risultati delle prove di simulazione.

5.2.1 Accuratezza in azimuth.

Onde valutare l'accuratezza in azimuth il 21.02.91 sono stati posizionati due target simulati di larghezza nominale ($N=15$) nella stessa posizione azimutale ad una distanza relativa di $\sim 10\text{NM}$. Il target più lontano ($\sim 125\text{NM}$) è stato posizionato ad un livello superiore al massimo di $\sim 2\text{dB}$ ($A_1 = 7.9\text{dBm}$, $A_0 = -8\text{dB}$); pertanto per effetto del processo di limitazione si ritiene sia ancora posizionato al massimo livello. Il secondo segnale è posizionato ad un livello che corrisponde a MDS ($A_0 = -8\text{dB}$, $A_2 = -4\text{dBm}$) o leggermente superiori ($+1\text{dB}$: $A_0 = -8\text{dB}$, $A_2 = -3\text{dBm}$), ($+3\text{dB}$: $A_0 = -8\text{dB}$, $A_2 = -1\text{dBm}$).

Il risultato delle prove sperimentali è riportato nelle figg.5.2.1.1 ...6 e sinteticamente in tab.5.2.1.1.

In particolare in fig.5.2.1.1 è riportato il risultato (azimuth-scansioni radar) relativo al segnale al livello massimo e si è ottenuto un valore medio del posizionamento angolare del target all'uscita dell'estrattore pari a 160.42 (gradi) con deviazione standard 0.22 (gradi). In fig.5.2.1.2 sono riportati gli analoghi risultati relativi al segnale a livelli inferiori, in particolare al livello MDS ($\sim 6\text{dB}$) si è ottenuto un valore di posizionamento angolare pari a 159.74° (gradi) con deviazione standard di 0.49 (gradi). La differenza angolare $160.42 - 159.74 = 0.68$ è riportata in fig.5.1.4 (con riferimento 1.6°). Con analoga tecnica sono riportati i risultati relativi alla deviazione standard.

Simili risultati sono stati ottenuti nella sperimentazione del 6.03.91 (v.All.B) (v. anche figg.5.2.1.3, 4, 5, 6) e sono riportati (+) ancora in fig.5.1.4. In questo caso si è proceduto ad abbassare il livello dei due target, quello lontano (a 108NM) e quello vicino (98NM) contemporaneamente e la dinamica in gioco è la massima, cioè il riferimento è il valore MDS. In conclusione, le prove sperimentali avvalorano l'analisi sulla accuratezza angolare di cui negli andamenti di fig.5.1.4.

5.2.2 Risoluzione in azimuth.

Le considerazioni riportate nelle pagine che precedono, relativamente allo "stretching" o allungamento azimutale dovuto alla presenza dell'integratore, ovviamente fanno pensare ad una conseguente perdita in risoluzione azimutale. Pertanto è da ritenere che due target posizionati alla stessa distanza anche a distanza azimutale rilevante possono essere considerati come unico target ad opera dell'estrattore finale. Al fine di evidenziare quanto sopra sono state condotte delle prove sperimentali; peraltro l'effetto di cui sopra dipende ovviamente anche dai livelli relativi dei due target.

Tab. 5.2.1.1

21/2/91

6/3/91 I

6/3/91 II

| Livello (S/N) | θ (°) | σ_{θ} (°) | θ (°) | σ_{θ} (°) | θ (°) | σ_{θ} (°) |
|----------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| max(+17.5dB) | 160.42° | 0.22 | 159.87 | 0.09 | 159.85 | 0.1 |
| ~9 dB | 160.10° | 0.24 | | | | |
| ~7 dB | 160.01° | 0.32 | | | | |
| min (MDS~6dB) | 159.74° | 0.49 | 159.03 | 0.18 | 159.02 | 0.13 |
| $\Delta\theta$ | 0.68 | | 0.84° | | 0.83° | |

(fig.5.2.1.1/2) (fig.5.2.1.3/4) (fig.5.2.1.5/6)

Le prove in questione sono state effettuate con target alla distanza dell'ordine 110NM (prossime a quella interessata dall'incidente).

In fig.5.2.2.1/2/3/4 i due target vengono posizionati ad una distanza azimutale di circa 3.5° (159.961° e 163.477°) (si ricordi che il fascio è di circa di 2°). In figg.5.2.2.1/3 il target primo (dal punto di vista azimutale) viene variato di livello, mentre il secondo è messo ad un livello massimo. Il primo segnale ad un livello pari al MDS è ancora visibile, ma qualora cresca di 3÷4dB viene “catturato” dal secondo. In realtà è possibile notare che la cattura non comporta uno spostamento verso il target a livello inferiore di quello superiore.

Una analisi più attenta dimostra infatti che il target a livello inferiore si trova in distanza dell'ordine di una cella radar (0.125NM). Ciò è dimostrato in fig.5.2.2.4 che evidenzia il dislocamento in range dei due target corrispondenti alla fig.5.2.2.1. Analogo andamento si ottiene per i due target di fig.5.2.2.2. Quindi ben si comprende come il primo “sparisce” e ciò è dovuto al circuito antijitter di cui in tab.2.1. In conclusione basta che due target siano dislocati in celle in distanza contigue perchè il secondo sparisca, se la sua estensione azimutale parzialmente si sovrappone all'altra; infatti l'estensione in range del primo assicura la cancellazione e non la cattura del secondo.

Naturalmente, qualora i due livelli siano vicini tra loro, il dislocamento in range non avviene e quindi si ha presenza di un solo target in posizione intermedi; questo è da considerare un vero effetto di cattura, come dalla prima sezione di fig.5.2.2.5.

Naturalmente, qualora i livelli relativi vengano variati fino ad invertirsi la posizione angolare è controllata dal primo target (v. seconda sezione di fig.5.2.2.5).

La sperimentazione del 6.03.91 (v. fig.5.2.2.6) ha dato gli stessi risultati (v. scansioni 105÷117 di fig.5.2.2.6) di quelli di fig.5.2.2.5 (scansioni 253÷265). Nelle battute 65÷103 di fig.5.2.2.6 è evidenziata una zona critica, ossia è possibile vedere l'effetto di cattura e cancellazione del secondo target (v. prima sezione di fig.5.2.2.5. e fig.5.2.2.3) nella stessa sperimentazione.

La cattura parziale può essere imputata alla dislocazione azimutale di 4° e ai diversi livelli relativamente alla sperimentazione del 21.02.91 ed alla diversa distanza che può far comparire i due target nella stessa cella di risoluzione in range (v.fig.5.2.2.7).

I punti a e b (v.fig.5.2.2.6) sono giustificabili da un mal funzionamento del simulatore.

Al fine di potersi ricondurre alla definizione “standard” di risoluzione (quindi cattura) con due target allo stesso livello (quindi stessa cella in distanza), sono state condotte anche delle prove di variazione del livello comune dei due target sempre posizionati alla stessa separazione azimutale. I risultati delle prove in oggetto sono riportati in figg.5.2.2.8/11. Concludendo, è possibile asserire che, mentre al livello MDS i due target (con separazione di 3.5.) possono ritenersi separati, un incremento di 3÷4dB li porta ad unirsi ovviamente alla posizione angolare mediana.

Qualora i due target vengano avvicinati di $\sim 0.5^\circ$ (159.961° e 162.900°) la separazione al livello MDS non è già più evidenziabile. In figg.5.2.2.12/13 è messo in evidenza il risultato del posizionamento medio al variare del livello comune, mentre in fig.5.2.2.14 il risultato della “cattura” o meglio nella “cancellazione” da parte del più grande.

Peraltro, la distanza azimutale è maggiore di 2 volte la larghezza del fascio d’antenna ($\sim 4^\circ$), i due bersagli appaiono praticamente separati. In conclusione, il potere risolutivo azimutale può essere descritto dalla probabilità dei separazione di due target a livello variabile per diverse separazioni angolari ($\Delta\theta$) come qualitativamente indicato in fig.5.2.2.15.

5.2.3 Mascheramento (“Blanking”).

Il fenomeno di blanking o mascheramento in range (v.tab.2.1) è stato ampiamente discusso in [2]. Al fine di evidenziare gli effetti si è proceduto a realizzare prove di avvicinamento di due target sulla stessa radiale.

Come i due target si avvicinano ad una distanza dell’ordine del miglio si è manifestato il fenomeno in oggetto.

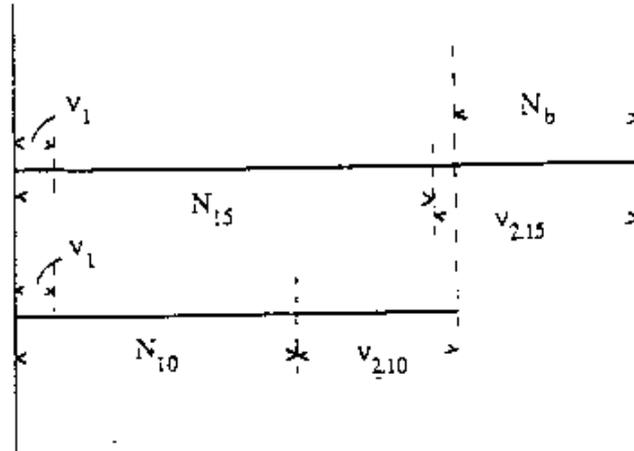
In particolare, in una prima prova (figg.5.2.3.1a, b; figg.5.2.3.2a, b; figg.5.2.3.3a, b) si sono posti due target con inizio approssimativamente sullo stesso azimuth. Il target che segue si è realizzato di lunghezza superiore al primo (il numero di impulsi del fascio erano corrispondentemente 15 e 10), ciò è stato fatto al fine di vedere il “displacement” azimutale; infatti se i due target fossero di pari dimensioni, il primo “maschererebbe” completamente il secondo.

La fig.5.2.3.1a mostra il lento avvicinarsi del secondo target sul primo, mentre la corrispondente fig.5.2.3.1b dà l’indicazione della evoluzione azimutale. In questo caso i due target sono ambedue a livello massimo. Nella regione di mascheramento si nota il salto azimutale (fig.5.2.3.1b) (corrispondente al mascheramento della prima zona del secondo target) ed anche spostamenti in range (fig.5.2.3.1a) dovuti ad una azione del mascheramento sui primi “range bin” del secondo target che può occupare in distanza diversi “range bin”. Conformemente è riportato sinteticamente l’effetto del blanking nel caso in oggetto e la valutazione analitica giustifica gli andamenti di cui infig.5.2.3.1b.

L’effetto di cui sopra è anche evidente in figg.5.2.3.2a, b e figg.5.2.3.3a, b, nelle prime delle quali il livello del primo target (più vicino al radar) è diminuito e nelle seconde sono diminuiti i livelli di tutti e due i target.

In realtà l’effetto del mascheramento sui primi range bin del secondo target può dar luogo ad una terza “detezione” o falso “plot” come messo in evidenza nelle figg.5.2.3.4a, b, dove i due target sono stati spostati azimutalmente di un grado ($\sim 161^\circ$ target fisso, $\sim 160^\circ$ target in avvicinamento). Tali posizioni angolari sono invece diversificate (di segno opposto) in figg.5.2.3.5a, b.

Tab. 5.2.3.1



Posizione azimutale relativa al target:

- $N = 15 \cong N_{15}$

$$\bar{N}_{15} = v_1 + \frac{N_{15} \cdot v_1 + v_{215}}{2} = \frac{N_{15} + v_{215}}{2} + \frac{v_1}{2}$$

- $N = 10 \cong N_{10}$

$$\bar{N}_{10} = v_1 + \frac{N_{10} \cdot v_1 + v_{210}}{2} = \frac{N_{10} + v_{210}}{2} + \frac{v_1}{2}$$

- $N = N_b$ (segnale risultato dal blanking)

$$\bar{N}_b = N_{10} + v_{210} + \frac{N_{15} + v_{215} - N_{10} - v_{210}}{2} = \frac{N_{10} + v_{210}}{2} + \frac{N_{15} + v_{215}}{2}$$

da cui

$$\bar{N}_b - \bar{N}_{15} = \frac{N_{10} + v_{210}}{2} \cdot \frac{v_1}{2} \rightarrow \Delta\theta_{b,15} = \frac{\theta_B}{N_{15}} \left\{ \frac{N_{10} + v_{210}}{2} - \frac{v_1}{2} \right\}$$

$$\bar{N}_b - \bar{N}_{10} = \frac{N_{15} + v_{215}}{2} \cdot \frac{v_1}{2} \rightarrow \Delta\theta_{b,10} = \frac{\theta_B}{N_{15}} \left\{ \frac{N_{15} + v_{215}}{2} - \frac{v_1}{2} \right\}$$

$$s = 7.54 \rightarrow 17.5 \text{ dB} \begin{cases} \Delta\theta_{b,15} \cong 2.0 \\ \Delta\theta_{b,10} \cong 2.5 \end{cases}$$

Lo "splitting" in più di due target è messo in evidenza anche in figg.5.2.3.6a, b dove si è operato con i livelli massimi ed il secondo target ha un numero di impulsi sul bersaglio di 30.

Le figg.5.2.3.7a, b mostrano il caso che il secondo target occupi ancora 30 impulsi nel fascio (per il primo target N=15), i livelli sono i massimi ma le posizioni azimutali sono centrate; pertanto avvicinandosi i due target nota uno splitting del target che segue in due target nelle posizioni azimutali laterali al primo target, come era da prevedersi dal meccanismo stesso del blanking.

I risultati di cui sopra sono stati confermati nella sperimentazione del 6.03.91 (v.figg.5.2.3.8a, b).

Un diverso modo di valutare il blanking è stato anche sperimentato in data 6.03.91 (v. figg.5.2.3.9a, ..., i). In questo caso i due target sono sempre di dimensioni azimutali pari a 15 e sono spazati in range di 0.5NM.

Il livello del target più vicino corrisponde circa all'MDS ed è più debole di circa 10db rispetto al secondo che è quindi posizionato ~2dB al di sotto del livello massimo. La separazione angolare va da -4° a +5°. Tale prova è servita a valutare la capacità di blanking di un segnale debole su un segnale forte per diverse dislocazioni azimutali.

Peraltro l'effetto del "blanking", considerando il fascio d'antenna di tipo gaussiano, può essere valutato direttamente dagli andamenti di fig.5.1.5 seguendo la metodologia riportata in tab.5.2.3.1 (v.fig.5.1.3). Ne risulta che il massimo spostamento angolare derivante dal blanking è riportato in fig.5.2.3.10; converrà notare che il tutto è riferito al livello del segnale "blankato" e la dinamica (lineare) in gioco non dovrebbe superare i 20dB.

