

Capitolo XCIII
Perizia radaristica – Risposte a quesiti aggiuntivi Dalle Mese ed altri
06.12.97.

A distanza di breve tempo dal deposito della perizia radaristica s'impose la necessità di quesiti a chiarimento. Essi furono conferiti nel luglio 97. Si chiese ai periti di chiarire:

1. le ragioni per cui le tracce di solo primario, chiamate in perizia PR6 e PR7, dovessero considerarsi prodotte da velivoli reali e non potessero, invece, considerarsi tracce dovute all'effetto di lobi laterali di antenna, svolgendo anche un'analisi comparativa con altre tracce percorrenti la medesima rotta del DC9;
2. le cause per cui il radar Selenia non avesse rilevato i plots a Sud dell'incidente, rilevati invece dal Selenia;
3. le ragioni per le quali si fosse affermato che alcuni ritorni radar anomali inseriti nella traccia del DC9 non potessero essere interpretati come sdoppiamento dell'eco radar introdotto dall'estrattore a causa dell'allungamento dell'impulso;
4. le ragioni per le quali si fosse affermato che eventi diversi dalle rilevazioni di plots prima non correlabili con il DC9, quali elevati errori angolari, mancanza di risposta del secondario, associazione errata di codici IFF, potessero contribuire a rafforzare l'ipotesi della presenza di un secondo aereo, nella scia del DC9;
5. ogni altra utile notizia per l'interpretazione dei plots primari immediatamente precedenti e seguenti il momento dell'incidente.

E su richiesta di parti:

1. se il radar Marconi fosse dotato del dispositivo di controllo automatico di guadagno o AGC;
2. se l'antenna potesse avere un guadagno sui primi lobi laterali di -30dB rispetto alla direzione principale;
3. se comunque per ragioni costruttive e di influenza dell'ambiente circostante non fosse possibile una sensibile dissimmetria in detto guadagno tale da favorire l'insorgere di echi spuri su uno dei due lobi piuttosto che nell'altro;
4. se fenomeni simili caratterizzati sostanzialmente come echi primari non confermati da secondari e sfalsati angularmente di una quantità corrispondente al primo lobo laterale fossero o meno riscontrabili nella stessa zona e/o altre zone anche su altre tracce rilevate dal radar Marconi nel periodo precedente e/o seguente l'incidente.
5. sul metodo impiegato dagli esperti NATO per giungere alla conclusione che i dati registrati nei nastri 99 e 100 di Marsala fossero integri e, in particolare, perchè la verifica sulla corretta sequenza azimutale delle tracce fosse stata fatta in parecchi punti e non in tutti (v. verbale incarico peritale 28.07.97).

Addendum.

Lo stesso giorno quel collegio radaristico depositava un addendum relativo alla risposta al quesito n.3 del precedente incarico su tabulato THR del 18 luglio 80. Questo il risultato delle analisi su tale tabulato:

“Ad una prima osservazione si è potuto verificare che tale set di dati proviene da nastro di recording effettuato presso il sito di Marsala.

Infatti l'impiego del NATO Track Number “Designator” AJ usato per le tracce locali di competenza del sito, di quelli AM ed AG usati per tracce iniziate localmente ma di competenza di Siracusa e Licola rispettivamente e la presenza infine dei “Designators” LL e LJ per tracce remote provenienti da Poggio Ballone e Jacotenente rispettivamente, confermano che il tabulato in esame proviene da nastro di recording effettuato a Marsala.

Il tabulato non è tuttavia corredato dal nastro di recording stesso, per cui non è stato possibile risalendo ai record di testata, determinare la data in cui tale recording sia stato effettuato.

Si è allora proceduto per altra strada, confrontando tale THR (d'ora in poi: tabulato “A”) con la THR resa disponibile a suo tempo (d'ora in poi: tabulato “B”) per la perizia relativa all'incidente del MiG23 libico (vedasi annesso “C” al Fg. AM 2/0862/G53-1 “Riduzione dati del 18.07.80”).

Il tabulato “B” contiene dati dalle 06:59:316 alle 09:24:537, il tabulato “A” fornito al CP contiene dati dalle 09:40:420 al mattino successivo.

Partendo dal presupposto che quella relativa alla perizia del MiG libico provenga da dati registrati il 18.07.80, si è proceduto ad un dettagliato esame dei dati ed in particolare si è potuto verificare quanto segue:

- il tabulato “B” termina con l'assegnazione di Track Numbers AM101, 102 e 103, mentre il tabulato “A” inizia con assegnazioni AM107, 111,112 e 113 etc. denotando una sequenza “continuativa” nell'impiego dei Track Numbers relativi all'area di competenza di Siracusa, tenendo opportunamente conto del fatto che i dati tra i due tabulati mancano e che quindi i denominativi AM104, 105 e 106 possono essere stati ragionevolmente impiegati in quel frangente.

- alcune tracce remote da Poggio Ballone esaminate verso la fine del tabulato “B” denotano anch'esse una certa sequenzialità con alcune tracce ricevute da Marsala dopo le 09:40 (vds tabulato “A”), ed in modo particolare per quanto concerne l'assegnazione di codici identificativi: 5334 per la LL010 in “B”, 5335 per la LL417 in “A”, 4233 per la LL061 in “B” e 4235 per la LL041 in “A”: tali assegnazioni da parte del Controllo del Traffico denotano anch'essi una certa continuità per quanto concerne il contenuto dei due tabulati.

Nessuna considerazione può essere per contro fatta relativamente all'assegnazione delle "Entries" da parte del computer perchè il tabulato "A" inizia con l'impiego delle Entries 0, 10, 20 etc. il che dimostra che il sistema dopo le 09:23 era stato "ricaricato", per cui non può essere riscontrata alcuna sequenzialità; si può solo desumere che in seguito al ricaricamento del sistema sia stato cambiato anche il nastro di recording e che il nuovo nastro abbia quindi registrato a partire dalle 09:40 circa.

Si è successivamente proceduto al confronto del tabulato "A" con quelli provenienti da recording del 27 giugno 80 relativi all'incidente di Ustica: non si è trovato alcun punto di contatto tra i due tabulati, nè nell'assegnazione di Track Numbers locali nè remoti: non vi è alcuna corrispondenza per quanto concerne l'impiego dei codici identificativi. Si può quindi sostenere che tra il tabulato "A" e quelli relativi a Ustica non vi è alcuna relazione".

Questa la conseguente risposta al quesito:

- non avendo a disposizione il nastro di recording originale non si è potuto determinare preliminarmente la data di registrazione del tabulato in argomento;
- dall'esame comparato con il tabulato utilizzato per la perizia del MiG libico si può certamente concludere che i due tabulati provengono da registrazioni effettuate nello stesso giorno e che, se il tabulato del MiG libico proviene da recording del 18.07.80, anche il tabulato in esame proviene da recording effettuato lo stesso giorno.
- dall'esame comparato con i dati registrati il 27.06.80 si può certamente concludere che il tabulato in esame non ha nulla a che vedere con i suddetti dati.

In questo addendum anche la correzione di figure allegate alla perizia depositata nel giugno precedente, correzioni ad errori di rappresentazione, consistita in una traslazione rigida della mappa di sfondo dell'Italia, che non ha così fornito un riferimento corretto per l'esame delle figure stesse. L'errore però, non ha avuto alcuna influenza sull'analisi e l'interpretazione della tracce.

Risposte ai quesiti aggiuntivi.

A dicembre 97 la risposta ai quesiti aggiuntivi del 28 luglio precedente. Il collegio segue questo ordine. In primo luogo la risposta ai quesiti n.1 e n.3. Nella parte seconda la risposta ai quesiti n.2, n.4 e Vadacchino (il quinto di quelli di parte). Nella parte terza la risposta ai quesiti Giubbolini (dal primo al quarto dei quesiti di parte). Nella parte quarta la risposta al quesito n.5.

Nella prima parte innanzitutto una forte introduzione nella quale si ribadisce un fatto metodologico a parere del collegio di notevole importanza e cioè che non può essere messo in discussione in nessun caso che sequenze di plots primari correlanti fra di loro in base a criteri di correlazioni standard, costituiscano in linea di principio la traccia di un bersaglio reale, qualora il loro numero sia superiore ad un valore che dipende dall'algoritmo di correlazione usato. Tale numero, comunque, risulta in genere piuttosto basso, dovuto alla scarsissima probabilità che casualmente plot consecutivi correlino tra di loro.