Lo "splitting" in più di due target è messo in evidenza anche in figg.5.2.3.6a, b dove si è operato con i livelli massimi ed il secondo target ha un numero di impulsi sul bersaglio di 30.

Le figg.5.2.3.7a, b mostrano il caso che il secondo target occupi ancora 30 impulsi nel fascio (per il primo target N=15), i livelli sono i massimi ma le posizioni azimutali sono centrate; pertanto avvicinandosi i due target nota uno splitting del target che segue in due target nelle posizioni azimutali laterali al primo target, come era da prevedersi dal meccanismo stesso del blanking.

I risultati di cui sopra sono stati confermati nella sperimentazione del 6.03.91 (v.figg.5.2.3.8a, b)

Un diverso modo di valutare il blanking è stato anche sperimentato in data 6.03.91 (v. figg.5.2.3.9a, ..., i). In questo caso i due target sono sempre di dimensioni azimutali pari a 15 e sono spazati in range di 0.5NM.

Il livello del target più vicino corrisponde circa all'MDS ed è più debole di circa 10db rispetto al secondo che è quindi posizionato ~2dB al di sotto del livello massimo. La separazione angolare va da -4° a +5°. Tale prova è servita a valutare la capacità di blanking di un segnale debole su un segnale forte per diverse dislocazioni azimutali.

Peraltro l'effetto del "blanking", considerando il fascio d'antenna di tipo gaussiano, può essere valutato direttamente dagli andamenti di fig.5.1.5 seguendo la metodologia riportata in tab.5.2.3.1 (v. fig.5.1.3). Ne risulta che il massimo spostamento angolare derivante dal blanking è riportato in fig.5.2.3.10; converrà notare che il tutto è riferito al livello del segnale "blankato" e la dinamica (lineare) in gioco non dovrebbe superare i 20dB.

5.2.4 Conclusioni sulla simulazione.

La sperimentazione in questione ha consentito la caratterizzazione del Radar Marconi nel caso di più target contigui in distanza.

In particolare ha permesso:

- di quantificare la problematica inerentemente la quantizzazione in distanza
- di validare l'analisi teorica relativamente all'accuratezza in azimuth
- di caratterizzare la risoluzione in azimuth
- di dettagliare la problematica connessa alla cattura, alla cancellazione ed al mascheramento (di cui in [2]), osservando particolarità inerentemente a multisplitting.

5.3. Andamenti azimuth-range relativi al velivolo DC9 Itavia negli ultimi 600sec di volo e valutazioni relative.

Le figg.5.3.1a, b dettagliano gli andamenti range-tempo e azimuth-tempo radar Marconi relativamente al volo del DC9 Itavia la sera del 27.06.80 sino al primo "plot" senza secondario, ossia al momento dell'incidente.

La scala dei tempi consente la intera visualizzazione dei plot relativi al volo del velivolo caratterizzato dal codice A1136 nel settore 7.

In tab.5.3.1 sono riportati i vari dati a cavallo dell'incidente. Il tempo è espresso in cicli relativi ad uno zero arbitrario.

Si noti che negli ultimi ~200sec il velivolo si dispone in posizione quasi radiale (di coda): la diminuzione conseguente della sezione radar (v.fig.5.3.2) contemporanea ad un allontanamento (diminuzione del rapporto segnale-rumore) rendono ragione dell'aumentato valore della fluttuazione dell'errore azimuthale. La fluttuazione picco-picco dell'ordine del grado (v. espansione azimuthale di fig.5.3.3), corrispondente ad un valore rms di ~0.25°, negli ultimi duecento secondi (dal tempo 400 s di fig.5.3.1b) appare giustificabile dagli andamenti di fig.5.1.4 anche per l'effetto del "bias" ($\theta \neq \theta_c$) che la scintillazione del target [3] riconduce a fluttuazione.

Intorno a 160sec è possibile osservare uno spostamento di circa 4° della posizione azimuthale; in realtà questo effetto è dovuto alla cattura della posizione azimuthale (di cui in 5.2.2) dovuta alla presenza nello stesso range del velivolo identificato con il numero di codice del trasponder 0226. Tutto ciò è chiaramente visibile negli andamenti di figg.5.3.4a, b.

La ridotta sensibilità negli ultimi 200sec è ancora avvalorata dal comportamento del radar Selenia (estr.2) (v. figg.5.3.5a, b) dove è possibile notare una diminuzione rilevante del numero dei "plots" primari.

I "plots" azimuthali relativi agli ultimi 600sec. di volo sono riportati in scala espansa nelle figg.5.3.6a, b, c.

TAB.5.3.1
Radar Marconi Estrattore 3

| tempo plots | range | tipo azimuth | range qualità PR=0 | n.ordine dei | |
|----------------|----------|-----------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
| | | | | SSR+PR=2 A1136 | SSR+PR A1136 |
| 491.8004 | 122.8125 | 173.8333 | 15 | 0 | -17 |
| 519.6004 | 127.375 | 173.3167 | 15 | 0 | -17 |
| 530.8004 10 | | | 0 | 2 | 122 165.05 - |
| 536.4003 9 | | | 0 | 2 | 122.9875 165.3167- |

| | | | | | |
|---------------|----------|----------|----|---|---------------------|
| 542.0003 8 | | | 0 | 2 | 122.4375 165.75 - |
| 546.8003 7 | | | 0 | 2 | 124.125 165.75 - |
| 552.4003 6 | | | 0 | 2 | 124.875 165.4833 - |
| 558.0003 5 | | | 0 | 2 | 125.5625 166.0167 - |
| 563.6003 4 | | | 0 | 2 | 126.3125 165.9333 - |
| 569.2002 | | | 0 | 2 | 127 165.5833 -3 |
| 574.8002 | | | 0 | 2 | 127.75 165.9333 -2 |
| 580.2002 1 | | | 0 | 2 | 128.4375 165.8333 - |
| 585.8002 | | | 0 | 2 | 129.125 166.0167 0 |
| 591.4001 | 129.5 | 164.9667 | 15 | 0 | 1 |
| 597.0001 | 129.6875 | 166.0167 | 15 | 0 | 2.1 |
| 597.0001 | 129.875 | 167.5167 | 13 | 0 | 2.2 |
| 602.6001 | 130.3125 | 165.2333 | 14 | 0 | 3 |
| 607.6001 | 130.5 | 165.4833 | 15 | 0 | 4 |
| 612.8001 | 129.6875 | 166.45 | 15 | | 5 |
| 618.4001 | 130.5625 | 165.2333 | 15 | 0 | 6 |
| 624.0001 | 129.625 | 166.0167 | 15 | 0 | 7 |
| 629.6001 | 130.5625 | 164.7833 | 15 | 0 | 8.1 |
| 629.6001 | 129.9375 | 165.9333 | 14 | 0 | 8.2 |
| 635.2 | 130.5 | 164.2667 | 15 | 0 | 9.1 |
| 635.2 | 129.9375 | 166.3667 | 15 | 0 | 9.2 |
| 640.8 | 129.9375 | 166.2833 | 15 | 0 | 10 |
| 646.4 | 129.9375 | 166.2 | 15 | 0 | 11 |
| 652 | 130.5625 | 163.8167 | 13 | 0 | 12 |
| 1657.6 | 130.5 | 164.5167 | 13 | 0 | 13.1 |
| 657.6 | 129.875 | 165.75 | 13 | 0 | 13.2 |
| 668.7999 | 129.875 | 164.9667 | 15 | 0 | 15 |
| 674.3998 | 129.875 | 165.2333 | 13 | 0 | 16 |
| 679.9998 | 130.1875 | 165.1333 | 15 | 0 | 17 |
| 685.5998 | 129.875 | 164.8667 | 15 | 0 | 18 |
| 691.1998 | 130.5625 | 164.0833 | 15 | 0 | 19 |
| 697.7998 | 130.125 | 164.7 | 15 | 0 | 20 |
| 702.3998 | 130.1875 | 164.867 | 15 | 0 | 21 |
| 707.9997 | 130.125 | 164.6167 | 15 | 0 | 22 |
| 713.5997 | 130.1875 | 164.1667 | 15 | 0 | 23 |
| 719.1996 | 130.25 | 164.7 | 15 | 0 | 24 |
| 724.7996 | 130.25 | 164.8667 | 15 | 0 | 25 |
| 730.1996 | 130.5 | 164.2667 | 15 | 0 | 26 |
| 735.7996 | 130.3125 | 164.1667 | 14 | 0 | 27 |
| 741.3996 | 130.5 | 163.8167 | 15 | 0 | 28 |
| 746.9996 | 130.8125 | 164.35 | 15 | 0 | 29 |
| 752.5996 | 130.5 | 163.7333 | 15 | 0 | 30 |

In particolare in fig.5.3.6c sono riportati anche i “plots” (ovviamente solo primari) dopo l’incidente ed in fig.5.3.7 i corrispondenti dati in range (che poi corrispondono ai dati di fig.4.1).

In fig.5.3.8 sono riportati (con le stesse scale di fig.5.3.6c) i “plots” relativi al radar Selenia (estr.2).

Peraltro converrà porre particolare attenzione al plot SSR alla dodicesima battuta prima del momento dell’incidente (v.fig.5.3.6c), infatti, in accordo a quanto esaminato in [5], detto plot potrebbe far pensare ad una traccia parallela al DC9 I-Tigi.

E’ facile peraltro ritenere che un allineamento primario-secondario effettuato da alti S/N, si traduce in uno scollamento degli stessi a bassi S/N dovuto in primo luogo all’effetto della polarizzazione di cui in fig.5.1.4 in conseguenza del processo di estrazione dei dati radar.

Pertanto è stata condotta una analisi su più tracce al fine di quantificare lo scostamento azimutale medio e la relativa statistica fra plots primari e secondari (PR.SSR) e soli secondari (SSR).

Per la verifica sperimentale del fenomeno si sono isolate cinque tracce radar oltre alla 1136 considerate negli intervalli fra 110 e 130NM.

Gli andamenti azimutali di queste tracce sono riportate nelle figg.5.3.9-5.3.13, mentre l’analogo andamento per la nostra traccia è riportato in fig.5.3.14.

Si è ritenuto quindi di dover effettuare una regressione lineare sulle sole misure tipo SSR.PR. In realtà per la traccia 5 (fig.5.3.13) si è ritenuto di effettuare due regressioni lineari, la prima fino al tempo 1575 e la seconda da questo istante in poi.

Si noti come nella traccia 3 non compaiono le misure SSR. Ciò è presumibilmente dovuto al fatto che tale traccia è relativa al Boeing 707, che ha una radar cross-section maggiore di quella di un DC9, cioè del tipo di aereo che probabilmente ha generato le altre tracce. Nella tab.5.3.2 viene mostrato lo shift medio D_{az} , in gradi, tra le misure dei due tipi.

In base agli scostamenti sono stati ricavati due istogrammi totali relativi, ognuno, ad un solo tipo di misura. Tali istogrammi sono riportati in fig.5.3.15. Per essi è stata verificata la gaussianità in base al test del χ^2 .

I parametri relativi ai due istogrammi sono:

| | misure SSR.PR | misure SSR |
|------------------------------|---------------|------------|
| Valore medio m | - 0.022 | 0.280 |
| Deviazione standard σ | 0.193 | 0.210 |

Tab.5.3.2

| Traccia | Δ_{az} [gradi] |
|---------|-----------------------|
| A1235 | 0.35 |
| A0225 | 0.24 |
| A0226 | - |
| A5340 | 0.43 |
| A0227 | 0.14 |
| A0227 | 0.22 |

L’unità di misura adottata è il grado sessagesimale. Si noti che $\sigma_{SSR, PR} < \sigma_{SSR}$, come era da attendersi. Lo shift medio totale tra i due tipi di misure risulta quindi pari a

$$(5.1.3) \quad \Delta_{az\ tot} = m_{SSR} - m_{SSR.PR} = 0.302$$

Valutazioni più accurate sono state eseguite al fine di tener conto della variazione dell'errore angolare con la distanza dovuto ad una variazione di S/N, peraltro nella regione in esame (110÷130NM) non si sono ottenuti risultati notevolmente discosti da quelli di cui sopra.

Esaminando ora l'andamento di fig.5.3.14 ne viene una retta di regressione caratterizzata da una deviazione standard di 0,25 compatibile con i dati delle cinque tracce sopra esaminate. Lo scostamento di detta retta rispetto alla posizione del plot SSR appare anche esso congruente con i dati delle tracce di cui sopra (v. anche figg.5.3.9, ...12). Peraltro è possibile notare che in fig.5.3.14 si ha uno scostamento della posizione angolare tra plot PR. SSR ed SSR adiacenti temporalmente di più di un grado. Invero spostamento dell'ordine di $0.6^{\circ} \div 0.8^{\circ}$ sono visibili osservando gli andamenti delle tracce A1235, A0225, A5340. Il maggiore scostamento di fig.5.3.14 può essere giustificato da componenti a bassa frequenza ("lenti") nella variabilità del rapporto S/N dovuto al diagramma polare di backscattering dell'aereo, perchè l'aereo aveva una traiettoria all'incirca radiale, relativamente alle altre tracce osservate. Peraltro una diminuzione di S/N, che porti al limite di visibilità del radar, comporta (v.fig.5.1.4) un decremento medio dell'angolo osservato di circa 0.6° , che addizionati ai 0.3° , tra PR.SSR e SSR di cui nella (5.3.1), può giustificare l'andamento di fig.5.3.14.

Converrà anche osservare che scostamenti fra PR.SSR dell'ordine del grado sono anche osservabili sulla stessa traccia (v.fig.5.3.6b al tempo ~380s).

Peraltro gli scostamenti angolari di cui sopra hanno fatto ritenere necessaria una indagine di "regolarità" [5] tramite analisi spettrale. Per le motivazioni dettate dai particolari assetti degli aerei, le conclusioni statistiche appaiono di scarsa significatività; infatti alcuni aerei di assetto sufficientemente vicino a quello del DC9 I-Tigi quali, a titolo di esempio, il 0225 e il 5350, ne hanno una distribuzione spettrale sufficientemente analoga (confronta fig.2.6.11 con figg. di p.A.2.34 e A.2.40 di [5]).

In conclusione, da quanto sopra si desume che il DC9 Itavia percorreva negli ultimi 600sec. la rotta Ambra 13, volo che appare regolare come anche avvalorato dalla conversazione radio terra-bordo-terra (v.pag.253 e seg. di [1] ed è possibile asserire che non esiste evidenza di un altro aereo nella fase terminale del volo".