Le sequenze di plot chiamate nella RCR come PR6 e PR7 sono costituite rispettivamente da 6 e 11 plots correlanti, mentre il numero di plot relativo ai ritorni di cui al quesito n.3 può essere considerato variabile da 3 a 5 a seconda dell'estrattore considerato e della eventuale associazione che può essere fatta tra primario e secondario.

Da queste considerazioni appare evidente che la prima ipotesi che deve essere fatta in una valutazione scientifica del problema è che le sequenze di plots considerate rappresentino tracce di aerei reali.

Solo nel caso in cui vengono evidenziati fattori particolari, da considerare con estrema cura ed attenzione, ipotesi alternative possono essere prese in considerazione, da confrontare in maniera molto puntuale con la prima ipotesi che fino a prova contraria resta la più probabile.

Nella perizia Misiti l'ipotesi che le sequenze di plots in questione siano delle tracce non viene neanche presa in considerazione. Vengono invece prospettate altre spiegazioni che il CP ha comunque esaminato con la massima attenzione, senza peraltro pervenire ad un ribaltamento della ipotesi più naturale.

Quindi le risposte ai quesiti detti, 1 e 3. Se ne riporta il testo integrale, perchè di contenuto altamente tecnico e di difficilissima sintesi.

Risposta al quesito n.1.

“Nella Misiti le sequenze di plots chiamate nella perizia radaristica come PR6 e PR7, vengono interpretate come plot dovuti al cosiddetto “effetto lobi secondari” dell'antenna e inseriti in un file di nome PRSL.

Poichè non è chiaro dalla Misiti che cosa questo significhi, il CP ha interpretato il fenomeno suddetto nella seguente maniera.

Premesso che l'azimuth con cui viene registrato un plot primario o secondario è quello corrispondente alla direzione di puntamento della antenna, che è anche la direzione del lobo di massima irradiazione della antenna (lobo principale), qualunque sia la effettiva di arrivo dell'eco, si supponga che un bersaglio reale sia presente alla distanza R e azimuth θ .

Normalmente tale bersaglio viene illuminato e la sua eco ricevuta quando il lobo principale della antenna risulta puntato nella direzione θ .

Potrebbe accadere che questo stesso bersaglio venisse illuminato e la sua eco ricevuta e rivelata dal radar in una direzione diversa, corrispondente a quella di un lobo laterale della antenna, nel qual caso il sistema radar posizionerebbe detta eco comunque nella direzione del lobo principale che in questo caso risulterebbe quindi spostata angolarmente rispetto alla direzione vera.

Tale eventualità normalmente non si verifica in quanto il sistema radar è progettato e costruito in modo da sopprimere effetti di questo tipo. Tale soppressione avviene essenzialmente perchè l'ampiezza dei lobi laterali della antenna assumono valori tali da attenuare l'eco di ritorno di una quantità sufficiente ad impedirne la rivelazione.

È proprio in virtù di questo fatto che il CP non ha neppure preso in considerazione tale ipotesi.

Comunque un tale evento potrebbe verificarsi nei seguenti casi.

- 1- L'antenna radar presenta alcuni lobi laterali particolarmente elevati;
- 2- il bersaglio presenta occasionalmente un valore di area equivalente eccezionalmente elevato;
- 3- presenza di un disturbo.

Il caso 1 corrisponderebbe ad un errore di progettazione e/o di realizzazione della antenna, particolarmente improbabile in un complesso e costoso apparato radar. In ogni caso in questa ipotesi il problema sarebbe di natura deterministica e quindi il cosiddetto fenomeno dei "lobi laterali" dovrebbe registrarsi per tutti i bersagli presenti nello scenario.

Il caso 2 corrisponderebbe ad avere un bersaglio fortemente scintillante tale da generare una eco con elevate fluttuazioni di valori massimi tali da superare la drastica attenuazione introdotta dai lobi laterali. Tipicamente comunque tali fluttuazioni sono mediate dal processo di rivelazione basato sulla integrazione di una sequenza di impulsi il cui valor medio, dipendendo dall'assetto dell'aereo, non può variare significativamente in un tempo dell'ordine del decimo di secondo (tempo impiegato dalla antenna a percorrere un angolo di pochi gradi), specialmente per un aereo di linea in volo livellato. In ogni caso in questa ipotesi il fenomeno dovrebbe presentarsi in maniera sporadica e in pochi casi eccezionali, tali da non dare luogo ad una sequenza regolare di plot.

Il caso 3 corrisponde alla ricezione di un segnale con caratteristiche impulsive alla frequenza operativa del radar proveniente da una sorgente esterna e ricevuto da una direzione diversa da quella di puntamento del radar. Un segnale di questo tipo risulterebbe attenuato dal diagramma di radiazione una sola volta e quindi la sua rilevabilità sarebbe meno critica. Tale disturbo, o è rappresentato da un rumore con caratteristiche di occasionalità, o è prodotto da una sorgente ben definita ed in questo caso

avrebbe caratteristiche di permanenza in corrispondenza di angoli determinati e quindi non tali da dar luogo ad una sequenza di plots collocati lungo una traiettoria spazio-temporale.

Ai fini di quantificare quanto sopra illustrato qualitativamente, dopo una indagine bibliografica, in mancanza del diagramma azimutale effettivo della antenna del radar Marconi, si è proceduto ad una simulazione della antenna stessa (vedi appendice 1).

Non risulta disponibile agli atti che il CP ha potuto consultare, alcun diagramma di radiazione sul piano azimutale relativo all'antenna del radar Marconi.

Vale comunque la pena di osservare che nella maggior parte dei casi tali dati non vengono forniti dal costruttore in quanto sono in genere ritenuti non rilevanti ai fini della valutazione delle coperture radar.

Si assume infatti che il livello di lobi laterali, in un diagramma di radiazione a due vie nel piano azimutale di una antenna radar, sia sufficientemente basso da non porre in genere problemi rilevanti di localizzazione o posizionamenti angolari erronei di echi ricevuti al di fuori del lobo principale dell'antenna.

In ogni caso questo aspetto è stato oggetto di una attenta valutazione da parte del CP che ha portato alle considerazioni ed alle conclusioni che sono riportate nel seguito.

Il CP ha potuto accertare che l'antenna del radar Marconi, operante ad una frequenza di 600Mhz (50cm di lunghezza d'onda), era costituita da un riflettore cilindrico a sezione parabolica, illuminato in configurazione off-set, da una schiera di 10 dipoli.

In questo tipo di struttura radiante, mentre il diagramma di radiazione nel piano di elevazione è determinato essenzialmente dal riflettore, il diagramma nel piano azimutale è determinato fundamentalmente dal fattore di schiera dell'allineamento di dipoli.

Al fine di ricostruire una stima ragionevolmente attendibile dell'effettivo diagramma di radiazione nel piano azimutale, si è proceduto ad effettuare alcune simulazioni che permettessero di fornire valutazioni tecnicamente fondate sugli ordini di grandezza del livello dei lobi laterali.

In mancanza di ulteriori dati, si è assunto, in base a considerazioni tecniche piuttosto standardizzate, che i dipoli dell'allineamento fossero disposti ad una distanza di mezza lunghezza d'onda gli uni dagli altri.

Si sono ipotizzate successivamente alcune possibili distribuzioni di alimentazione della schiera, sulla base delle quali sono stati calcolati i relativi diagrammi di radiazione.

Volendo pervenire a stime di ordini di grandezza, i diagrammi sono stati calcolati trascurando gli accoppiamenti fra gli elementi radianti e gli

effetti diffrattivi del bordo del riflettore. I primi infatti avrebbero rilevanza solo a livello di analisi, progetto e validazione di dettaglio; i secondi risultano significativi, nel caso specifico, solo ai fini del calcolo del diagramma nella zona posteriore rispetto al piano dell'antenna.

I dettagli delle simulazioni effettuate sono riassunti in Appendice 1 dove sono riportati alcuni diagrammi di radiazione di riferimento.

Da tali risultati si può concludere che l'antenna in questione presentava un livello massimo dei lobi laterali di circa -40dB a due vie (-20dB ad una via) che si determina in corrispondenza del primo lobo laterale (± 5 gradi rispetto alla direzione di puntamento).

Per direzioni laterali che si scostano da quella di puntamento per più di ± 10 gradi, il livello dei lobi laterali è inferiore a -60dB a due vie (-30dB ad una via).