Come ben si vede la conclusione, regolarità del volo e inesistenza di evidenza di altro aereo, si riferisce agli ultimi 600 secondi del volo e quindi alla fase terminale di esso. I periti radaristi Misiti non prendono in considerazione, neanche in questi fondamentali capitoli, le osservazioni dei consulenti di parte. Costoro parlavano nel documento già citato del 13 luglio 93, di rilevamenti primari paralleli nell'intervallo temporale 18h39'35"-18h41'44", cioè in una fase mediana del volo, ben lontana di diversi minuti primi da quella terminale. E in questa fase essi collocavano quei rilevamenti primari, che non potevano essere attribuiti al blanking, bensì dovevano essere ascritti alla categoria degli UFO. Donde avanzavano l'ipotesi che il DC9 fosse affiancato in quell'intervallo temporale da altro aereo che si muoveva in una rotta molto prossima a quella del DC9 stesso.

A questo punto però i periti radaristi Misiti si pongono il problema dell'intero scenario radar Marconi. Con questo titolo infatti il successivo capitolo, il 6, il cui testo anch'esso viene riportato integralmente per le ragioni dette.

"Durante il volo del DC9 I-Tigi è possibile osservare vari addensamenti di primari con distribuzioni nettamente non uniformi nello spazio e nel tempo. Si è ritenuto pertanto di dover mettere a punto un programma di valutazione dei vari primari, il cui

algoritmo, riportato nel diagramma di flusso di fig.6.1, si basa sulla struttura stessa del radar Marconi e su alcune evidenze.

I “file” di ingresso sono:

PRONLY contenente tutti i plots primari (PR) dalle 18^h19’ alle 19^h43’ (n.5186)

COMBI contenente tutti i plots primari, secondari e combinanti (PR, SSR, PR+SSR) (n.22995)

- Data la complicazione dello scenario nelle immediate vicinanze di Fiumicino e la relativa non eccessiva significatività, vengono eliminati tutti i plots a distanza inferiore a 1NM; tali plots sono risultati in numero di 49.

- Si procede ad una correlazione fra ogni plot PRONLY e quei COMBI a distanza temporale ≤ 7 s. (il tempo corrispondente ad una scansione è di ~ 5.6 s., v.tab.2.1), valutando la distanza in range (ΔR) ed azimuth ($\Delta \theta$).

-Viene costruito un file (SPLIT-2) di plots attribuibili al Blanking (v.tab.2.1), infatti l’impulso radar, come si ricorderà, viene soppresso in “range” per circa 1NM onde evitare che si veda un oggetto “allungato” in distanza, peraltro può capitare che in regioni vicine l’impulso può essere talmente lungo da superare questa zona e quindi si crea un falso eco a distanza di circa 1NM. Tale situazione può capitare anche quando avviene interazione fra due tracce, che provoca allungamento artificiale dell’impulso. Si è pertanto realizzato il “test di splitting” riportato in fig.6.1.

Il file che ne viene è riportato in tab.G.1 di All.G.

Vengono poi costruiti nell’ordine:

-Il file “NCORR2” di plots non correlati entro 7sec. con altri plots PR, PR + SSR, SSR (v.COMBI). In questo file peraltro sono contenuti dei plots che sono correlabili con tracce a bassa probabilità di rivelazione (a motivo dell’algoritmo scelto che lavora sui plots correlabili a 7sec.) (v.tab.G.2).

-Il file “INTERF” contenente tutti i primari relativi a

-interferenza presente fra 84° e 86°

-interferenza presente fra 59.5° e 60.5° (18^h38’23”)

-sole che è presente alla angolazione (v.par.7)

$$\alpha(t) = 296.7817^\circ + 0.002826 \cdot t \text{ (sec)} \pm 3 \sigma,$$

dove t è riferito alle 18^h00’

$$\sigma = 0.5^\circ,$$

e tramonta alle 18^h43’49”.

- Il file “PRSSR” contenente tutti i plots primari correlabili con risposte dal radar secondario (SSR), (v.tab.G.3) ovviamente si tratta di plots primari che l’estrattore radar non è stato in grado di associare ai corrispondenti plots secondari. L’algoritmo scelto è il seguente:

$$|\Delta T| \leq 1 \text{ s}, \quad |\Delta R| \leq 0.5 \text{ NM}, \quad |\Delta \theta| \leq 3^\circ$$

- Il file “PRSL” contenente i plots primari che probabilmente sono dovuti a lobi laterali relativi ad una certa traccia (v.tab.G.4). L’algoritmo scelto è il seguente:

$$|\Delta T| \leq 3 \text{ s}, \quad |\Delta R| < 0.5, \quad 3^\circ \leq \Delta \theta \leq 60^\circ$$

-Il file “PRSUTRK” (plots su tracce) contenente i plots primari correlabili con altri plots PR, PR + SSR o SSR che probabilmente appartengono o ad una traccia già identificata dal corrispondente SSR o una traccia cui non è associabile un secondario, cioè è costituita da soli primari. Tali tracce vengono identificate con il nome generico di UFO e riportate in tab. G.5 (per tracce) specificando l’identificatore (ove presente). In realtà, nel caso di correlazione di un primario a diversi plots di diverse tracce, si è adottato il criterio di associazione al plot più prossimo. In ogni caso la distanza di associazione si è

ritenuto di dover assumere la seguente: $x=\sqrt{(1.5)^2+R^2}\cdot 9\cdot 10^{-4}$ ritenendo la velocità massima degli aerei in esame di circa 900 nodi e considerando anche l'effetto delle fluttuazioni azimutali.

- Il file degli "APPESI2" costituito da tutti i plots primari che non hanno obbedito alle leggi di cui sopra e quindi sono da ritenere anche essi plots non correlabili (v.tab.G.6).

In realtà, come dettagliato in All.I, il programma di cui sopra gira più volte, in modo da attribuire definitivamente i plots PR alle singole tracce.

A questo punto sono stati esaminati i vari plots disponibili dal radar Marconi. In realtà, al fine di semplificare lo studio, si è preferito esaminare il traffico temporalmente correlabile con il DC9 I-Tigi.

In fig.6.2 sono riportate le varie traiettorie come comparse nel nord Italia. La traccia del DC9 I-Tigi è identificata dall'identificatore 1136 ed appare per la prima volta con soli primari; parallelamente al DC9 I-Tigi vola a quota superiore l'aereo identificato come 1133 (IH779) che poi, come messo in evidenza in figg.6.3 a e b , atterra a Ciampino alle 18^h47'.

Un altro aereo che in qualche modo interessa la nostra traiettoria è quello identificato con 4200 (v.fig.6.2) che poi assumendo 5400 (v.fig.6.3a) sembra atterrare a Grosseto. Di questo aereo si discuterà a proposito dei radar militari.

I vari plots primari, che in qualche modo potrebbero interessare il volo in esame, sono stati identificati come NCORR2 (I) o APPESI2 (II) o come PRSL (SL) oppure sono direttamente correlabili (C) con il volo che è segnato vicino.

Nella seconda sezione del volo del DC9 I-Tigi (v.fig.6.3a) vi è dapprima un incrocio con un altro aereo (1132) che atterra a Fiumicino alle 18^h48'.

Peraltro converrà riferirsi alla fig.6.3b dove è espansa la zona di Fiumicino al fine di osservarla con maggior dettaglio. In particolare sono stati identificati due voli, il primo dei quali è stato chiamato con la sigla UFO-FJ (v.All.G, tab.G.7) e proveniente dal Nord (costa tirrenica) sembra atterrare a Pratica di Mare.

Questo volo sembra corrispondere a quello del FJ 56 di cui nelle registrazioni TBT (Roma Ciampino- CRAV) (Canale 5 dalle 18^h50' alle 18^h51' e Canale 9 dalle 18^h37' alle 18^h54').

Un secondo aereo appare a Nord-Est di Roma (v.tab.G.8) ed è individuato con la sigla UFO-L, ma in realtà sembra un oggetto che si muove a bassissima velocità.

Molti di quelli che sembrano oggetti volanti sono da ritenere (in accordo all'algoritmo proposto) dei lobi laterali, come indicato ancora in fig.6.3b.

Un particolare dettaglio spazio-tempo è riportato in fig.6.3c dove compaiono tre plots (indicati con S) parallelamente al nostro aereo, che hanno fatto pensare in [5] ad un volo parallelo a quello del DC9 I-Tigi, in realtà, in conformità al test di splitting, sembra trattarsi di falsi plots dovuti al blanking (v. tab.G.1 di All.G).

Peraltro conviene osservare che lo stesso "splitting" si è presentato per la traccia 1141 dopo circa 47' (v.tab.G.1) più o meno nella stessa posizione (v. ancora fig.6.3c). La particolare situazione geografica potrebbe rendere ragioni di un effetto di allungamento. Tuttavia una valutazione quantitativa teorica del fenomeno è riportata nell'All.M, anche se ragioni pratiche dovute a non linearità (che sembra siano state superate negli anni 82÷83) fanno ritenere che il fenomeno in oggetto fosse più rilevante.

Una più attenta analisi dei plots split 2 (v. tab.G.1) come d'altra parte osservato in [7], ha evidenziato che il fenomeno dello "splitting" si è presentato più volte in concomitanza della interazione di più tracce (v.tab.6.2). Questo fatto appare naturale, pur ricordando i fenomeni connessi alla interazione dei segnali, poichè tutto avviene con

un equivalente allungamento artificiale dell'impulso radar, come già detto, e rende ragione che il predetto fenomeno abbia avuto luogo anche a distanze notevoli dal radar.

In tab.6.1 sono elencati peraltro tutti i plots che in qualche modo interessano le tracce del DC9 I-Tigi. Nella stessa tabella sono indicate le possibili associazioni con altre tracce (A1032, A4200, A1132) e con la traccia dello stesso DC9 I-Tigi.

Converrà notare che la traccia del DC9 I-Tigi ha inizio con un plot SSR (18.24.27) identificato dall'estrattore radar, che peraltro non è stato in grado di fornire lo "squock"; dopo una battuta radar si ha l'effettivo inizio (SSR) della traccia con identificazione completa.

Alle 18.25.11 si ha una errata identificazione dello SSR (la quota e coordinate corrispondono) forse a motivo di altra traccia in vicinanza.

I soli due plots primari non immediatamente associabili a tracce appaiono alle 18.34.29 (probabilmente dovuto a mal funzionamento di sistema in quanto presente nella zona di intersezione di più tracce) e 18.41.05.

Per la sezione finale del volo (v.fig.6.4) lo scenario è molto più semplice e ben noto ed appaiono dei plots fuori della traccia del DC9 I-Tigi che verranno analizzati nelle sezioni che seguono.

In conclusione, dallo scenario fornito dal Radar Marconi, si evince che:

- i vari tracciati identificati o meno non rendono ragione di uno scenario radar particolarmente complesso;
- non esiste evidenza di uno o più aerei che si immettano sulla traccia del DC9 I-Tigi, al fine di averne la copertura radar."

Appare con chiarezza che il CP riprende l'intera situazione e lì ove compaiono plots parallelamente al DC9, che possono far pensare a voli paralleli, afferma che, in conformità al test di splitting, sembra trattarsi di falsi plots dovuti al blanking. A parte la formulazione, che non appare netta e sicura, bensì fortemente incerta e dubitativa, CP usa le stesse argomentazioni, già sottoposte a dura critica dai consulenti del luglio 93. Da quelle argomentazioni infatti le conclusioni da cui erano partite le osservazioni dei detti consulenti.

Quindi un altro capitolo di rilievo, il 7, dedicato alla "Distribuzione spaziale e temporale dei falsi plots (primari non correlati) del radar Marconi rilevati alla sera dell'incidente. Probabilità di falso allarme".

Questo il testo:

"Allo scopo di condurre l'analisi in oggetto si è ritenuto opportuno di dover innanzi esaminare quanto riportato in [2] ed in particolare

-l'appendice A di cui a p.195 [2] (da relazione Galati, Giaccari, Pardini) All.D

-l'appendice 6.2-4 p.275 di [2] ed in particolare App.A1 dell'All.14 (da Rel. prof. Dalle Mese) All.E

-l'appendice 4 al cap.5 della relazione dei consulenti tecnici di parte imputata All.F.

In ogni caso la distribuzione spaziale e temporale è stata condotta sulla base del test c^2 (v. [4]) e utilizzando i dati disponibili relativi a distanze superiori a 80NM (zone non MTI) ed eliminando i settori corrispondenti a zone di evidenti forti interferenze (80° - 88° , 271° - 273°).

-In All. D dopo aver richiamato il test stesso vengono esaminati i soli plots spuri cioè: (a) solo primari e (b) non attribuibili ad aeromobili noti. Il test in questione viene applicato su tutti i 360° ed in un intervallo di tempo di mezz'ora e si giunge alla

conclusione che l'ipotesi che i plots in questione "costituiscono un fenomeno uniforme nello spazio e/o nel tempo di osservazione deve essere respinta con il livello - usuale - di 0,05 per la significatività del test".

- In All.E il test di cui sopra è stato applicato in una zona ristretta angolare, solo relativamente alla "parte di orizzonte radar in corrispondenza del mare" e si giunge alla conclusione che i falsi plots sono distribuiti, limitatamente alla zona ed al periodo in esame, omogeneamente nello spazio e nel tempo.

In realtà è bene osservare che il test in questione in questo caso non sembra sia stato applicato correttamente, in quanto conviene ricordare da ([4], p.420):

"When the χ^2 test is applied in practice and all the expected frequencies np_i are ≥ 10 , the limiting χ^2 distribution tabulated in Table 3 gives as a rule the value χ_p^2 corresponding to a given $P = p/100$ with an approximation sufficient for ordinary purposes. If some of the np_i are < 10 , it is usually advisable to pool the smaller groups, so that every group contains at least 10 expected observations, before the test is applied. When the observations are so few that this cannot be done, the χ^2 tables should not be used, but some information may still be drawn from the values of $E(\chi^2)$ and $D(\chi^2)$ calculated according to (30.1.1)."

- In All.F i consulenti di parte elaborano per proprio conto, sulla base delle registrazioni radar, una situazione di falsi echi e usano due criteri diversi e ne ricavano due situazioni. In ogni caso si giunge al risultato che "tutti i test sono respinti, ossia in tutti i casi la distribuzione dei falsi echi non risulta uniforme".

A questo punto si è ritenuto di dover riesaminare la materia in oggetto con opportuni accorgimenti:

-sono stati presi in esame tutti i plots primari disponibili dalle 18^h20' alle 19^h40'

-avendo osservato dei residui di clutter di terra, in accordo a quanto proposto negli All.D ed E si è proceduto ad una analisi limitata ai settori 7, 8, 9, 10 e 11 corrispondenti a regioni di mare

-si è proceduto ad una classificazione di detti plots per distanze, in "range" di 10NM

-si è considerata, in accordo alle precedenti analisi, solo distanze superiori a 80NM (si può notare che dalla lista dei plots del Marconi la distanza corrispondente alla zona MTI dovrebbe essere inferiore a ~87NM, peraltro l'uso di questo dato non cambia in modo significativo quanto segue).

-si è considerata la distanza massima di 140NM.

I plots di cui sopra sono riportati in tab.7.1.

Sulla base degli algoritmi proposti nel cap.6, a fianco di ogni plot viene indicata l'eventuale correlazione con altri plots. Per l'analisi che segue pertanto vengono considerati come falsi plots solo quelli NCORR2 e APPESI2

Pertanto in tab. 7.2 sono raccolti i plots di cui sopra, avendo operato accorpamenti per range di 10NM e per 10'.

Sui dati di tab.7.2 si è proceduto alla applicazione del test χ^2 .

E' sembrato opportuno dapprima esaminare l'uniformità nel tempo, considerando l'ultima colonna (\square) di tab.6.3.

In tab.7.3 è mostrato il risultato e dal confronto con la tab.7.4 dei percentili del χ^2 , l'ipotesi di uniformità temporale viene accettata con un livello di significatività dello 0,05.

L'uniformità spaziale è stata esaminata valutando il test nei settori (v.tab.7.5 corrispondente alla elaborazione dei dati della riga $\sum_{80/s}$ di tab.7.2) in tutti gli 80'.

L'ipotesi di uniformità viene accettata.

Peraltro il test in questione, dato il rilevante numero dei campioni, può essere applicato, con qualche perplessità, anche dimezzando i settori stessi (riga $\sum_{80/30}$ di tab.7.2). Il risultato è riportato in tab.7.6 e l'ipotesi di uniformità appare respinta.

Applicando invece il test in uno spazio più ristretto intorno alla regione dell'incidente ($R \leq 110\text{NM}$) l'ipotesi di uniformità viene accettata (v.tab.7.7).

In conclusione si ritiene che possa essere considerata la regione dell'incidente di uniformità spaziale e temporale per un livello di significatività del test 0,05.

Essendo 112 i falsi plots (da tab.7.2) in 80° , tenendo presente il numero di giri di antenna al minuto (11 da tab.2.1), il numero di falsi plots nella regione di stazionarietà è pari a 0.13 falsi plot/giro ($112/(80 \cdot 11)$). Considerando peraltro che la regione sotto esame è costituita da 112.5° (corrispondenti a 5 settori) e 60NM in distanza (da 80 a 140NM) e che la risoluzione in azimuth è pari a 2.1° ed in distanza $\sim 0,27\text{NM}$ (495m da tab.2.1), il numero di celle nella regione sotto osservazione corrisponde a 12.500 celle non correlate. Pertanto la probabilità che una cella di risoluzione sia un falso allarme è pari a $0.13/12.500 \approx 10^{-5}$; in altre parole la probabilità di falso allarme ha il valore $P_{fa} = 10^{-5}$.

D'interesse, a conclusione, la stessa conclusione del capitolo che assegna un valore bassissimo alla probabilità di falso allarme, valore di cui si dovrà tener conto in ogni ulteriore deduzione.

Il capitolo 8 è dedicato alla valutazione della posizione spaziale del DC9 I-Tigi nel momento dell'incidente.

Questo il testo:

“8.1 Interpolazione dei dati radar prima dell'incidente

Sulla base degli andamenti di figg.5.3.1a/b, 5.3.3, 5.3.4a, 5.3.5a/b, 5.3.6a/b/c, si è proceduto ad una stima (regressione lineare) negli ultimi ~ 180 secondi di volo. La scelta di un tale intervallo di tempo è stata condizionata dal fatto di aver ritenuto che gli andamenti in questione (azimuth-tempo, distanza-tempo) possono essere ben approssimati con leggi lineari.

Nel fare tale tipo di regressione ci si è riferiti solo ai plots primari (tipo di plot 2).

Nel caso del Radar Selenia/4 i dati oggetto di analisi sono riportati in tab.8.1.1 e le leggi che ne risultano sono (per azimuth e range rispettivamente):

$$(8.1.1) \begin{cases} \varphi_s = 166.138 + 4.063 \cdot 10^{-3} t_s & \rightarrow \sigma \sim 0.1^\circ \\ R_s = 105.75 + 0.129 t_s & \rightarrow \sigma \text{ trascurabile} \end{cases}$$

dove t_s è il tempo espresso in secondi riferito a $18^h56'43''$ ($t_s=0$); il tempo $t_s=182.8\text{sec}$ corrisponde all'istante relativo alla ricezione dell'ultimo plot con secondario ($18^h59'45''$).

Per quanto concerne il radar Marconi/3 i dati sono riportati in tabella 8.1.2. Le leggi corrispondenti alla (7.1.1) sono:

$$(8.1.2) \begin{cases} \varphi_M = 165.149 + 3.57 \cdot 10^{-3} t_s & \sigma \sim 0.25^\circ \\ R_M = 105.54 + 0.129 t_s & \sigma \text{ trascurabile} \end{cases}$$

dove il tempo è lo stesso di quello del radar Selenia (converrà notare che in tab.8.1.2 il riferimento temporale è differente: a 400sec corrisponde -3sec nel riferimento temporale

Selenia di tab.8.1.1; all'ultimo istante 18^h59'45" corrisponde 182.8 sec nel rif. di tabella 8.1.1 e quindi nella eq. (8.1.2) e 585.8002 nel rif. di tab.8.1.2.

Pertanto le coordinate polari nell'istante dell'incidente sono da ritenere le seguenti:

$$(8.1.3) \quad \text{Radar Selenia} \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{SI} = 166.88^\circ \\ R_{SI} = 129.33 \text{ NM} \end{array} \right.$$

$$(8.1.4) \quad \text{Radar Marconi} \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{MI} = 165.80^\circ \\ R_{MI} = 129.12 \text{ NM} \end{array} \right.$$

Tab. 8.1.1

DC-9 I-Tigi - Setenia/4

| Tempo | ora e minuti | secondi | range | azimuth | qualita' | tipo di plot |
|-------|--------------|---------|----------|----------|----------|--------------|
| 0 | 18.56 | 43 | 105.75 | 166.0167 | 0 | 2 |
| 5.8 | 18.56 | 48 | 106.5 | 166.1 | 0 | 2 |
| 11.8 | 18.56 | 54 | 107.25 | 166.2 | 0 | 2 |
| 17.6 | 18.57 | 01 | 108 | 166.2 | 0 | 2 |
| 23.6 | 18.57 | 06 | 108.75 | 166.2833 | 0 | 2 |
| 29.6 | 18.57 | 12 | 109.5 | 165.75 | 0 | 1 |
| 35.4 | 18.57 | 19 | 110.25 | 166.45 | 0 | 1 |
| 41.4 | 18.57 | 24 | 111.0625 | 166.3667 | 0 | 2 |
| 47.4 | 18.57 | 30 | 111.8125 | 166.3667 | 0 | 1 |
| 53.2 | 18.57 | 35 | 112.5625 | 166.1 | 0 | 1 |
| 59.2 | 18.57 | 42 | 113.3125 | 166.2833 | 0 | 1 |
| 65.2 | 18.57 | 48 | 114.0625 | 166.6334 | 0 | 2 |
| 71 | 18.57 | 53 | 114.8125 | 166.0167 | 0 | 1 |
| 77 | 18.57 | 59 | 115.5625 | 166.2 | 0 | 1 |
| 83 | 18.58 | 6 | 116.375 | 166.2833 | 0 | 1 |
| 88.8 | 18.58 | 11 | 117.125 | 166.45 | 0 | 2 |
| 94.8 | 18.58 | 17 | 117.875 | 166.6334 | 0 | 1 |
| 100.8 | 18.58 | 24 | 118.625 | 166.9 | 0 | 1 |
| 106.6 | 18.58 | 29 | 119.375 | 166.8 | 0 | 1 |
| 112.6 | 18.58 | 35 | 120.125 | 165.8333 | 0 | 1 |
| 118.4 | 18.58 | 40 | 120.9375 | 166.6334 | 0 | 1 |
| 124.4 | 18.58 | 47 | 121.6875 | 166.55 | 0 | 1 |
| 130.2 | 18.58 | 53 | 122.4375 | 166.55 | 0 | 1 |
| 136.2 | 18.58 | 58 | 123.1875 | 166.55 | 0 | 1 |
| 141.4 | 18.59 | 4 | 123.9375 | 166.7167 | 0 | 1 |
| 147.2 | 18.59 | 10 | 124.75 | 166.6334 | 0 | 2 |
| 153.2 | 18.59 | 16 | 125.5 | 166.6334 | 0 | 2 |
| 159.2 | 18.59 | 22 | 126.25 | 166.8 | 0 | 2 |
| 165 | 18.59 | 27 | 127 | 166.6334 | 0 | 1 |
| 171 | 18.59 | 34 | 127.75 | 166.9 | 0 | 2 |
| 177 | 18.59 | 40 | 128.5 | 166.9 | 0 | 2 |
| 182.8 | 18.59 | 45 | 129.25 | 166.7167 | 0 | 1 |

Tab. 8.1.2

DC-9 I-Tigi (A1136) - Marconi/3

| x | tempo secondi | qualita' plot | tipo | range nm | azimut gradi |
|-------|------------------|------------------|------|-------------|-----------------|
| -0.8 | 402.2003 | 0 | 1 | 105.5625 | 165.1333 |
| | 407.8003 | 0 | 1 | 106.25 | 164.9667 |
| | 413.4003 | 0 | 2 | 106.9375 | 165.2333 |
| | 419.0003 | 0 | 2 | 107.6875 | 165.3167 |
| | 424.6003 | 0 | 2 | 108.375 | 164.9667 |
| | 430.2003 | 0 | 2 | 109.0625 | 165.5833 |
| | 435.8003 | 0 | 2 | 109.8125 | 165.4 |
| | 441.4003 | 0 | 2 | 110.5 | 165.5833 |
| | 447.0003 | 0 | 2 | 111.25 | 165.2333 |
| | 452.6003 | 0 | 2 | 111.9375 | 164.9667 |
| | 458.2003 | 0 | 2 | 112.6875 | 165.05 |
| | 463.8003 | 0 | 2 | 113.375 | 165.5833 |
| | 469.4004 | 0 | 2 | 114.125 | 165.4 |
| | 475.0004 | 0 | 2 | 114.8125 | 165.3167 |
| | 480.6004 | 0 | 2 | 115.5625 | 165.5833 |
| | 486.2004 | 0 | 2 | 116.25 | 165.4833 |
| | 491.8004 | 0 | 2 | 116.9375 | 165.3167 |
| | 497.4004 | 0 | 2 | 117.6875 | 165.4833 |
| | 503.0004 | 0 | 2 | 118.375 | 165.6667 |
| | 508.6004 | 0 | 2 | 119.125 | 166.0167 |
| | 514.2004 | 0 | 2 | 119.8125 | 165.4 |
| | 519.6004 | 0 | 2 | 120.5625 | 165.05 |
| | 525.2004 | 0 | 1 | 121.25 | 166.1 |
| | 530.8004 | 0 | 2 | 122 | 165.05 |
| | 536.4003 | 0 | 2 | 122.6875 | 165.3167 |
| | 542.0003 | 0 | 2 | 123.4375 | 165.75 |
| | 546.8003 | 0 | 2 | 124.125 | 165.75 |
| | 552.4003 | 0 | 2 | 124.875 | 165.4833 |
| | 558.0003 | 0 | 2 | 125.5625 | 166.0167 |
| | 563.6003 | 0 | 2 | 126.3125 | 165.9333 |
| | 569.2002 | 0 | 2 | 127 | 165.5833 |
| | 574.8002 | 0 | 2 | 127.75 | 165.9333 |
| | 580.2002 | 0 | 2 | 128.4375 | 165.8333 |
| 182.8 | 585.8002 | 0 | 2 | 129.125 | 166.0167 |

$x = 403 + t_s$

tipo:
pr=0
ssr=1
ssr+pr=2

8.2 Valutazione del posizionamento spaziale del punto dell'incidente riferito all'antenna radar.

Nelle pagine che seguono è riportata una valutazione preliminare delle coordinate geografiche, ritenendo i radar Marconi e Selenia orientati verso il Nord geografico.

L'applicazione della geometria piana conduce ad un errore di stima del punto in distanza di $\sim +220\text{m}$, errore che sembra senza meno trascurabile. Uno studio più approfondito è stato effettuato da parte del prof. Ferrara (Associato di Topografia – Dip. Idraulica, Trasporti e Strade – Univ. “La Sapienza” – Roma) (v.All.H).

Per il radar Marconi le coordinate cartesiane corrispondenti alle polari (8.1.4) sono:

$$(8.2.1) \quad \begin{cases} R_{MI} \cos(\varphi_{MI}-90) = 31.675\text{NM} \rightarrow 41'21'' \text{ sul parallelo } 40^\circ \\ R_{MISen}(\varphi_{MI}-90) = 125.1796 \text{ NM} \rightarrow 2^\circ 5' 11'' \end{cases}$$

Riferendosi alle coordinate del posizionamento dell'antenna Marconi (v.tab.2.1) si ha per il punto dell'incidente:

$$(8.2.2) \quad \begin{cases} 41^\circ 47' 51'' - 2^\circ 5' 11'' = 39^\circ 42' 40'' \text{N} \\ 12^\circ 13' 11'' + 41' 21'' = 12^\circ 54' 32'' \text{E} \end{cases}$$

Procedendo analogamente per il radar Selenia si ha:

$$(8.2.3) \quad \begin{cases} R_{SI} \cos(\varphi_{SI}-90) = 29.357\text{NM} \rightarrow 38' 19'' \\ R_{SISen}(\varphi_{SI}-90) = 125.954 \text{ NM} \rightarrow 2^\circ 5' 57'' \end{cases}$$

da cui:

$$(8.2.4) \quad \begin{cases} 41^\circ 48' 23'' - 2^\circ 5' 57'' = 39^\circ 42' 26'' \text{N} \\ 12^\circ 14' 58'' + 38' 19'' = 12^\circ 53' 17'' \text{E} \end{cases}$$

8.3 Orientamento dell'antenna del radar di Fiumicino e correzioni conseguenti.

In fig.8.1 sono riportati gli andamenti relativi al radar Marconi (punti interpolati) ed analoghi andamenti per il Radar Marsala.