In pratica un bersaglio battuto dal radar in direzioni significativamente discoste da quella di puntamento produce una eco il cui contributo si confonde con il rumore tipicamente presente nell'apparato.

In base a queste considerazioni che avvalorano e ribadiscono quanto affermato nella perizia radaristica, si può concludere che le sequenze di plots a cui qui si fa riferimento non possono essere attribuite a fenomeni radiativi e propagativi che si riferiscono ai lobi laterali dell'antenna nel piano azimutale.

Per avere una ulteriore conferma dei risultati illustrati il CP ha proceduto ad una analisi statistica dei dati seguendo un criterio analogo a quello utilizzato nella Misiti.

Alla pag.V-34 della Misiti si afferma:

- vengono costruiti nell'ordine:

il file "PRSL" contenente i plots primari che probabilmente sono dovuti a lobi laterali relativi ad una certa traccia (vedi tab. G.4). L'algoritmo scelto è il seguente:

$$|\Delta T| \leq 3 \text{ s} \quad |\Delta R| \leq 0.5 \quad 3 \leq |\Delta \Theta| \leq 60$$

Non è chiaro perchè sia stato selezionato con la terza disequaglianza un intervallo angolare che contiene non solo i lobi laterali significativi (tipicamente il primo ed il secondo) ma anche altri lobi molto meno significativi perchè in questo caso si sia limitata la ricerca all'interno di ± 60 gradi e non per tutto l'angolo giro. Sarebbe stato più logico effettuare la ricerca all'interno di un settore angolare che comprendeva i primi lobi laterali, escludendo il lobo principale, ad es. fra ± 3 gradi e ± 10 gradi circa, oppure estendere la ricerca a tutto l'angolo giro e cioè fra ± 3 gradi e ± 180 gradi circa.

Il CP ha svolto l'analisi seguendo ambedue i metodi.

In una prima fase si è seguito la seconda strada, contando tutti i plot primari che cadono in una corona circolare di larghezza pari a 1NM, in un intervallo temporale di 6s (corrispondente circa ad un giro di antenna), cioè soddisfacenti il test

$$|\Delta R| \leq 0.5; |\Delta t| \leq 3; |\Delta \Theta| \leq 180$$

L'analisi svolta dal CP è più esaustiva e comprende come caso particolare i risultati ottenuti nella Misiti.

Il risultato dell'indagine è raccolto in una serie di matrici di cui le più significative sono riportate in allegato. Esse rappresentano i valori delle occorrenze di primari che soddisfano alle disequazioni precedenti in cui in ordinate sono riportati i codici associati ai secondari che producono primari con le caratteristiche sopradette ed in ascisse la distanza angolare dalla direzione del plot secondario che ha prodotto i rispettivi primari, $\Delta \Theta$.

Dall'esame delle tabelle precedenti e da tutta l'indagine svolta si deduce:

a) il fenomeno in questione è distribuito all'incirca uniformemente nel tempo, tenendo conto anche dei tempi in cui sono riportate le varie tracce di secondario;

b) il fenomeno in questione è distribuito all'incirca uniformemente in azimuth, eccettuato per un addensamento intorno a 300-320 gradi; tale direzione corrisponde all'incirca alla direzione del sole al tramonto, lungo la quale si addensano molti primari che rendono quindi più facile il verificarsi delle precedenti disequazioni;

c) il fenomeno si verifica per valori di R fino ai limiti di copertura con addensamenti attorno alle distanze di 22, 40, 98, 120NM. L'insorgere del fenomeno fino ai limiti di copertura radar non è sicuramente compatibile con il cosiddetto "effetto lobi laterali", in quanto in questo caso, oltre alla attenuazione propria introdotta dall'antenna, dovrebbe aggiungersi l'attenuazione dovuta alla distanza che renderebbe impossibile rivelare un eco primario. Gli addensamenti citati, indicano che vi sono un numero elevato di plot primari ad alcune distanze discrete come evidenziato anche dalla visualizzazione in animazione dei data-base;

d) il fenomeno presenta una distribuzione irregolare in $\Delta \Theta$, con addensamenti in corrispondenza di $\Delta \Theta$ uguale all'incirca a 26, 40, 316, 334 gradi. Si può notare che il fenomeno è quasi assente per differenze spesso in più angolari dalla direzione di massimo irraggiamento fino a circa ± 18 gradi. Gli addensamenti indicati corrispondono a differenze angolari ben maggiori di quelle corrispondenti al primo e/o secondo lobo laterale, che sono i più elevati. Agli angoli a cui si verificano gli addensamenti

corrispondono attenuazioni maggiori di 30dB, e quindi tali addensamenti non possono essere associabili al cosiddetto “effetto lobi laterali”, ma semplicemente al fatto che per quei valori angolari sono presenti sequenze di plot regolari che costituiscono tracce di primari. Se dalle tabelle precedenti si estraggono il numero di plot presenti nel settore angolare ± 3 gradi: ± 10 gradi, relativo ai primi due o tre lobi laterali si può notare che in questo caso la traccia del DC9 (codice 1136) non produce nessun primario soddisfacente le disequaglianze precedenti, confermando ancora che le tracce di primario PR6 e PR7 non possono in alcun caso essere attribuite al cosiddetto “effetto lobi laterali”.

Si può concludere che anche l'analisi dei dati conferma i risultati delle simulazioni, del resto congruenti con il normale funzionamento di un sistema radar; è quindi da escludere che gli apparati radar di Fiumicino presentino un funzionamento anomalo con l'insorgenza del cosiddetto “fenomeno dei lobi laterali”.

Risposta al quesito n.3.

Il quesito n.3 fa riferimento ad una diversa interpretazione che è stata data di alcuni plots primari nella perizia radaristica rispetto a quanto affermato nella Misiti.

I plots in questione sono rivelati dal radar Marconi (estrattori 1 e 3) nell'intervallo temporale 18.40.09-18.40.37, ad una distanza dai componenti di plot secondari variabile fra 1.13 e 1.18NM circa, perfettamente correlanti tra di loro in una traccia parallela al volo del DC9.

Nella perizia radaristica tali plots venivano interpretati come relativi ad un aereo in volo parallelo a quello del DC9, mentre nella Misiti venivano interpretati come plots dovuti all'allungamento dell'impulso ricevuto, talmente elevato da non essere soppresso dal circuito di blanking.

Nell'Allegato M della Misiti si afferma:

“Peraltro, considerato l'amplificatore, come se fosse lineare, in fig.M.3 è riportato l'involuppo dell'uscita di un filtro di ordine n (massimamente piatto); l'impulso di ingresso ha la durata di $3.3\mu s$. Da tale andamento si desume facilmente che con la dinamica in gioco (che ovviamente è influenzata anche dallo STC) e con allungamenti originati da fenomeni di saturazione di qualche μs è possibile facilmente rendersi conto della possibilità di avere allungamenti di circa $12\mu s$ (=1NM)”.

Dalla fig.M.3 citata si nota che l'ampiezza del segnale di uscita varia fra -75dB e -110dB circa per un tempo pari a $10\mu s$, e addirittura fra -93dB e -150dB per un tempo pari a $12\mu s$ (la variabilità dipende dall'ordine del filtro che peraltro non è specificato). Non è quindi per nulla chiaro come

possa “facilmente” rendersi conto delle affermazioni contenute in tale allegato.

Comunque il CP nelle sue valutazioni ha assunte per buone tali affermazioni e considerato che gli allungamenti massimi dell'impulso, equivalenti ad una distanza di 1NM, fossero possibili, anche se con probabilità di rivelazione molto bassa.

Poiché la distanza dal plot secondario dei plots primari in questione è maggiore di 1NM, il CP, basandosi sulle argomentazioni contenute nella Misiti, ha concluso che il fenomeno dello sdoppiamento dell'eco radar non fosse applicabile a queste circostanze.

Nella Misiti alle pagg. V-35 e V-36 viene detto:

“un particolare dettaglio spazio-tempo è riportato in fig.6.3c dove compaiono tre plot (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).

“Tuttavia una valutazione quantitativa teorica del fenomeno è riportata nell'AM, 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. La nota recita “saturazioni”, “storage”: nei vari circuiti”.

A tale riguardo è necessario osservare che i fenomeni di non linearità, richiamati per giustificare un improbabile allungamento oltre i limiti trovati nell'All.M, erano già stati considerati nell'All.M stesso (ordine di grandezza qualche μ s) proprio per poter giustificare allungamenti di circa 12 μ s che per amor di precisione corrispondono ad una distanza inferiore a 1NM. Infine non è chiaro perché il test di splitting (come sembra ricavarsi dalla Fig. 6.1. della Misiti) sia stato fatto sui primari con $9.0 \leq \Delta R \leq 1.36$, in parziale contraddizione con quanto affermato a pag. V-33:

“Viene costruito un file (split-2) di plot attribuibile 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.”.

Per quanto sopra detto le affermazioni precedenti sono assolutamente inaccettabili per la loro genericità, e quindi tali da non modificare le conclusioni riportate nella perizia radaristica.

Nella parte seconda le risposte ai quesiti 2, 4 e Vadacchino, perito di parti civili.

Risposta al quesito n. 2.

Il quesito n. 2 chiede di chiarire le cause per cui il radar Selenia non rileva le tracce di solo primario PR6 e PR7, rilevate invece dal radar Marconi e quelle per cui il Marconi non rileva i plots a sud dell'incidente, rilevati invece dal Selenia.

Poichè le situazioni in cui i due radar hanno comportamenti diversi nella rilevazione di tracce o di singoli plot sono molte, il quesito deve essere in realtà inteso a spiegare il diverso comportamento in generale dei due radar.

A tal fine va osservato che i due radar installati all'aeroporto di Fiumicino sono fondamentalmente diversi, come si evince chiaramente dalla Misiti. Alla pag. V-4 di questa perizia sono riportate nella tab.2.1 le principali caratteristiche dei due radar a confronto.

Risulta in particolare che la frequenza di trasmissione del Marconi è di 600MHz mentre quella del Selenia è di 1300MHz. La larghezza del fascio di antenna è di 2,1° nel Marconi e di 1,25° nel Selenia.

Inoltre i diagrammi di irradiazione della antenna sul piano verticale sono completamente diversi (vedasi figg.2.3a e 2.3b della parte V della Misiti).

I dati precedenti rendono i due radar installati a Fiumicino effettivamente completamente diversi. In base a ciò, pertanto, non deve stupire il fatto che le rivelazioni dei due radar siano diverse.

In particolare tali diversità si potrebbero riscontrare nelle seguenti condizioni:

- bersagli con area equivalente piccola, che producono quindi echi deboli, costringendo così i due radar a lavorare nelle condizioni limite, cosa che evidentemente tende ad esaltarne le diversità;
- bersagli lontani (ai limiti della copertura) per lo stesso motivo precedente;
- bersagli che volano a quote basse, in quanto in tali condizioni diventano particolarmente importanti i diagrammi di irradiazione dell'antenna; in tal caso anche piccole variazioni di quota potrebbero rendere non visibile il bersaglio ad uno dei due radar e visibile viceversa all'altro.

A titolo esemplificativo di quanto sopra detto si prendano in considerazione la traccia PR4, considerata nelle figg. E45, E46, E47 della perizia radaristica.

E' evidente che la traccia PR4 si riferisce ad un unico aeromobile che si sposta parallelamente alla costa sul Mare Tirreno da Nord-Ovest a Sud-Est.

Come appare chiaro dalle figure precedenti tale velivolo viene rivelato dal radar Selenia (UST2) nella prima tratta del volo (18.40-18.42 circa) e solo saltuariamente nella parte successiva (18.45.19, 18.48.22, 18.51.11), mentre lo stesso velivolo viene rivelato dal radar Marconi solo nella parte centrale e finale della traiettoria (quando non viene visto dal Selenia).

Ancora si può citare la traccia PR5 (fig.E46), la quale viene vista dal solo radar Marconi e non dal radar Selenia sebbene si trovi molto vicina alla postazione radar (meno di 20NM).

Le tracce precedenti sono state esaminate nella Misiti e anche in quel caso sono state associate ad aerei in volo. Si deve quindi ritenere che le tracce suddette siano state prodotte da echi di bersagli reali e purtuttavia sono state rivelate in maniera completamente diversa dai due radar.

Dalle considerazioni precedenti, quindi, appare completamente naturale il fatto, che non vi sia uniformità di rivelazione sui due radar, specialmente se siamo in una o più delle situazioni sopra indicate.

In conclusione il fatto da chiarire contenuto nel quesito n 2 non presenta particolarità di rilievo, rientrando nella normalità del funzionamento dei due radar. La cosa appare ancora più chiara se si considera che i plots a Sud dell'incidente sono ai limiti delle coperture radar e le tracce PR6 e PR7 sono associabili ad aerei di bassa area equivalente: in queste condizioni infatti le differenze tra i due radar si evidenziano maggiormente come sopra giustificato.

Risposta al quesito n.4.

È evidente che un aereo che vola nella scia di un altro non è facilmente identificabile dal radar, anche perchè l'aereo nascosto mette in atto procedure di volo intese proprio a non farsi riconoscere.

Se i due aerei volano talmente vicini da essere all'interno della stessa cella di risoluzione il radar non avrà nessuna possibilità di discriminarli, mentre se uno dei due si trova in celle di risoluzione adiacenti a quella del primo, il fenomeno del blanking potrebbe cancellare l'eco del secondo aereo e presentare quindi all'operatore un solo eco di ritorno.

Da queste semplici considerazioni due aerei che volano vicini possono essere visti distinti soltanto se separati in distanza di una quantità superiore a quella interessata al fenomeno di blanking, cioè dell'ordine di 1NM.

Tuttavia, dal punto di vista elettromagnetico, due bersagli vicini hanno un comportamento diverso da quello di un solo bersaglio o di due

bersagli distinti. Infatti la vicinanza crea interferenze elettromagnetiche che vanno ad influenzare l'eco di ritorno.

Tali interferenze si possono manifestare nelle seguenti maniere:

- a- fluttuazioni della fase relativa fra i due echi provenienti da due bersagli situati nella stessa cella di risoluzione che tipicamente tendono a provocare variazioni accentuate dell'ampiezza complessiva dell'eco risultante;
- b- interazione fra gli echi dei due bersagli che può portare ad un posizionamento errato dell'eco “equivalente”; il radar cioè è “indotto” a posizionare il bersaglio in una posizione diversa da quella dei due bersagli effettivamente presenti, introducendo così errori più elevati di quelli propri del sistema di misura;
- c- interferenze sulla risposta alle interrogazioni del radar secondario; tali interferenze possono produrre in fase di ricezione errori in alcuni bit della risposta oppure errori addirittura sulla parentesi, compromettendo così la validazione della risposta stessa o addirittura il suo riconoscimento.

Lungo la traiettoria del DC9 è stata rilevata la presenza di un certo numero di plot intorno alle 18.40, che poteva essere associata ad un aereo in volo parallelo al DC9. Per avvalorare questa ipotesi si sarebbero dovute verificare alcune situazioni di interferenza del tipo indicate nei punti a, b, c lungo la traiettoria del DC9.

In effetti tali situazioni si sono verificate e sono state messe in evidenza nella perizia radaristica, concludendo quindi che il quadro complessivo induceva a ritenere plausibile la presenza di un secondo aereo in volo parallelo con il DC9.

4. Risposta al quesito Vadamchino.

Il quesito posto dal prof. Vadamchino richiede chiarimenti relativamente al metodo impiegato dagli esperti NATO per giungere alla conclusione che i dati registrati nei nastri 99 e 100 di Marsala fossero integri e, in particolare, perchè la verifica sulla corretta sequenza azimutale delle tracce fosse stata fatta in parecchi punti e non tutti.

Il quesito posto è stato inoltrato al personale tecnico NATO per ottenere dallo stesso una esauriente giustificazione, e la risposta ottenuta viene allegata al documento (All.2).

A valle di tale risposta e alla luce di quanto già a sua volta espresso nell'allegato 1.15 della perizia radaristica, cui si riferisce la richiesta di chiarimento, si ritiene di dover precisare quanto segue.

1) Le vie tecniche per la determinazione della affidabilità dei dati si sono basate principalmente su:

- analisi dei valori ottali corrispondenti ai records di testata che inequivocabilmente identificano la fonte del recording esaminato in termini di località, sistema e data;

- esame continuativo della struttura logica del records e lunghezza congruente dei records fisici;
- verifica della congruenza di alerts, azioni da console, track history e relative entries usate dal sistema;
- verifica, là dove possibile, della esistenza di un riscontro delle azioni effettuate verso Marsala ed evento corrispondente nelle track history di Poggio Ballone e Potenza Picena (per es. azioni di Change Track Number su tracce e controllo del relativo percorso).