Si rileva uno scostamento di circa 4NM verso Ovest del radar Marconi in relazione al radar di Marsala: tale scostamento è stato osservato su molte altre tracce. E' stato quindi necessario appurare l'origine di questo scostamento.

8.3.1. Dalle conversazioni telefoniche TBT di Ciampino alle 18.56 (ultimo contatto radio) si rileva quanto segue:

IH870 = è sull'Alfa la 870

RM = e si affermativo è leggermente spostato sulla destra diciamo quattro miglia...

Pertanto l'aereo DC9 1-Tigi alle 18.56 era sul punto Ambra 13 Alfa (attuale Berol), spostato di circa 4NM verso Ovest. In realtà a questo punto corrisponde il rilevamento del Marsala mentre quello del Marconi è spostato di circa altre 4NM. È stato accertato che un tale scostamento non può sfuggire ad un controllore del traffico, pertanto sembra esatta la traiettoria del Radar Marsala.

8.3.2. È stata analizzata la “scia” del sole come visibile dal radar Marconi ed in fig.8.2 e riportato l'azimuth della scia in questione (calcolato sui valori medi come da tab.8.3.1); la curva “a” interpola tali dati.

In realtà in tab.8.3.1 sono riportate per le singole scansioni (definite dal tempo corrispondente in ora, minuti e secondi) l'azimuth medio calcolato, la deviazione standard e la varianza.

I campioni considerati sono stati selezionati da quelli di tab.8.3.2. (che comprende i primari del settore 13) in quanto ritenuti significativi al fine della stima in oggetto.

Sui dati medi di tab.8.3.1. si è operata una regressione lineare; ne è risultata una legge approssimante

$$(8.3.2.1) y = a + bt = 296.7817 + 0.002826 \cdot t \rightarrow \sigma = 0.16^\circ$$

dove t è il "tempo in secondi" come indicato ancora in tab. 8.3.1.

Il quadrato del coefficiente di correlazione è pari a 0.9892.

La (8.3.2.1), come detto, è riportata in fig.8.2.

È possibile stimare l'errore connesso al fatto di aver scelto i valori medi dei dati disponibili per effettuare la regressione (v.tab.8.3.1) dalla:

$$(8.3.2.2) \sigma_B = \frac{\sqrt{\sum \sigma_A^2}}{n} = 0.05^\circ$$

Peraltro nella stessa figura 8.2 è riportato anche l'andamento "b" della posizione azimutale del centro del disco solare come visibile dall'Aeroporto di Fiumicino (v.tab.8.3.3) il 27.06.80.

Lo scostamento tra le due rette è di $2.25^\circ \pm 0.07^\circ$. Inoltre l'errore sulla regressione è dato nel suo valore medio da (v.(A.9) per $t_x=t$) $s=0.16/\pm 65$.

Pertanto è da ritenere che l'antenna del radar Marconi sia orientata verso Ovest (relativamente al Nord geografico) di $2.25^\circ \pm 0.09^\circ$ (gli errori sono stati sommati quadraticamente).

Va considerato anche l'errore effettuato nella interpolazione dei dati prima dell'incidente (v.(8.1.2)) che coincide (con buona approssimazione) con l'errore azimutale, proprio del radar (v.fig.5.1.4). Tenendo conto che per la regressione sono stati considerati 34 campioni v.tab.8.1.2, in accordo alla (A.9) si ha per l'errore corrispondente all'ultimo istante prima dell'incidente v.(8.1.2) e tab. 8:1.2:

$$T = 91 \text{ sec}, t_x = 182.8 \text{ sec} \text{ e quindi svolgendo i calcoli}$$

$$\sigma_x^2 = \sigma^2 \left\{ \frac{1}{34} + \frac{3}{34} \right\} \text{ da cui } \sigma_x = \frac{0.25 \cdot 2}{\sqrt{34}} \cong 0.085^\circ$$

8.3.3. Dalla documentazione disponibile si desume che il radar in fase di installazione è stato orientato verso il Nord magnetico e quindi i dati radar sono relativi a tale riferimento.

Peraltro "nel sistema di generazione delle mappe digitali, veniva introdotta la declinazione magnetica al fine di mantenere coerente l'orientamento della mappa con il dato radar".

La larghezza dell'aereo via è di circa 10NM ed il controllore di volo richiede una notevole accuratezza nella dislocazione della stessa aereo via (ovviamente relativa alla situazione geografica).

Tutto ciò fa prevedere che l'errore dati radar-allineamento geografico sia rimasto costante nel tempo e pari a quello che si aveva in fase di installazione.

Peraltro negli anni 82-83 l'apparato è stato allineato al Nord geografico (2) ed in quella fase si è sperimentalmente valutato un errore di $\sim 2.29^\circ$ per il Radar Selenia e di 1.5° per il Radar Marconi. In (1) è stato osservato che la misura effettuata sul Radar Marconi è meno attendibile di quella effettuata sul Selenia. Poichè peraltro i due radar

sono allineati insieme è da ritenere che il disallineamento fra i dati radar e quelli geografici è di circa 2.29° , in pieno accordo con quanto detto al punto 8.3.2.

8.3.4. Dalle considerazioni che precedono si è ritenuto di dover correggere i dati, di cui nel paragrafo che precede, di 2.25° al fine di valutare la posizione geografica dell'ultimo plot radar con trasponder.

Ne viene per il radar Marconi:

$$(8.3.4.1) \quad \begin{cases} R_{MI} \cos(\varphi_{MI} - 2.25 - 90) = 36.56 \text{ NM} \rightarrow 47'44'' \text{ sul parallelo } 40^\circ \\ R_{MI} \sin(\varphi_{MI} - 2.25 - 90) = 123.83 \text{ NM} \rightarrow 2^\circ 03'50'' \end{cases}$$

da cui le coordinate dell'ultimo rilevamento Marconi (P_M) sono:

$$(8.3.4.2) \quad \begin{cases} 41^\circ 47'51'' - 2^\circ 03'50'' = 39^\circ 44'01'' \text{ N} \\ 12^\circ 13'11'' + 47'44'' = 13^\circ 00'56'' \text{ E} \end{cases}$$

mentre per il Radar Selenia si ha:

$$(8.3.4.3) \quad \begin{cases} R_{SI} \cos(\varphi_{SI} - 2.25 - 90) = 34.28 \text{ NM} \rightarrow 44'45'' \text{ sul parallelo } 40^\circ \\ R_{SI} \sin(\varphi_{SI} - 2.25 - 90) = 124.7 \text{ NM} \rightarrow 2^\circ 04'42'' \end{cases}$$

da cui le coordinate dell'ultimo rilevamento Selenia (P_S) sono:

$$(8.3.4.4) \quad \begin{cases} 41^\circ 48'23'' - 2^\circ 04'42'' = 39^\circ 43'41'' \\ 12^\circ 14'58'' + 44'45'' = 12^\circ 59'43'' \end{cases}$$

In conclusione, tenuto conto degli errori di stima, nel par.8.3.2 le coordinate dell'ultimo rilevamento Marconi sono da ritenere le seguenti:

$$(8.3.4.5) \quad \begin{aligned} &39^\circ 44'01'' \pm 4.2'' \text{ N} + 7'' \text{ N} \\ &13^\circ 00'56'' \pm 21'' \text{ E} - 2.3'' \text{ E} \end{aligned}$$

dove gli ultimi valori sono dettati dal fatto di avere utilizzata la geometria piana.

In fig.8.3 sono riportati i punti così ottenuti (Radar Marconi: P_M , Radar Selenia: P_S e Radar di Marsala: P_{MAR}) in relazione ai primi ritrovamenti della Wimpol.

Converrà osservare che la correzione di cui sopra è stata effettuata con i dati del radar Marconi, pertanto la posizione spaziale più attendibile è da ritenere quella individuata dalle (8.3.3.5) (cioè la P_M di fig.8.3).

Anche sulla valutazione, a conclusione del capitolo, delle coordinate dell'ultimo rilevamento Marconi - $39^\circ 44'01'' \pm 4.2\text{N} + 7\text{N}$ e $13^\circ 00'56'' \pm 21\text{E} - 2.3''\text{E}$ - occorrerà ritornare nel prosieguo. Sull'ultimo capitolo, il 9, di questa parte dedicata al sito di Fiumicino, la "Analisi dei plot dopo l'incidente". Già s'è scritto a proposito del valore delle sue conclusioni. In questa sede se ne devono riportare e valutare le motivazioni, tenendo conto che i periti radaristi Misiti intendono analizzare la compatibilità dei plots, con le traiettorie di caduta di gravi, valutando in particolare gli errori azimutali dal momento che essi hanno ritenuto quelli in range trascurabili. Ciò allo scopo - sul punto quei periti sono chiari - di vagliare la possibilità di corrispondenza dei plots con

particolari relitti dell'aereo. Ovviamente, si affrettano ad aggiungere, il tutto dovrà essere adattato alla visibilità radar e al ritrovamento degli stessi relitti sui fondali marini.

Questo il testo del capitolo, anch'esso non riassumibile perchè denso di passaggi di difficile sintesi, di formule matematiche e tabelle.

9 - Analisi dei plots dopo l'incidente. I plots -17, -12.

In tab.9.1, sono riportate le dislocazioni spaziali dei plots relativi al DC9 I Tigi di tutta la traiettoria, tenendo presente la correzione di 2.25° di cui al par.8.

In tab.9.2 sono riportati i plots dopo l'incidente insieme ai ben noti plot -17 e -12.

La dislocazione dei plots dopo l'incidente è riportata in fig.9.1 e fig.9.2 dove sono anche visibili :

-gli ultimi plots con SSR relativi al volo del DC9 I-Tigi, per circa 100sec., l'ultimo plot in particolare è individuato con "0";

-il segmento "a" che rappresenta la traiettoria nella fase terminale ottenuta operando una regressione lineare sui plots di cui al punto che precede, in particolare l'ultimo plot (interpolato) è indicato con "P_M";

-le varie zone dei ritrovamenti.

Converrà ricordare la corrispondenza delle aree indicate con i ritrovamenti:

B → motori

C → fusoliera anteriore

A → coda

E, F → fusoliera posteriore

D → serbatoio supplementare di un "fighter"

In realtà le nuove ricerche nelle zone E e D sono state indirizzate anche dai dati radar come già accennato e apparirà chiaro nel seguito.

Nelle pagine che seguono viene dapprima analizzata la compatibilità dei plots con le traiettorie di caduta dei gravi, valutando in particolare gli errori azimutali (quelli in distanza, per quanto descritto nei paragrafi che precedono sono stati ritenuti trascurabili). Tutto ciò al fine di analizzare la possibilità di corrispondenza dei plots con particolari "relitti" dell'aereo. Naturalmente il tutto dovrà essere adattato alla visibilità radar e ritrovamento degli stessi relitti sotto il mare.

In fig.9.2 è riportata, associato ad ogni plot, la numerazione corrispondente alla scansione radar cui lo stesso plot appartiene, con riferimento all'ultimo plot con SSR.

9.1 Le traiettorie relative alla caduta dei gravi in assenza di portanza: sensibilità alle condizioni del vento.

Lo studio della caduta dei gravi (caratterizzati dal parametro $R [\frac{kg}{m^2} \cdot C_d]$) è stato messo a punto in [6], [7] e pertanto si è ritenuto

necessario realizzare un programma di integrazione traiettorie-plots radar (USTICAD: v.All.L)

Tenuto conto delle condizioni del vento esistente nei vari strati, secondo le informazioni di cui in All.N (v. Andamento D di fig.9.1.1, per quanto concerne la direzione), si sono ottenute le traiettorie di fig.9.1.2, ipotizzando il "Break-up" nel punto "P_M", naturalmente le condizioni iniziali sono quelle relative all'aereo in volo regolare ($v=239m/sec$, direzione 166° , pendenza 0°). Ogni traiettoria termina con la quota zero (livello del mare), peraltro è possibile ritenere, per una prima valutazione, che il trascinarsi sottomarini negli strati sia di entità trascurabile.

Una prima analisi è servita a stabilire la sensibilità delle traiettorie alle condizioni del vento. In particolare si è notata subito la scarsa importanza della intensità (velocità) che pertanto nel seguito viene assunta in tab.9.1.1.

Tab.9.1.1

| QUOTA (m) | VELOC. (m/s) |
|--------------|-----------------|
| 0 | 8.75 |
| 1524 | 18.02 |
| 3048 | 28.31 |
| 4572 | 37.07 |
| 6096 | 44.79 |
| 7620 | 51.48 |
| 9144 | 55.60 |

Per quanto riguarda la provenienza i diversi possibili andamenti considerati (v.fig.9.1.1) hanno dato luogo a varie traiettorie dei gravi di cui nelle figg.9.1.3, 9.1.4 e 9.1.5, che rendono ragione delle accuratèzze attese nel “matching” plot-zone di ritrovamento dei relitti.

In ogni caso osservando in particolare lo scostamento delle traiettorie di fig.9.1.2 (“D” di fig.9.1.1) e fig.9.1.5 (“C” di fig.9.1.1) (considerando che la direzione del vento è nota in quota con uno step di quantizzazione di 5°) è possibile considerare di scarsa rilevanza ai fini della analisi in oggetto anche la direzione del vento che pertanto nel seguito è stata assunta in accordo all’andamento “D” di fig.9.1.1.

9.2 Metodo di analisi per la corrispondenza plot-gravi in caduta libera.

Al fine di trovare una corrispondenza fra plots e traiettoria, si è preceduto nel modo che segue:

- individuazione curve “isotempo” (fig.9.2.1), in effetti sono stati individuati sulle traiettorie corrispondenti ai vari parametri R i punti relativi alle singole “battute” radar (intervallo di scansione radar ~5.6sec), dalla unione di questi punti si costituiscono le curve isotempo;
- individuazione curve “isolivello” (fig.9.2.2), ossia unione di vari punti a pari livello sulle traiettorie, in particolare già nelle figg.9.1.2, ..., 9.1.5 sono riportate le curve corrispondenti a 1000, 3000, 5000 e 7000 m;
- individuazione degli “errori azimutali”, traslando ogni singolo plot individuato dalla battuta radar sulla corrispondente isotempo, muovendosi nella direzione normale alla congiungente Radar Marconi – punto “P_M”. Dalla entità della traslazione, normalizzata alla distanza radar, è possibile ottenere l’errore in questione;
- individuazione per ogni plot del corrispondente “R” e quota “H” equivalente per interpolazione sulle varie traiettorie e sulle isolivello;
- confronto degli errori azimutali con quelli valutati teoricamente in 5.1 (e confortati dalle indagini sperimentali: errore di ~1°) per quei plots le cui visibilità radar è garantita dal diagramma di copertura (v.fig.2.3) tramite la quota “H” stimata (nel punto che precede) ed il valore della cross-section stimabile dai relitti corrispondenti trovati nelle varie zone di recupero; qualora questi errori azimutali non fossero compatibili con gli errori di cui sopra, si è proceduto alla analisi di compatibilità con errori determinati dal blanking (v.par.5.2.3 e fig.5.2.3.10);

-in assenza della corrispondenza di cui nel punto che precede, ricerca di eventuali compatibilità con “pezzi” dell’aereo che si siano separati in tempi successivi.