2) Una volta stabilita l'affidabilità dei dati attraverso tali controlli di carattere tecnico e software, in aggiunta si è proceduto a verificare, man mano che si presentava l'occasione, che le tracce analizzate fossero registrate con congruità di azimuth.

Il CP ritiene che tale verifica non sia stata quella determinante per giungere alla conclusione che i dati fossero affidabili, ma semplicemente strumento utile per confermare quanto già a monte dedotto.

In altre parole, il controllo della sequenza azimutale delle tracce non va considerato strumento essenziale per la verifica della attendibilità dei dati, per la quale si rimanda a quanto espresso dagli esperti NATO nel documento allegato (pagg.1, 2, 3, 4).

Nella parte terza le risposte ai quattro quesiti Giubbolini, perito di parte imputata.

Risposta al quesito a.

Tutti i radar del controllo del traffico aereo sono dotati di un controllo automatico di sensibilità che permette al ricevitore di disporre di una sensibilità variabile con la distanza. La sensibilità risulterà evidentemente massima in corrispondenza dei limiti di portata per consentire anche la detezione dei bersagli lontani la cui eco è fortemente attenuata dalla distanza.

La stessa sensibilità, d'altra parte assumerà il suo minimo valore in corrispondenza della minima distanza alla quale interessa rivelare un bersaglio.

La distanza di un bersaglio è misurata dal radar in funzione del ritardo di tempo fra l'istante di rivelazione dell'eco e l'istante di trasmissione dell'impulso che provoca quella stessa eco in presenza del bersaglio.

In particolare la distanza del bersaglio che causa una eco è direttamente proporzionale alla metà del suddetto ritardo che è l'intervallo di tempo necessario all'impulso radar a percorrere la distanza fra l'antenna che lo trasmette, il bersaglio che lo irradia e la stessa antenna che poi lo riceve.

Il termine tecnico specifico usato nella letteratura specialistica radar per indicare il sopra menzionato controllo di sensibilità è Sensitivity Time Control (STC). Il termine generico controllo automatico di guadagno è stato usato per semplicità anche se in modo forse un po' improprio, per indicare questa stessa funzione del ricevitore radar in una relazione destinata ad un lettore non addetto ai lavori, quale si suppone possa essere per ovvie ragioni un magistrato.

È abbastanza evidente che si sarebbero adottati ben diverso tenore e terminologia in una discussione con specialisti del settore, per i quali del resto il passaggio della perizia a cui qui si fa riferimento sarebbe risultato del tutto ovvio.

Risposta al quesito b.

Nonostante le ricerche effettuate dal CP, non è stato possibile reperire il diagramma di irradiazione della antenna del radar Marconi sul piano azimutale.

Non è quindi possibile dare una risposta diretta al quesito posto dall'ing. Giubbolini per mancanza del materiale tecnico relativo.

Tuttavia, come già stato ampiamente discusso nella parte 1, il CP ha considerato i diagrammi di irradiazione tipici di antenne radar sul piano azimutale. Anche in questo caso ha incontrato notevoli difficoltà a reperire i grafici relativi o informazioni quantitative, a causa del fatto che tali diagrammi non sono in genere forniti in quanto ritenuti superflui dai progettisti radar. In effetti la possibilità di avere echi spuri da lobi laterali ha una probabilità talmente bassa da non essere presa in considerazione in condizioni di normale funzionamento.

Le simulazioni effettuate dell'antenna del radar Marconi, i cui risultati sono riportati in Appendice, portano a concludere che, se si escludono i primi lobi laterali (tipicamente il primo ed il secondo) che interessano una regione angolare di circa ± 10 gradi intorno alla direzione di massima radiazione, un valore di -30dB per il livello dei lobi laterali successivi fornisce una stima ragionevole e conservativa della situazione effettiva.

Tali valori sono completamente congruenti con quelli utilizzati nell'allegato 2 della perizia radaristica.

Il valore di -30dB a cui l'ing. Giubbolini fa riferimento nel suo quesito può probabilmente essere messo in relazione con il valore riportato nello stesso allegato 2 della stessa perizia radaristica. In quel caso era stato fatto riferimento ad un valore di -30dB per i lobi laterali relativi al diagramma di irradiazione ad una via, successivi ai primi e quindi abbastanza distanti dalla direzione di massima radiazione.

In effetti in quello stesso allegato sono stati presi in considerazione livelli di lobi laterali del diagramma di radiazione ad una via compresi fra -20dB e -30dB che sono perfettamente compatibili con le effettive prestazioni dell'antenna considerata.

È opportuno infine sottolineare che una eventuale differenza di pochi dB non modifica minimamente le considerazioni riportate nello stesso allegato 2, che sono state ulteriormente chiarite nella presente relazione.

Risposta al quesito c.

È evidente che una antenna reale non potrà mai presentare una perfetta simmetria nel suo diagramma di irradiazione, come deriva viceversa da una analisi teorica.

In linea di principio, quindi, è possibile che a causa della dissimetria sempre presente in antenne reali, eventualmente accentuate da fattori ambientali, si possano presentare echi spuri in maniera dissimetrica.

Il punto importante, comunque, è quello di stabilire se una sequenza congruente di tali echi spuri possa realizzarsi con elevate probabilità come è stato assunto implicitamente nella Misiti.

Il CP ritiene che questa eventualità sia estremamente improbabile, come le argomentazioni svolte nella parte I e in questa dimostrano.

Risposta al quesito d.

Come risulta dalla teoria e dalle simulazioni, il primo lobo laterale è spostato angularmente rispetto alla direzione del lobo principale di una quantità dell'ordine di due volte l'angolo di apertura della antenna.

Nel caso del radar Marconi, quindi, il primo lobo laterale è da ritenersi spostato angularmente rispetto alla direzione di massima radiazione di circa 5°.

Dall'analisi descritta nella parte I si può osservare che la traccia del DC9 non produce echi primari con le caratteristiche di correlazione che sono state assunte per individuare eventuali echi associabili a lobi laterali, sfalsati angularmente di angoli compresi all'interno di $\pm 10^\circ$.

Echi primari con le caratteristiche precedenti sono presenti in tutto lo scenario radar visto dal radar Marconi in quantità molto limitata e tale da non fare pensare all'insorgere del fenomeno indicato dall'ing. Giubbolini.

Tali plots potrebbero essere piuttosto relativi a falsi allarmi e/o fenomeni sporadici di riflessione.

L'analisi esaustiva, già descritta nella Parte I di questa relazione, condotta sull'intero data-base delle registrazioni dei radar ATC porta invece ad evidenziare tutt'al più una più frequente insorgenza di echi, con le caratteristiche di correlazione assunte per investigare sulla questione dei lobi laterali, associabili a direzioni sfalsate rispetto alla direzione di

puntamento di quantità tali da interessare caso mai lobi laterali ben lontani dal primo e tali quindi da non favorire il fenomeno cui si fa riferimento.

Nella parte quarta la risposta al quesito n.5 dell'Ufficio. In effetti dopo il deposito della perizia radaristica, sono stati consegnati da periti di parte relazioni con osservazioni su diversi punti di detta perizia, come sono stati rilevati fatti meritevoli da parte del collegio di ulteriori approfondimenti. Ragion per cui i radaristi Dalle Mese, Donali, e Tiberio affrontano anche le seguenti questioni:

1. quesiti relativi alla traccia AA450/AJ450 posti nella relazione "II nota tecnica dei consulenti di parte lesa Di Stefano e Cinti nell'ambito della perizia radaristica del giugno 97", datata luglio 97;
 2. osservazioni contenute nella relazione "Commenti alla perizia dei consulenti di parte civile (Cinti e Di Stefano)" a firma dell'ing. M.Giubbolini, datata 16.10.97;
 3. integrazioni allo scenario radar visto radar della D.A. e dai radar di Fiumicino;
 4. Assenza di codici militari.
- La traccia AA450/AJ450.

Nella II Nota Tecnica dei consulenti di parte lesa Di Stefano e Cinti, datata 31.07.97, si pongono alcune questioni relative alla interpretazione della traccia AA450/AJ450, registrata a Marsala alle 18.39.13. Le risposte alle questioni poste sono riportate di seguito.

2.1. L'eventualità che la traccia AJ450 fosse dovuta a disturbo elettronico non è stata presa in considerazione dal CP per i seguenti motivi.

La traccia subisce aggiornamenti continui di quota senza che vi siano richieste o inserimenti in merito da parte dell'operatore. Ciò significa inequivocabilmente che l'aggiornamento della quota avviene da parte del sistema in modo automatico, il radar di quota cioè fornisce al sistema quote rilevate effettivamente.

Se il radar di sorveglianza fosse stato disturbato elettronicamente in maniera da causare la presenza di una falsa traccia, il radar di quota non avrebbe potuto rilevare quote effettive poiché nulla sarebbe esistito nello spazio aereo che avrebbe potuto dare adito ad una rilevazione di quota.

Né si può ipotizzare che anche il radar di quota fosse disturbato contemporaneamente poiché esso opera in una banda di frequenze ben diversa da quella in cui opera il radar di sorveglianza.

2.2. Contrariamente a quanto affermato nella relazione Di Stefano-Cinti, l'inizializzazione in area di clutter (cattive condizioni meteo o di visibilità) non può essere esclusa.

Infatti in tali aree, anche se il sistema non è in grado di distinguere con il software i plots dovuti alla presenza di un velivolo da quelli estrapolati dall'estrattore e quindi non è in grado di condurre una traccia, l'operatore stesso, utilizzando il video radar grezzo, potrebbe essere in grado di vedere nel disturbo un velivolo, iniziarlo manualmente, tentare di lasciare al computer il compito del tracciamento, intervenire in caso negativo ed infine cancellarlo perché non conducibile nemmeno manualmente.

In tal caso l'errore consisterebbe non nell'aver aggiornato una traccia in zona di clutter, ma nell'aver erroneamente valutato la presenza di una traccia in tale zona.

Tale ipotesi non può quindi essere definitivamente eliminata anche perché nessuno è in grado di escludere a priori che nei dintorni della AJ450 non vi fosse del clutter effettivo o che nel clutter non fosse presente un velivolo.

2.3. Per quanto concerne le delucidazioni relative ai palloni sonda sia stratosferici che meteo, il CP prende atto di quanto esposto.

2.4. Infine, sempre relativamente alla inizializzazione della AJ450, va segnalato che all'epoca dell'incidente i siti Nadge della DA avevano a loro disposizione un certo set di programmi di utilità da impiegare al di fuori delle normali operazioni.

Tra gli altri era in dotazione il programma SSP (Solar Strobe Program) di ausilio per l'allineamento del radar al Nord. Tale programma faceva uso della posizione di una traccia di opportunità creata dall'operatore in corrispondenza del fascio di disturbo causato dal sole al tramonto. La posizione di tale traccia in azimuth, e quindi quella del sole al tramonto, unicamente a dati rilevati dalle effemeridi, veniva usata come input per il programma SSP, il quale a sua volta forniva in output le modalità di allineamento al Nord del radar, che si realizzavano posizionando opportunamente degli switches disponibili in sala apparati dei siti della DA.

Si è obiettato che la posizione della AA450 si trova ad alcuni gradi oltre, in senso orario, a quella del sole al tramonto a Marsala. Si è allora verificata la posizione dell'ultimo rilevamento di Marsala del DC9 rispetto a quello di Fiumicino (vedasi Fig.4.a) riportando in scala identica quanto visto da Fiumicino (vedasi Fig.4.b) su cartina di Marsala.

Si è potuto verificare un divario di circa 6 gradi tra i due rilevamenti.

Successivamente, tenuto conto che il sole al tramonto si presenta presso i due siti nella stessa posizione perché si assume che il sole sia all'infinito rispetto ai radar, si è riportato su Marsala l'azimuth del sole al tramonto visto da Fiumicino (vedasi Figg.4.c e 4.d) e si è verificato che tra

la traccia iniziata a Marsala e l'azimuth del sole al tramonto a Fiumicino vi è un pari divario di circa 6 gradi.

Ciò significa che Marsala avrebbe visto la fascia del sole al tramonto in corrispondenza dell'azimuth su cui la AA450 era stata inizializzata.

Resterebbe da verificare per quanto tempo ancora il radar di Marsala fosse disturbato dal sole al tramonto dopo il tramonto stesso, considerando anche che lo stesso radar era situato sopra il livello del mare.

Ciò che si vuole evidenziare e che ha importanza al fine dell'impiego di una traccia di comodo per il programma SSP è che tale traccia venga inizializzata sul corretto azimuth e quindi da parte dell'operatore laddove si è presentato l'ultimo fascio di disturbo.

In conclusione, il CP anche in questo caso non vuole eliminare definitivamente tale eventualità.

Questione posta dalla Relazione Giubbolini del 16.10.97.

A pag. 16 della predetta relazione si torna a parlare dei plots -12 e -17 antecedenti all'incidente associati talvolta in perizie precedenti ad un velivolo militare che avrebbe effettuato una manovra di attacco nei confronti del DC9, e talvolta considerati falsi plot e quindi non meritevoli di ulteriori indagini.

Dopo alcune considerazioni relative al lavoro svolto dal prof. Dalle Mese, in circostanze precedenti alla stesura della perizia radaristica, e sulle quali questo collegio non può rispondere (lo farà eventualmente il prof. Dalle Mese personalmente), si cita un passo della perizia radaristica, contenuto a pag.IX-7, nel quale si dichiara di non procedere ad ulteriori indagini in quanto il problema è già stato esaminato dettagliatamente in perizie precedenti.

L'interpretazione che viene data di tale passo dall'ing. Giubbolini non corrisponde a quanto voleva esprimere il CP.

L'ing. Giubbolini commenta infatti “Come si vede una elegante frase per dire “meglio non parlarne più” in una sede dove avrebbe avuto invece modo di ribadire pesantemente le proprie idee”.

In realtà il senso di quanto affermato nella perizia radaristica era semplicemente quello di ribadire quanto la questione dei due plots -12 e -17 fosse stata così ampiamente dibattuta nelle perizie precedenti, da far ritenere al CP che ulteriori considerazioni fondate sugli stessi dati non avrebbero potuto aggiungere alcun contributo significativo a quanto già noto all'AG.

Il CP non è dell'avviso che dei due suddetti plot è “meglio non parlarne più”; essi hanno una loro rilevanza che va comunque valutata nel

contesto di uno scenario radar complessivo e non singolarmente, nel qual caso certamente due plots sarebbero poco significativi.

È convinzione del CP che l'AG a questo punto possieda tutti gli elementi necessari per poter effettuare una valutazione conclusiva, di specifica competenza dell'AG stessa.

Integrazioni allo scenario radar visto dai radar della DA e dai radar di Fiumicino.

Ulteriori indagini da parte dell'AG, successive al deposito della RCR, hanno portato il CP ad approfondire alcuni aspetti dello scenario radar.

In particolare sono stati esaminati in dettaglio:

4.1. Situazione di volo a Nord della Sardegna;

4.2. Codici SIF3 della serie 52;

4.3. Assenza di codici militari.

Al fine della discussione che segue è utile introdurre le seguenti sigle:

UST1: data base relativo al radar Marconi estrattore 1;

UST2: data base relativo al radar Selenia estrattore 2;

UST3: data base relativo al radar Marconi estrattore 3;

UST4: data base relativo al radar Selenia estrattore 4;

PB: data base relativo al sito di Poggio Ballone.

4.1. Situazione di volo a Nord della Sardegna.

4.1.1. Le tracce 5257 e 5260.

I radar del controllo del traffico aereo di Fiumicino registrano due tracce con codice di Modo A 5257 e 5260, che provenendo da Nord, sorvolando la Corsica, si avvicinano all'aeroporto di Olbia. Tali tracce hanno le seguenti caratteristiche:

Traccia 5257: Inizio ore 18.47.50 (UST1, UST3)

Fine ore 19.00.31

Quota livellata 17.000 piedi

Traccia 5260: Inizio ore 18.47.44 sul radar (UST1, UST3)

Fine ore 19.04.37

Quota livellata 19.100 piedi

I due voli procedono appaiati per tutto il tempo di visibilità radar. Nella parte terminale il volo 5257, in fase di atterraggio, non viene più registrato a causa della bassa quota, sopra l'arcipelago della Maddalena.

Viceversa il volo 5260 prosegue iniziando poi la discesa di atterraggio con virata sul mare al largo di Olbia.

Le due tracce sono riportate in Fig.4.1. mentre in Fig.4.2. è evidenziata la fase terminale precedente l'atterraggio.