In realtà si ritiene che il “break-up” sia avvenuto come appare certo nell’intervallo di tempo fra ultima risposta SSR (“P_M) ed il punto “1”. Basterà pensare alla diversa dislocazione in “range” dei plots (-1, P_M) e (P_M, 1) (v.fig.9.2).

Già dagli andamenti di fig.9.1.2 è possibile notare un’ottima corrispondenza traiettorie-aree dei ritrovamenti per quanto concerne i ritrovamenti in “B” e “C”, mentre per interessare in modo ottimo le zone “F” ed “E” è possibile pensare ad una separazione in tempi successivi di altri “pezzi”.

Questa seconda separazione di pezzi sembra possa aver dato luogo secondo due modalità differenti:

- a) da un “pezzo” con “R” interessante ad es. la zona “C” (fusoliera) si possa essere distaccata una parte della sua struttura (con più bassi valori di “R”) (lo studio dinamico dei vari “nuovi pezzi” ha luogo con le mutate nuove condizioni iniziali);
- b) il grosso del velivolo continua nel suo moto (in condizioni assai prossime a quelle prima dell’incidente) e quindi avvengono altre separazioni di “parti” della sua struttura.

Nel seguito queste due possibili modalità verranno analizzate e verranno descritti gli errori che ne derivano.

Naturalmente converrà notare che errori relativi alla posizione plot radar – zone di ritrovamenti possono servire (anche se limitatamente alla compatibilità con i relitti recuperati) a migliorare la corrispondenza di cui sopra.

9.3 Limiti di visibilità di gravi in caduta libera.

In fig.9.3.1 è riportato il diagramma di copertura a basse quote del radar Marconi riferito ad un target non fluttuante ($\sigma = 10\text{m}^2$, $P_{fa} \sim 10^{-5}$). Conviene infatti ricordare che il corrispondente diagramma di fig.2.3b) è relativo al target Swerling Caso 1 e che tra i due modelli si ha una differenza di ~5dB [3].

Dal diagramma in questione si può evincere per il radar Marconi quanto segue: un target di cross-section ~10m² è visibile al di sopra della quota di ~3.5km alla distanza di 130NM. La assenza di fenomeni di “multipath”, sembrano poco influenzare detta visibilità (~4km).

Converrà a questo punto valutare se la visibilità è possibile per effetto della curvatura terrestre (ric. influenza della rifrazione) e per gli ostacoli derivanti dalle costruzioni circostanti od altro che possono determinare una distanza massima critica.

In realtà la curvatura terrestre, tenendo presente solo la rifrazione, determina una quota di visibilità minima che va da 2.7 a 3.2km. Osservando peraltro il profilo dell’orizzonte determinato dalle costruzioni di Fiumicino (v.All.P) e ricordando che la direzione di osservazione (v.cap.8eq (8.1.2) e ric. correzione di 2.25°) è di circa 163° si ha che l’angolo di oscuramento nella zona interessata è dell’ordine di 0.25° cui corrisponde (come è facile dimostrare operando secondo la schematizzazione di fig.9.3.2) una perdita per diffrazione dell’ordine del dB ad una quota h_t di ~5km alla distanza di 130NM (ric. teoria di Huygens–Fresnel [11] - v. anche All.C), valutata tenendo anche conto della rifrazione.

Naturalmente sulla visibilità radar potrebbero aver effetto i fenomeni meteorologici ma si ritiene abbiano minore influenza sulla degradazione delle prestazioni. Nel momento dell’incidente non risulta presente alcun fenomeno temporalesco che avrebbe comportato una perdita in sensibilità.

Sarà bene notare che la zona corrispondente alla riflessione superficiale è da allocare, da considerazioni geometriche, fra Fiumicino e la postazione radar, quindi in una regione dove è presente un terreno sufficientemente piatto in confronto alla lunghezza d'onda (~0.5m) del radar. Peraltro l'oscuramento prodotto dalle costruzioni di Fiumicino dovrebbe aver ridotto l'effetto del multipath, per aerei alla quota di 6000m alla distanza di 130NM.

Dalle considerazioni di cui sopra deriva che per radar Marconi nel momento e nel luogo dell'incidente un oggetto di opportuna cross-section poteva essere visibile a 130NM ad una quota superiore a ~5km, tenendo conto delle perdite delle perdite di rifrazione e diffrazione dovute all'oscuramento di cui sopra.

Il problema si sposta ora nella stima della cross-section degli eventuali relitti.

E' ben chiaro che una superficie con rugosità superficiale inferiore alla lunghezza d'onda è da ritenersi liscia, è tale si ritiene possa essere la situazione di molti relitti.

Si consideri ad esempio un "relitto" come una superficie metallica di area S (liscia in relazione alla λ) di forma all'incirca circolare, allora è ben noto che la cross section è data dalla

$$(9.3.1) \quad \sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} S^2 = 50 \cdot S^2 \quad \text{m}^2$$

se è posizionato con la superficie all'incirca perpendicolare alla direzione del radar. Quindi superfici dell'ordine del m^2 garantiscono una cross-section equivalente dell'ordine di 50m^2 . Peraltro l'angolo entro cui un tale valore ha senso è data dalla ben nota relazione:

$$(9.3.2) \quad \frac{\lambda}{D} = \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{\pi}{S}} = \frac{0.44}{\sqrt{S}} \text{ rad} = \frac{26^\circ}{\sqrt{S}}$$

dove D è il diametro della superficie ed S è dato in m^2 . Pertanto una superficie dell'ordine del m^2 avrà una sezione equivalente radar dell'ordine di 50m^2 , se osservato perpendicolarmente in una angolazione di $\pm 13^\circ$.

In realtà, date le dimensioni in gioco e la λ (=0.5m), è possibile ritenere che si operi in regime di "Resonant Scattering" [9], peraltro da valutazioni grossolane si ottengono risultati ben vicini a quelli sopra riportati.

Anche considerare i relitti come superfici metalliche convesse porta ad analoghi risultati in quanto la cross-section è data da

$$(9.3.3) \quad \sigma = \pi \cdot R_1 \cdot R_2$$

dove R_1 e R_2 sono i raggi di curvatura ($R_1, R_2 > \lambda$).

Pensando a valori di $R_1 \sim R_2 \sim 2$ m (come sembra ragionevole) si ha $\sigma \sim 13 \text{ m}^2$.

Converrà fare ora delle osservazioni sull'orientamento che potrebbero avere i vari relitti. E' da ritenere che naturalmente essi saranno orientati in modo random rispetto al radar e solo quando esse saranno in direzione all'incirca perpendicolare alla direzione di osservazione del radar produrranno una riflessione rilevante. Pertanto i plots radar generati da diversi relitti sono probabilmente dovuti a differenti relitti su successivi osservazioni dovute alla attesa caduta random degli stessi (dato che l'errore angolare ammissibile appare di $\pm 13^\circ$).

Converrà osservare anche che per materiali non metallici è prevedibile una riduzione della cross-section dell'ordine di 10 a 15dB (sarà sufficiente ricordare le corrispondenti permittività: ric.coeff. di Fresnel).

In conclusione appare ben motivato il fatto che nel caso in questione il radar avrebbe dovuto consentire la visibilità di relitti di dimensioni tali da corrispondere ad una area geometrica dell'ordine del m² a quote superiori a ~5km.

9.4 Considerazioni sulla presenza di più oggetti nella stessa cella di risoluzione radar.

E' molto probabile che alcuni plots siano dovuti dalla presenza di più oggetti nella stessa cella di risoluzione.

Dall'andamento di fig.5.1.5 è possibile notare che nell'ordine della dinamica attesa la dimensione della cella di risoluzione azimutale radar può essere dell'ordine di 4°(con un errore per polarizzazione dell'ordine del grado), cui corrisponde alla distanza di 130NM, una cella di circa 9NM, mentre in distanza rimane una cella di risoluzione pari a 0.26NM.

Peraltro la presenza di più oggetti nella stessa cella di risoluzione può essere rivista in termini di scintillazione angolare ("glint") (v.All.R)secondo metodologie convenzionali nei radar monopulse.

Purtuttavia nel seguito, al fine di esemplificare il problema, converrà far riferimento a due oggetti puntiformi eguali (P₁ e P₂) a distanza r secondo la schematizzazione di fig.9.4.1.

Il campo elettrico di ritorno complessivo è dato dalla seguente espressione:

$$(9.4.1) \quad E \cong 2A e^{-4\pi j D/\lambda} \cos \left[\frac{2\pi r \sin \theta}{\lambda} \right]$$

dove

D è la distanza radar punto 0

A ampiezza relativa al singolo oggetto definita dai parametri radar.

Il segnale che torna quindi ha una fase costante se l'angolo θ si trova nell'intervallo definito dalla relazione:

$$(9.4.2) \quad \frac{k\lambda}{r} - \frac{\lambda}{4r} < \sin \theta < \frac{\lambda}{4r} + \frac{k\lambda}{r} \quad (\text{per } k \text{ intero})$$

La fase in questione subisce un salto di π qualora

$$(9.4.3) \quad \frac{k\lambda}{r} + \frac{\lambda}{4r} < \sin \theta < \frac{3\lambda}{4r} + \frac{k\lambda}{r}$$

Pertanto la fase non ha variazioni in un intervallo angolare

$$(9.4.4) \quad \Delta\theta \sim \frac{\lambda}{2r}$$

che alla distanza D corrisponde una dimensione spaziale $D\lambda/2r$. Ipotizzando oggetti a distanza r del NM ne viene

$$\frac{D\lambda}{2r} \sim \frac{130 \cdot 0.5}{2 \cdot 1} \sim 32\text{NM}$$

pertanto considerando le dimensioni dell'antenna del radar Marconi il ritorno appare con fase costante nella apertura della stessa antenna con altissima probabilità. Tuttavia se l'angolo θ è tale che la fase di π nella apertura della antenna, la indicazione angolare prodotta dal radar ne sarà influenzata negativamente. Qualora gli oggetti in questione avessero dimensioni diverse, la fase varierà (sull'antenna radar) e le variazioni di fase avverranno non a salti ma con andamenti avviati (v.fig.94.2). Le superfici equifase danno luogo al ben noto fenomeno di scintillazione angolare "glint"; il segnale di

ritorno in un ricevitore di un radar per il controllo del traffico quale il Marconi da luogo quindi a fenomeni di fluttuazione di ampiezza e variazioni angolari per i plots rivelati.

In ogni caso è da ritenere probabile che solo pochi oggetti cadranno nella stessa cella di distanza, considerando le risoluzioni range-azimuth e questi potranno dar luogo a distribuzioni con scarsa entità delle fluttuazioni, in altri termini è applicabile il modello di Swerling 3[3] o al limite un modello indipendente dalla fluttuazione stessa (Swerling 0).

In conclusione, ricordando quanto anche detto nel par.5.2.2 è possibile ritenere che è da attenersi per la presenza di uno o più relitti vicini:

- a) una fluttuazione inerente la posizione azimutale (errore angolare-accuratezza) dell'ordine del grado (v.par.5.2.1) dovuto a fluttuazioni dei target (singolo relitto);
- b) la presenza di due oggetti contigui in range possono provocare la visibilità di un solo plot (v. anche par.5.2.2) che potrà posizionarsi nella posizione media pesata (cattura), o anche l'uno (il più vicino in range) può cancellare il secondo ad opera del circuito antijitter;
- c) due oggetti più o meno contigui in range possono dar luogo a due plots e l'azione del blanking (v.All.C, fig.5.2.3.10);
- d) due o più oggetti nella stessa cella di risoluzione in distanza possono dar luogo all'effetto "glint" anche se con bassa probabilità ($\sim 1 \pm 2\%$).

9.5 Corrispondenza plots-relitti.

Sulla base delle considerazioni del par.9.2 si è proceduto ad una analisi delle possibili associazioni plots-relitti.

Considerando gli andamenti di fig.9.1.2 (Break-up in P_M) è possibile ritenere valida la corrispondenza traiettorie con allocazione dei ritrovamenti per quanto concerne le zone "B" e "C". Per le zone "A", "F" ed "E" la corrispondenza appare possibile per i relitti ritrovati nella parte superiore delle stesse zone. Il modesto errore di cui in fig.9.1.2 appare irrilevante dati gli errori (discussi nel cap.8) della posizione del punto " P_M " e dei plots ad esso connessi ed anche della velocità del vento.

Procedendo come indicato nel par.9.2 è stata valutata la possibile associazione relitti-plots sulla base della corrispondenza temporale. In particolare si è notata la buona corrispondenza temporale. In particolare si è notata la buona corrispondenza per primi plots (di cui 1 doppio), infatti in fig.9.5 sono riportati gli errori azimutali corrispondenti, i parametri "R" associati ai singoli plots le corrispondenti quote che appaiono al di sopra del limite di visibilità discusso nel par.9.3. In particolare dalla fig.9.5.1 è possibile desumere l'associabilità dei plots di cui sopra con relitti con parametri "R" pari a $100 \div 700$ riportati in fig.9.5.2.

Sulla base degli andamenti di fig.9.5.2 è da ritenere che l'associazione è possibile con i relitti di cui i ritrovamenti nelle zone motori ("B"), fusoliera anteriore ("C") e coda ("A"). Anche i ritrovamenti nella sezione alta di "E", "F" sono giustificabili dagli stessi plots, ritenendo presenti nella stessa cella radar più relitti (effetti di cui in a) e b) del paragrafo che precede).

Si ritiene allora, come già detto, che per spiegare i ritrovamenti nelle zone inferiori di "F" ed "E" e associazione con gli altri plots ci sia stato un progressivo "distaccamento" dei "pezzi".

Dal punto di vista simulativo si è ritenuto di ipotizzare più distaccamenti concentrati e in accordo a quanto detto in 9.2. (modalità a) da un relitto di "R" opportuno si siano distaccati ulteriori relitti in tempi successivi. In particolare a titolo

esemplificativo si è pensato a successivi distaccamenti di pezzi da un grave di parametro $R=900$.

In tab.9.5.1 è riportata la storia del grave $R=900$ determinando le condizioni iniziali (in termini di posizioni e velocità) dei “pezzi” successivamente distaccatisi.

Nelle figg.9.5.3 ... 9.5.8 sono riportate le possibili associazioni ritenute possibili, in particolare le associazioni possibili sicuramente le seguenti:

- dopo 5sec ($\Delta_E = 9.7''$, $\Delta_S = 26.4''$)

plot 8b, 9b, 10, 11, 13b, 15, 16, 18

con traiettorie $R = 5 \div 60$

- dopo 8sec ($\Delta_E = 16.7''$, $\Delta_S = 42.1''$)

plot 7, 21, 24, 25, 27

con traiettorie $R = 1 \div 20$

- dopo 10sec ($\Delta_E = 21.3''$, $\Delta_S = 51.25''$)

plot 8a, 9a, 28, 30

con traiettorie $R = 5 \div 150$

- dopo 15sec ($\Delta_E = 32.4''$, $\Delta_S = 70.3''$)

plot 29, 31

con traiettorie $R = 1 \div 10$

In realtà la corrispondenza dei plots 12, 13a, 19, 20, 22, 23, 26 e 29 non appare effettuata in modo ottimo per quanto concerne la quota.

Pertanto si è proceduto alla analisi che segue in accordo alla modalità b (v.par.9.2). Infatti facendo seguito a quanto riportato in par.9.2 si è proceduto alla analisi di una diversa modalità come se dopo la separazione di un “pezzo” dell’aereo, l’aereo stesso continuasse il suo moto “regolare” e dopo un certo intervallo di tempo avvengono nuove separazioni.

Nelle figg.9.5.9, 10, 11, 12 e 13 sono riportati gli errori angolari, parametri R e quote per una separazione dopo 4.5, 6.5, 7, 8 e 9sec dall’evento iniziale.

Dagli andamenti di cui sopra si nota già una buona corrispondenza traiettorie-plots sia per i plots cui mancava la corrispondenza sia per altri:

- dopo 4.5sec ($\Delta_E = 11''$, $\Delta_S = 33.8''$)

plot 8b, 9b, 10, 11, 20, 22, 23

con traiettorie $R = 10 \div 20$

- dopo 6.5sec ($\Delta_E = 15.9''$, $\Delta_S = 48.8''$)

plot 8a, 9a, 12, 28, 30

con traiettorie $R = 5 \div 100$

- dopo 7sec ($\Delta_E = 17.11''$, $\Delta_S = 52.6''$)

plot 8a, 9a, 12, 26

con traiettorie $R = 5 \div 90$

- dopo 8sec ($\Delta_E = 19''$, $\Delta_S = 60.1''$)

plot 8a, 9a, 12, 13a, 19

con traiettorie $R = 5 \div 100$

- dopo 9sec ($\Delta_E = 22''$, $\Delta_S = 67.6''$)

plot 12, 13a, 29

con traiettorie $R = 1 \div 10$

Alcuni dei plots di cui sopra mostrano errori angolari rilevanti e quindi verranno analizzati nel paragrafo che segue.

9.6 Interpretazione dei plots singolari.

Convorrà quindi esaminare in dettaglio i plots singolari:

- Plot 1:

lo spostamento dei plots in questione può essere associato ad una variazione notevole (diminuzione) del livello del segnale (v.fig.5.1.4) per una improvvisa variazione e assetto; si osservi d'altra parte l'andamento azimuth-tempo di fig.5.3.3, dove è possibile notare escursioni azimutali dello stesso ordine ~60sec prima dell'incidente. Peraltro è possibile un effetto di esaltazione dell'errore angolare dovuto alla presenza di più "pezzi" (motore distaccato dalla fusoliera) nella stessa cella radar (v.par.9.4.b).

- Plot 8a, 9a, 12, 13a e 19:

dalla fig.9.5.12 in particolare è possibile osservare che i plots in questione appaiono essere ai limiti della tolleranza azimutale e polarizzati nello stesso verso. Questi plots risultano allineati come riportato in fig.9.6.1 e potrebbero costituire una traccia insieme a -17, -12, e 2b come verrà discusso nel seguito; una interpolazione degli andamenti azimutali ne consente peraltro un riallineamento temporale.

Questi plots (v.fig.9.6.1) hanno spinto a suggerire di effettuare delle ricerche nell'area "D" dove è stato ritrovato il serbatoio supplementare di un caccia.

In fig.9.6.2 è riportato l'andamento azimutale dei 5 plots in questione e quello in range (si è in condizione di andamenti equirange: la possibile traiettoria essendo normale alla direzione di osservazione del radar). Si è proceduto ad un "best fitting" degli andamenti azimutali dei 5 plots ottenendo l'andamento tratteggiato in fig.9.6.2.

La pendenza del "best fitting" è pari a $\sim -0.05^\circ/\text{battuta}$, che corrisponde $\sim -1.5 \cdot 10^{-4} \text{rad/sec}$ che tradotto in spostamento angolare significa una velocità tangenziale $\sim 32\text{m/sec}$ molto vicina alla velocità del vento (v. tab.9.1.1). Peraltro dall'andamento di fig.9.6.1 i plots di cui sopra possono essere considerati in un insieme con una polarizzazione di $\sim 1^\circ$, ciò potrebbe essere dovuto ad un effetto del blanking (come per il plot 2b) data la contemporanea presenza di eventuali altri pezzi (ric. anche effetti dovuti al circuito antijitter).

- Plot 2b:

si noti che la distanza angolare fra 2a e 2b è circa 1.5 (v. fig.9.5.1) ossia inferiore della dimensione del fascio. Inoltre il plot 2a risulta vicino alla traiettoria del DC9 con errore azimutale che appare minimo, pertanto sembra applicabile quanto riportato ne par.5.2.3 (ric. blanking) e quindi i risultati delle di cui in fig.5.2.3.1b, 2b e 3b (v. anche par.9.4c). Peraltro il verificarsi del blanking per distanze in range inferiori a quelle di cui nelle simulazioni di cui sopra (nel caso 2a e 2b la distanza è $\sim 0.2\text{NM}$) è senza meno possibile, ma il circuito di antijitter (v.tab.2.1) non consente di dire se trattasi di due oggetti separati di un oggetto unico ad interessare i due plots 2a e 2b. Peraltro neanche i due diversi valori di "R" di cui in fig.9.5.1 (200 e 300 rispettivamente) sembrano chiarire se trattasi o meno di un unico oggetto.

9.7. Radar Selenia.

Attenzione ancora va riposta al radar Selenia estrattori 2/4; in figg.9.7.1, 9.7.2, 9.7.3 e 9.7.4 sono riportati per confronto i vari plots range-tempo e azimuth-tempo per i quattro estrattori (Selenia e Marconi) (v.tab.9.7.1).

In figg.9.7.5 e 9.7.6 è riportata la dislocazione dei plots corrispondenti agli andamenti di figg.9.1b e 9.2.

Convorrà notare che la spezzata a in fig.9.7.5 indica la connessione di 3 plots (non interpolai) prima dell'incidente.

In fig.9.7.7 sono riportati gli andamenti delle traiettorie relative alle cadute dei vari gravi con sovrapposte le curve “isotempo” adattate alla nuova frequenza di scansione di antenna ($\Delta t \sim 6\text{sec}$) (v.fig.9.2.1).

Le curve isolivello (v.fig.9.2.2) ovviamente non dipendono dal radar.

In fig.9.7.8 sono riportate le varie traiettorie possibili (per un break-up in P_S) insieme ai plots e alle aree di ritrovamento (v.fig.9.1.2). Si noti un possibile errore nella posizione di P_S e/o del momento di break-up che si è ritenuto irrilevante da analizzare per l'influenza che può avere ciò che segue.

Si è ritenuto (dato che la distanza P_S – plot 1 è dell'ordine della distanza tra i plots prima dell'incidente) che il plot 1 faccia parte della struttura del velivolo che abbia continuato il suo moto regolare, in accordo alla ipotesi 9.2b che pertanto rimane avvalorata.

Escluso quindi il plot 1 in fig.9.7.9 sono riportati gli errori angolari, i valori di R e quote valutati in accordo a una separazione di parti nel punto P_S . Gli errori di cui sopra appaiono, almeno nei primi 7 plots, compatibili con detta separazione e separazioni successive giustificando per certo gli altri errori.

9.8 I plots-17, -12.

9.8.1 Probabilità relativa alla presenza di uno (o più) aereo nella vicinanza del DC9 I-Tigi.

Accertata quindi la compatibilità dei vari plots con i vari pezzi dell'aereo, si è proceduto all'analisi dei plots -17, -12 al fine di osservare l'eventuale compatibilità con un aereo.

Peraltro le ipotesi che possono essere formulate da un punto di vista statistico sono le seguenti:

H_A aereo presente;

H_0 aereo assente.

Il problema si pone nella accettazione di una delle ipotesi di cui sopra, con un errore che dovrà essere definito dalla corrispondente probabilità, sulla base dell'osservazione disponibile.

Si è quindi escluso per questa analisi l'ipotesi di interferenze elettromagnetiche riflessioni o echi di seconda traccia (peraltro questa ultima ipotesi verrà ripresa nel seguito).

L'osservazione (V_i) può essere definita secondo differenti livelli quali:

- V_1 : osservazione relativa alla presenza di due plots qualsiasi in qualche modo correlabili con la posizione dell'aereo DC9 I-Tigi nel momento dell'incidente, in un intervallo di tempo (ad es.) di 20 battute radar;

- V_2 : osservazione relativa a due plots correlabili con l'incidente e con la traiettoria di un aereo, specificati nel tempo (battute radar -17, -12);

- V_3 : osservazione relativa a due plots allocati in modo specifico, nello spazio e nel tempo, in accordo alla specifica osservazione in questione.

Il problema di cui sopra può essere ora riposto nella valutazione della probabilità che l'aereo sia presente (o assente).

Al fine di dare una risposta al problema di cui sopra è conveniente in primo luogo valutare:

$P(V_i|A)$ la probabilità che, ipotizzata la presenza dell'aereo, abbia luogo un risultato congruente con l'osservazione;

$P(V_i|0)$ la probabilità che, ipotizzato assente l'aereo, abbia luogo un risultato congruente con l'osservazione (nel seguito per semplicità verrà ipotizzata la sola presenza del rumore di fondo).

La probabilità che l'aereo sia presente data l'osservazione diviene allora:

$$(9.8.1) P(A|V_i) = \frac{P(V_i|A) \cdot P(A)}{P(V_i|0)} = \frac{L(V_i)}{L(V_i) + \frac{P(0)}{P(A)}}$$

avendo introdotto il rapporto di verosimiglianza:

$$(9.8.2) L(V_i) = \frac{P(V_i|A)}{P(V_i|0)}$$

Il problema iniziale è quindi quello della valutazione del rapporto di verosimiglianza in funzione della particolare definizione di osservazione; peraltro nella (9.8.1) compaiono le probabilità a priori di presenza ($P(A)$) o assenza di aereo ($P(0)$). Il secondo problema quindi è quello della valutazione della probabilità a priori dell'aereo $P(A)$ o della sua assenza $P(0) (=1-P(A))$, problema che verrà discusso nel seguito e che è molto difficile quantificare.

Converrà osservare che i proposti diversi livelli di osservazione non conducono ovviamente ai risultati differenti nella valutazione della probabilità a posteriori della presenza di un aereo, qualora lo scenario ipotizzato dell'eventuale aereo sia identico nei vari casi. Tuttavia si è ritenuto di dover formulare detta analisi anche se in forma abbastanza qualitativa in quanto indirettamente sono stati esaminati differenti possibili scenari e quindi si è cercato un limite superiore per la probabilità a posteriori della presenza di un aereo. Nelle pagine che seguono, per ragioni semplificative, vengono riassunte solamente le valutazioni relative alle osservazioni V_1 e V_2 ; peraltro una analisi con approccio leggermente differente è riportata in All.C, che tiene specificamente conto delle possibili accelerazioni degli aerei.

- Valutazione del rapporto di verosimiglianza $L(V_i)$

- Osservazione: V_1

La probabilità di avere due plots in qualsiasi posizione (in accordo alla definizione di "osservazione" V_1) ipotizzata la presenza dell'aereo è data dalla

$$(9.8.3) P(V_1|A) = \binom{n}{2} P_D^2 (1-P_D)^{n-2}$$

dove:

P_D è la probabilità di avere una rivelazione

n è il numero delle scansioni sotto osservazione (nel seguito come già detto, verrà assunto $n = 20$).

Pertanto la $P(V_1|A)$ dipende dal rapporto S/N attraverso P_D . Il massimo della $P(V_1|A)$ si ha per

$$P_D \sim \frac{2}{n} \sim 0.1 = 10\%$$

che, in accordo con i dati di fig.9.3.1 corrisponde ad una cross-section $\sigma \sim 2.5 \text{ m}^2$ che è compatibile con un aereo di piccole dimensioni.

Si ha quindi :

$$(9.8.4) P(V_1|A) \leq 28\%$$

Peraltro potrebbe sembrare a priori più opportuno pensare un valore di $\sigma = 1 \text{ m}^2$ cui corrisponde una P_D di $\sim 1\%$.

Usando un tale valore la (9.8.3) diviene

$$(9.8.5) P(V_1|A) \leq 1.6 \cdot 10^{-2}$$

La valutazione di $P(V_1|A)$ può essere condotta ricordando la definizione di “osservazione” V_1 . Alla i -esima scansione precedente il tempo “0” (corrispondente all’ultimo SSR) un aereo sarà in zona correlabile con il DC9 I-Tigi se viene a trovarsi in una regione circolare di raggio massimo (moto radiale verso la posizione corrispondente a “0”) ($\sim P_M$)

$$(9.8.6) R_{\max} = v_{\max} \frac{i}{f_s} \cdot \frac{1}{3600}$$

dove

V_{\max} è pari alla velocità massima assunta da un caccia, nel seguito verrà ipotizzato $V_{\max} \sim 800 \text{ NM/h}$

f_s la frequenza di scansione ($1/f_s \sim 5.6$).

Ne viene $R_{\max} \sim 1.22i$ (NM).

Peraltro il raggio minimo (R_{\min}) può essere definito dalla velocità minima e da eventuale manovra.