La particolarità delle due tracce è dovuta, oltre che alla vicinanza, al fatto che i due codici 5257 e 5260 sono inframmezzati durante tutto il volo da una serie di codici diversi, elencati dettagliatamente nella Tabella 4.1.

Si è potuto accertare dall'esame del registro degli arrivi dell'aeroporto di Olbia del 27.06.80 che alle ore 21.09 e 21.12 sono atterrati due aerei rispettivamente provenienti da Linate e Torino.

Considerato che i tempi di registrazione dei radar sopra riferiti all'ora Zulu, mentre i tempi di annotazione sul registro sono riferiti all'ora locale, è evidente che le due tracce in questione sono relative ai suddetti atterraggi.

La notevole quantità di errori nella decodifica dei codici di modo A è chiaramente attribuibile ad una parziale interferenza fra le risposte dei due aerei e, più probabilmente, alla bassa potenza usata dai trasponder montati su aerei della aviazione generale, associata alla grande distanza dal radar di Fiumicino.

Le tracce precedenti sono state registrate anche dal sito di Poggio Ballone con i seguenti Nato Track Number (NTN):
LG110, GG034, GG043.

Dopo una prima inizializzazione del sito di Mortara (LG110) la traccia viene registrata come remota proveniente da Nizza con il NTN GG034 e successivamente modificato in GG043, mantenuto fino alla fase finale di atterraggio.

La vicinanza dei velivoli non consente probabilmente una corretta separazione delle tracce. Una rappresentazione delle tracce con codici SIF3=5257 e SIF3=5260 è riportata nelle Figg.4.3. e 4.4., nelle quali, oltre alle tracce in questione, sono evidenziate altre tracce con gli stessi codici SIF3, relative comunque ad intervalli temporali diversi, non interessanti l'analisi fatta.

4.1.2 La traccia GG461.

Poggio Ballone registra dalle ore 18.46.00 alle ore 18.50.08 la traccia con NTN GG461, locale, friendly con codice SIF3=5200 e senza codici SIF1 e SIF2. La velocità iniziale è di 449 nodi in diminuzione, heading 135, senza quota.

La traccia viene cancellata dal sistema probabilmente perchè la sua quota è in diminuzione (congruente con la diminuzione della velocità), in concomitanza con possibili mascheramenti dovuti alla presenza della Corsica.

L'interesse per questa traccia nasce dal fatto che il codice 5200 (con due zeri terminali) dovrebbe essere associata ad un aereo militare (si veda la discussione al successivo 4.2.), che in questo caso potrebbe essere atterrato in qualche aeroporto in Corsica.

Non è possibile trarre conclusioni definitive a causa della scarsità di dati.

La traccia è rappresentata in Fig.4.5.

4.1.3. La traccia -AA462, LL462, GG675.

Alle ore 20.28.17 il sito di Poggio Ballone inizializza come AA462 una traccia con SIF3=5252 che al record successivo è registrata con NTN=LL462, locale, friendly con SIF2=0000. Il NTN viene subito dopo cambiato in GG675, con gli stessi valori dei codici SIF2 e SIF3.

La registrazione prosegue fino alle 20.45.24, quando scade di qualità e quindi cancellata dal sistema (vedi Fig.4.6, nella quale sono riportate altre tracce non correlanti con la traccia in questione).

La velocità registrata è inizialmente dell'ordine di 150 nodi leggermente variabile fino a raggiungere un massimo di 220 nodi per poi decrescere fino a circa 100 nodi.

La quota non è mai presente.

La cancellazione viene effettuata quando la traccia si trova nel centro del Tirreno e in piena visibilità del radar; poichè la traccia perde qualità nella parte terminale, la sola ipotesi formulabile è che il velivolo si sia abbassato al di sotto della soglia di visibilità.

La presenza del codice SIF2=0000 indica che il velivolo in questione è un militare. I dati cinematici suggeriscono che si tratti di un elicottero. I dati non consentono di individuare un aeroporto di atterraggio.

4.1.4. Le tracce GA421, GG545, LG456.

Tra le 19.18.56 e le 19.20.31 vi sono tre tracce presenti nel tabulato di Poggio Ballone, la GA421, la LL013 e la LL457. Tutte e tre assumono alternativamente codici SIF1=03 e SIF3=0164, tipici di velivolo militare. La GA421 ha tali codici come remota da Nizza, le altre due in sequenza come locali a Poggio Ballone. In tali frangenti (notare che le tracce sono molto vicine per il sistema Nadge) la LL013 assume anche codice SIF3=0330, che successivamente verrà assunto dalla GA421 divenuta Local.

Subito dopo questo periodo alquanto confuso (siamo oltre le 170dm), Poggio Ballone riceve da Nizza una GG454 e da Mortara una LG456, ambedue con codice di SIF3=2174. Evidentemente l'aereo di codice 2174 è visto sia da Nizza che da Mortara (da notare che tra loro non dialogano) e ambedue i siti lo riportano a PB. Le due remote rappresentano quindi lo stesso velivolo.

La situazione può essere così riassunta:

- inizialmente vi sono due velivoli, uno militare di codici 03 e 0164 ed uno civile di codice 0330
- successivamente vi è un velivolo civile di codice 0330 ed un secondo di codice 2174.

I due velivoli iniziali non possono essere confusi perché i due codici sono concomitanti. Nemmeno i due successivi lo possono perché anch'essi concomitanti. Per quanto concerne il velivolo militare si possono fare due ipotesi:

- esso è uscito di portata per cui PB non lo ha più tracciato ed in tal caso la traccia di codice SIF3=2174 è un secondo velivolo civile
- esso ha cambiato codici assumendo solo SIF3=2174.

Si noti che nel secondo frangente (quando sono presenti la 0330 e la 2174), PB esegue probabilmente uno Stop Tell a Nizza, per cui la GG545 non è più riportata e nel contempo fa Local la LG456 (2174) che continua fin verso la fine unitamente alla GA421 (anch'essa Local 0330), le due tracce sono ad una distanza di circa 8dm.

Successivamente la lontananza aumenta e le due tracce si avvicinano per cui PB cancella la GA421 e mantiene solo la LG456 che da questo momento rappresenta sia la 0330 che la 2174, ma a causa della distanza i codici dei trasponders possono interferire per cui il 2174 viene una volta letto come 0374 ed una volta come 0174.

Il fenomeno termina alle 19.29.36.

Tutte le tracce trattate sono in allontanamento sulla Francia.

4.2. Codici SIF3 della serie 52.

Si è potuto notare che nei database UST1, UST2, UST3 e UST4 compaiono un certo numero di tracce con codice di modo A della serie 52XX che non compaiono nel tabulato Anavolo.

Da informazioni assunte presso il CRAV di Roma tramite gli ausiliari G. Boccadoro e S. Zaghini si è potuto appurare il meccanismo in base al quale viene formato il file relativo al tabulato Anavolo.

Nel momento in cui il controllore ATC associa il codice di Modo A ad uno specifico volo, le relative informazioni vengono registrate e compariranno successivamente nel tabulato stesso.

Quindi se un codice di modo A non compare nel tabulato Anavolo, questo significa che il controllore non ha fatto l'associazione.

Questo può avvenire nel caso in cui il volo non è di competenza o comunque di interesse per la FIR (Flight Identification Region) di Roma (come ad es. nel caso di voli uscenti dalla FIR di Roma ed entranti in una FIR adiacente che ne assume il controllo, oppure di voli provenienti da una

FIR adiacente ed entranti nella FIR di Roma che prevedibilmente non interessano l'area aeroportuale).

In ogni caso si può affermare che la mancanza del codice di modo A nel tabulato Anavolo implica che quel codice non è stato assegnato dal controllo ATC di Roma.

Escludendo il codice 5200, che verrà trattato nel prossimo paragrafo, i codici 52XX presenti nei tabulati UST1, UST2, UST3 e UST4 sono i seguenti riportati nell'Allegato.

Da informazioni fornite dall'Ufficio del GI i codici della serie 52 erano riservati all'epoca alle aree terminali di Milano-Linate e Roma-Ciampino. Nessun aeroporto militare italiano aveva in uso la serie 52 per il controllo nella fase di atterraggio. Non è noto al CP se aeroporti stranieri avessero in uso la serie 52.

Segue un elenco dei codici della serie 52 registrati a Fiumicino con un breve commento.