Per quanto riguarda la velocità minima converrà assumere $v_{\min} \sim 300 \text{ NM/h}$, ne viene che $R'_{\min} \sim 0.46i$ (NM) che può essere ridotto a

$$(9.8.7) R_{\min} \sim 0.29i \text{ (NM)}.$$

Pensando a una manovra su una circonferenza, ciò che sembra ragionevole; infatti si ha un percorso $\pi r \sim 0.46i$ da cui il raggio della circonferenza $r \cong (0.46/\pi)i$ e quindi

$$R_{\min} = 2r \sim 0.29i \text{ (NM)}$$

Su detta circonferenza l’accelerazione centripeta corrispondente risulta

$$a = \frac{V_{\min}^2}{r} \cong \frac{88}{i} \text{ (m/sec}^2\text{)}$$

che per i sufficientemente elevato, quale nel caso specifico, sembra ragionevole.

Ne viene che l’area interessata, da un eventuale caccia alla scansione i -esima è data da

$$(9.8.8) A_i \cong \pi[(1.22)^2 - (0.29)^2] i^2 = 4.4 i^2 \text{ (NM)}^2$$

Data la risoluzione in range ed azimuth del radar, la cella di risoluzione radar può essere considerato abbia le dimensioni:

$$(9.8.9) A_r \sim 0.26 \cdot 2.1 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 130 \sim 1.2 \text{ (NM)}^2$$

Ne viene che il numero di celle indipendenti interessate possono essere considerate le seguenti:

$$(9.8.10) N_i \sim 3.6 i^2$$

La distribuzione dei vari possibili plots, ritenendo la probabilità di falso allarme pari a $P_{fa} \sim 10^{-5}$ (come dalle conclusioni del cap.7) obbedisce alla legge Poisson

$$P_{\lambda}(k) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!}$$

dove

$$\lambda = N_i P_{fa} = 3.6 \cdot i^2 \cdot 10^{-5}$$

k = il numero dei plots.

La probabilità che li abbia un solo plot alla scansione -i correlabile con il punto dell'incidente è data allora da

$$P_i \equiv P_\lambda(1) |_{i \sim \lambda} = 3.6 \cdot 10^{-5} \cdot i^2$$

Un ulteriore plot alla scansione -j correla con il plot ed il luogo dell'incidente con probabilità

$$P_{j-i} = \frac{3.6 \cdot 10^{-5}}{4} (j-i)^2$$

(sarà sufficiente riscrivere la (9.8.10) nella $N_{ij} \equiv 3.6(j-i)^2$), dove è stato inserito il fattore di 1/4 per tener conto della manovrabilità su una circonferenza:

$$\frac{\pi (R)^2}{\pi R^2} = \frac{1}{4}$$

Ne risulta

$$(9.8.11) \quad P(V_1|0) = \frac{(3.6)^2 \cdot 10^{-10}}{4} \sum_{j=2}^{20} \sum_{i=1}^{j-1} i^2 (j-i)^2 = 1.3 \cdot 10^{-4}$$

Le valutazioni (9.8.4) e (9.8.11) si ritengono conservative dal punto di vista della valutazione probabilità di presenza di aereo.

Ne viene un rapporto di verosimiglianza

$$2150 \text{ per } \sigma = 2.5 \text{ m}^2$$

$$(9.8.12) \quad L(V_1) = \frac{P(V_1|A)}{P(V_1|0)}$$

$$123 \text{ per } \sigma = 1 \text{ m}^2$$

- Osservazione V_2

Un diverso modo di procedere nel definire l'osservazione (V_2) con specifica allocazione nel tempo (-12 e -17) si ha allora:

$$(9.8.13) \quad P(V_2|A) = P_D^2 (1-P_D)^{18} = 1.5 \cdot 10^{-3} (P_D=0.1 \rightarrow \sigma \approx 2.5 \text{ m}^2) \\ 8.38 \cdot 10^{-5} (P_D=0.01 \rightarrow \sigma \approx 1 \text{ m}^2)$$

Peraltro la $P(V_2|0)$ può essere valutata considerando la probabilità che alla scansione i-esima precedente il tempo zero ($i=-12$) si abbia un plot alla distanza R_i , corrispondente ad una compatibile velocità v :

$$R_i = v \cdot \frac{1}{f_s} \cdot \frac{1}{3600}$$

e che alla scansione j-esima ($j=-17$) si abbia un ulteriore plot ancora compatibile con una traiettoria.

Si ha quindi che detta probabilità è data (fatte delle ovvie ipotesi) da

$$\sum \frac{2\pi R_i}{\sqrt{A_r}} \cdot P_{fa} \cdot \frac{\pi R_{j-i}}{\sqrt{A_r}} \cdot P_{fa}$$

dove la sommatoria va estesa a tutte le celle in distanza compatibili con le diverse velocità.

La relazione precedente può essere approssimata in accordo a quanto detto per la osservazione V_1 :

$$(P(V_1|0)) = \frac{2\pi^2}{\sqrt{A_r} A_r} \frac{P_{fa}^2}{2.4} \int_{R_{\text{mini}}}^{R_{\text{maxi}}} R^2 dR \sim \frac{2\pi^2}{\sqrt{A_r} A_r} \frac{P_{fa}^2}{2.4 \cdot 3} R_{\text{max}}^3 = 7 \cdot 10^{-7}$$

Ne viene quindi:

$$(9.8.14) \quad L(V_2) = 2.140 \text{ per } \sigma = 2.5 \text{ m}^2 \\ 118 \text{ per } \sigma = 1 \text{ m}^2$$

In conclusione in tab.9.8.1 è riportato il rapporto di verosimiglianza per le varie possibili definizioni di osservazione di cui sopra
Tab.9.8.1

| | L(V ₁) | L(V ₂) |
|----------------------------|--------------------|--------------------|
| $\sigma = 2.5 \text{ m}^2$ | 2150 | 2140 |
| $\sigma = 1 \text{ m}^2$ | 123 | 118 |

9.8.2. Valutazione della probabilità a priori ed a posteriori di un aereo nelle vicinanze del DC9.

Il problema a questo punto si sposta come detto nella valutazione della probabilità della presenza dell'aereo P(A) ($P(0) = 1 - P(A)$) di cui nella (9.8.1). Converrà precisare subito che si tratta di un argomento difficile da trattare e che si presta a critiche immediate.

Peraltro è possibile fare diverse considerazioni:

- la presenza di uno scenario di guerra nella zona (ad esempio esercitazione militare in corso ...) porterebbe ad aumentare P(A) e quindi dalla (9.8.1) (e tab.9.8.1) ad una crescente probabilità di presenza dell'aereo $P(A|V_i)$. Peraltro un tale scenario di guerra non risulta dalla analisi dei dati radar sia civili che militari;
- in assenza dello scenario di cui al punto che precede la valutazione della P(A) può essere ottenuta valutando la presenza di aerei senza trasponditore (SSR) in tutto il cielo radar, a tal proposito, considerando i dati riportati il All.G, è stato valutato il numero degli UFO. Peraltro sono stati uniti tra loro i vari UFO di cui in All.G che l'algoritmo (che è stato messo a punto per la generazione dello stesso All.G) aveva tenuto separati, infatti tali tracce risultano chiaramente generate da uno stesso aereo (v.tab.9.8.2).

Dalla tab.9.8.2 risulta che su un tempo di analisi di 1^h23'06" (=4980sec) il tempo occupato da UFO è pari a 5921sec. Tale tempo dovrà essere ridotto considerando solo UFO non correlabili a voli che prima o dopo vengono registrati con trasponditori (cui corrispondono per lo più aerei di linea) e UFO dotati di una certa velocità compatibile con -17 e -12 e ad una certa quota (peraltro non nota): una tale operazione ha portato ad eliminare da tab.9.8.2 gli UFO 2, 3, 4, 11, 12, 14, 17, 18, 20, 21, 24 25, 27, 29, 30, 33 (tempo globale 2804). Tutto ciò vuol significare che in ogni sec è in media presente nel cielo radar 0.6 UFO e quindi in ogni scansione radar 3.4 UFO che potranno essere in una regione individuata da una particolare cella di risoluzione (ad es. punto di collisione o punto di lancio dell'eventuale missile); è conveniente ricordare che la dimensione della cella di risoluzione è $A_r \sim 1.2 \text{ (NM)}^2$ (v.(9.8.9)).

Questo dato va tradotto nella probabilità che nella zona interessata dall'incidente (in accordo alle definizioni di osservazione V_1 e V_2) sia presente un UFO, ipotizzando una uniformità spaziale. Le dimensioni dal cielo radar sono dettate dalla portata:

$$(\sim 150 \text{ NM}), \text{ pertanto si ha } A_t = \pi (150)^2 = 7 \cdot 10^4 \text{ (NM)}^2.$$

Ne viene che la probabilità che nella zona di interesse vi sia un aereo è inferiore al rapporto delle aree moltiplicato per la presenza degli UFO:

$$(9.8.15) \quad P_1(A) \leq \frac{A_r}{A_t} \cdot 3.4 = 0.58 \cdot 10^{-4}$$

In modo conservativo nel senso della valutazione di un limite superiore della probabilità a posteriori di presenza di un aereo, è possibile usare un valore di $P(A) \sim 10^{-4}$.

In conclusione è possibile assumere $\frac{P(0)}{P(A)} > 10^4$

e quindi dalla (9.8.1) e dai dati di tab.9.8.1 si hanno le probabilità a posteriori di cui in tab.9.8.3, probabilità che come detti sono indipendenti dalla definizione di osservazione.
 - Un diverso modo di procedere è quello relativo alla disponibilità delle statistiche delle collisioni o abbattimenti di aerei. In ciascuno di questi casi dal “CAA world accident summary” se ne deduce una probabilità (che può essere assunta come probabilità di presenza di un aereo nella zona d’interesse anche se dovrebbe essere corretta dal fatto che nel luogo in questione vi è stato un incidente) di circa $4 \cdot 10^{-7}$; una tale probabilità va confrontata con la (9.8.19) e porta a valori di $P(A|V)$ senza meno inferiori a quello di tab.9.8.3.

Tab.9.8.3

| | $P(A V_1)$ |
|----------------------------|------------|
| $\sigma = 2.5 \text{ m}^2$ | 17.6% |
| $\sigma = 1 \text{ m}^2$ | 1.2% |

In conclusione è possibile ritenere che, ammesso abbia un senso parlare di probabilità di un aereo associato all’evento specifico, detta probabilità è in ogni caso (v.tab.9.8.3) inferiore al 20%.

Peraltro converrà infine notare la presenza di più coppie o tripli plots in tab.9.8.2 che non sono dissimili alla coppia (-17, -12), altre sono ricavabili operando direttamente sui plots primari.

9.8.3. I plots -17 e -12 come plots relativi ad echi di seconda traccia.

Nell’All.O vengono analizzate le condizioni relative alla interpretabilità di plots come echi di seconda traccia (tenendo conto dello stagger del radar Marconi) ed analizzando i dati disponibili del radar di Marsala è possibile formulare l’ipotesi che i due plots -17 e -12 possano essere considerati come plot di seconda traccia, relativi all’Air Malta Boeing 707 (volo KM758 a Sud della Sicilia).

9.9. Compatibilità dei dati radar con uno o più aerei prossimi al DC9 I-Tigi nel momento dell’incidente.

A questo punto si è ritenuto di esaminare la compatibilità dell’insieme dei dati radar con la presenza di un aereo di bassa cross-section (v. par. precedente) nelle vicinanze, identificando l’eventuale traiettoria. La dislocazione dei plots (-17, -12, 2b, 8a, 9a, 12, 13a, 19) che sembrano interessare tale aereo è riportata in fig.9.9.1: in fig.9.9.2 e 3 sono riportati gli andamenti range-tempo e azimuth-tempo. Nella stessa figura sono riportate le funzioni interpolate ottenute, si notino i modesti errori angolari che ne risultano, pertanto la traiettoria (proiettata sul piano orizzontale) sembra essere quella riportata del tipo di fig.9.9.4.

I relativi andamenti della proiezione del modulo della velocità e accelerazione sul piano orizzontale sono riportati in figg.9.9.5, 9.9.6 ossia l’eventuale aereo potrebbe avere nella fase iniziale una velocità superiore a quella del DC9 I-Tigi, per poi terminare (dopo l’incidente) con una velocità (sul piano orizzontale) irrilevante e direzione della velocità del vento. L’accelerazione massima che ne risulta è dell’ordine di 10 m/sec^2 e quindi senza meno compatibile con quella di un caccia.

Un ipotetico secondo aereo è tracciato ancora in fig.9.9.7 con collegamento dei plots -17, -12 (volo parallelo) e nella fase terminale i dati radar sono congruenti con uno scostamento tra di esse per un eventuale attacco o collisione. L’andamento della

velocità per questo secondo aereo è riportata (?) in fig.9.9.8, dove è possibile osservare una velocità circa doppia di quella di cui in fig.9.9.5.

Una tale ipotesi è quindi senza meno compatibile con i dati radar, ma per certo non sono i dati radar a suggerirla.”

Le conclusioni sono quelle note. Già s'è scritto sul loro valore. Esse sono assolutamente ferme. Dopo affermazioni approssimative in cui si pongono forti riserve come quelle sugli errori o le dislocazioni azimutali, sulle influenze del circuito antijitter e della scintillazione angolare – se si sono verificati questi effetti o queste influenze, che possono sia verificarsi che non verificarsi, e i periti nulla dicono su tali possibilità, “i conti tornano”, e cioè la corrispondenza, “buona” tra i più noti 34 plots e la dislocazione dei ritrovamenti dei relitti, manifestando così qui come altrove scarsa scientificità nelle argomentazioni – affermazioni apparentemente dello stesso valore (ma anche qui come prima sofferenze nelle deduzioni argomentative) in senso nettamente contrario. Con un meccanismo di riserve, che potrebbe essere interpretato come insicurezza nelle risposte, determinata da inaccurately, difficoltà, consapevolezza di salti nei passaggi esplicativi delle ipotesi. E quindi da una parte completa anzi “buona” corrispondenza plots-relitti e -17 e -12 interpretati come falsi allarmi; dall'altra compatibilità di -17, -12, 2b, 8a, 12, 19 e 13a con traiettoria di aereo di bassa cross-section, se non addirittura presenza di terzo aereo (oltre il DC9 e aereo a bassa cross-section).

A prescindere da indagini sulle carenze o gli errori che hanno determinato tali incertezze, a questo punto deve affermarsi che su risposte così congegnate è impossibile fondare qualsiasi convincimento sia in un senso che nell'altro. Più diffusamente comunque nella parte dedicata al commento di questa perizia e dei dati radaristici in genere.

* * * * *