5227. Viene registrato una volta alle ore 19.29.09 da UST1 e UST4. Correla con la traccia di codice 0227 modificato in 5200. Appare come un codice di passaggio fra i due. Si veda anche la discussione contenuta nel prossimo paragrafo.

5236. Viene registrato una sola volta alle 18.20.44 dai quattro estrattori. Appare come un codice di passaggio tra il codice 5336 e 5257 riferito alla stessa traccia.

5237. Viene registrato una sola volta alle 18.31.13 dagli estrattori UST1, UST3. È dovuto ad una interferenza relativa all'incrocio fra le tracce 1234 e 4217, all'incirca sopra l'isola d'Elba (vedi Fig.4.7.).

5240. Viene registrato per 2, 3 battute alle ore 18.58 circa dei soli estrattori UST2, UST4. Fa parte dei codici interferiti relativi alle tracce 5257 e 5260 dirette a Olbia (vedi paragrafo 4.1.1.).

5242. È relativo alla traccia rappresentata in Fig.4.8., presumibilmente di un volo di linea o dell'aviazione generale dalla Sardegna verso Genova. Ai limiti della portata radar è registrato solo dal radar Marconi (UST1 e UST3) e non dal radar Selenia. Il codice è stato presumibilmente assegnato da Milano, non associato quindi da Roma in quanto di non interesse.

5246. È la prosecuzione della traccia con codice 5335 relativa al volo HBVDC (aviazione generale) da Roma verso nord che all'altezza di Livorno cambia codice in 5246. Tale cambiamento è probabilmente richiesto da Milano in quanto il volo sta uscendo dalla FIR di Roma (vedi Fig. 4.9.).

5247. È la prosecuzione della traccia con codice 5344 relativa al volo AZ094 da Roma verso nord, che poco sotto Livorno cambia codice in

5247. Valgono le stesse considerazioni svolte per il codice 5246 (vedi Fig.4.10).

5250. È la prosecuzione della traccia con codice 5361 relativa al volo AZ080, Roma Milano, che all'altezza di Livorno cambia il codice in 5250. Valgono le stesse considerazioni svolte per il codice 5246 (vedi Fig.4.11.). Si osserva che anche in questo caso viene registrato per una battuta da UST1 e UST3 il codice 5261 che può essere interpretato come codice di passaggio.

5257, 5260. Sono i codici dei due voli dell'aviazione generale atterrati ad Olbia provenienti da Milano e Torino. I codici sono quasi certamente assegnati da Milano e non associati dai controllori di Roma in quanto tracce non interessanti l'area portuale di Fiumicino.

5261, 5263. Questi codici sono registrati per una sola battuta da UST4 alle ore 19.36.36 e 19.40.51 rispettivamente. Correlano con la traccia 5363, relativa al volo SQ45 della Singapore Airlines Roma-Singapore. Mentre il codice 5263 si presenta per una sola battuta in una sequenza regolare di plot con codice corretto 5363, e quindi può essere interpretato come un errore di decodifica (l'aereo di trova a 138NM dal radar), il plot 5261 presenta alcuni aspetti da evidenziare. (vedi Fig.4.12). Prima del plot con codice 5261 è registrata una sequenza di 7 plots primari (in verde) e successivamente ancora un plot primario senza la risposta del radar secondario. Il plot A della Fig.4.12 è un secondario con risposta non validata (assente) e quota 15.200 piedi. Il plot con codice 5261 ha una quota di 14.400 piedi, mentre il volo con codice 5363 procede ad una quota di 22.000 piedi circa in salita.

E' evidente la presenza di una interferenza sulla risposta del secondario che porta ad un mancato riconoscimento della presenza di risposta e alla demodulazione errata del codice stesso. La presenza di una quota diversa da quella del volo 5363 potrebbe far pensare ad un secondo aereo: va però notato che se la risposta secondaria è interferita anche la quota potrebbe essere stata demodulata in modo errato.

L'esame del data-base UST2 evidenzia una situazione analoga alla precedente senza tuttavia la registrazione del codice 5261. L'esame dei data-base UST1 e UST3 (radar Marconi) evidenzia la presenza di due soli plots primari, senza i corrispondenti secondari, in concomitanza con i primi due primari registrati in UST4; la restante registrazione è perfettamente regolare, con il codice corretto 5363.

5274. E' un codice registrato per una battuta sull'aeroporto di Fiumicino da UST4. Probabile errore e comunque di nessun interesse.

5275. E' un codice registrato per una battuta sull'aeroporto di Fiumicino da UST4, correlante con la traccia 5341 e dovuto certamente ad un errore di decodifica.

Dai dati sovraesposti si può concludere che la mancata decodifica della risposta secondaria dovuta ad una interferenza della risposta, che tuttavia non è possibile attribuire ad una causa specifica. L'interferenza in questione è la responsabile della errata decodifica fatta dall'estrattore 4 del radar Selenia.

4.2.1 Codice SIF3 5200.

Da informazioni acquisite presso l'AM ed il CRAV risulta che i codici XY00 sono tipicamente riservati a velivoli militari aerotattici.

Codici di questo tipo, ed in particolare il codice 5200, non dovrebbero essere attribuiti dal sistema ATC a velivoli dell'aviazione civile; più specificatamente il centro di controllo di Ciampino non poteva assegnare questi codici ad aerei civili in quanto il sistema ATC della FIR di Roma avrebbe automaticamente impedito una attribuzione di questo tipo.

Generalmente tale regola valeva anche per gli altri centri di controllo, anche se non può essere escluso che, non essendoci un sistema automatico di validazione delle assegnazioni (tale sistema era presente solo a Roma), una assegnazione di questo tipo possa essere stata fatta.

In ogni caso, come evidenziato in dettaglio nel seguito, si è potuto rilevare almeno una circostanza certa nella quale è stata effettuata una attribuzione impropria del codice 5200 da parte probabilmente del sistema ATC di Milano.

Il codice 5200 è presente nelle registrazioni del radar di Fiumicino con riferimento ad una sola traccia. In particolare si tratta del volo che nel passaggio dalla FIR di competenza di Roma a quella di competenza di Milano cambia il suo codice da 0227 (volo AZ1133, Palermo/Milano) a 5200 (vedi Fig.4.11).

Il codice 5200 è altresì presente nelle registrazioni del sito di Poggio Ballone del sistema della DA.

In particolare le tracce identificate dai NTN elencati di seguito presentano risposte di codice SIF3=5200 (si veda la Fig. 4.13).

GA602. È registrata dalle ore 18.02.06 alle ore 18.05.15, remota, friendly, con quota di diminuzione e velocità di circa 423 nodi. La traccia sorvola la Costa Azzurra sopra la Francia in direzione Sud.

LL026. È registrata dalle ore 18.02.14 alle ore 18.05.46, locale, friendly, velocità iniziale di 340 nodi, in diminuzione, senza quota. È una traccia presente per poche battute ad Est della Corsica con direzione Sud-Est.

GG461. È registrata dalle ore 18.46.00 alle ore 18.48.45, locale, friendly, velocità 415 nodi circa, direzione Sud-Est. È una traccia presente al Nord della Sardegna per poche battute.

LL062 LL442. Intorno alle 19.18, ai limiti della portata del radar di Poggio Ballone, l'operatore inizializza le due tracce (non velocity) in posizione -141,18 e -158,20 rispettivamente.

La 442 assume per una battuta codice di SIF3=5200, rimanendo senza velocità per una ulteriore battuta; nella successiva assume velocità 530Kts, ma comincia a scadere di qualità per cui è eliminata dal sistema.

La 062 al primo "agganciamento" si presenta con SIF3=2165, al secondo con codice 7705, al terzo con codice 5200 (a poche miglia da dove la 442 aveva assunto lo stesso codice); anch'essa comincia a scadere di qualità e dopo le 19.20.54 non appare più in sistema. Trattasi probabilmente di tentativi dell'operatore di iniziare traccia di sistema in zona di precaria visibilità, ma senza successo; di tali eventi va peraltro segnalato che in prossimità delle suddette tracce vi era probabilmente un velivolo con codice di SIF3=5200.

LE476. Rappresenta la prosecuzione della traccia con codice 0227, già trattata nel paragrafo precedente.

GG453. Nasce alle 19.23.69 come AA con codice di SIF3=2165 per divenire subito dopo GG453. Da Nord della Corsica procede verso Sud. Alle 19.26.14 assume codice SIF3=5200. Intorno alle 19.37 scade di qualità e non è più riportata. Da notare che non ha mai dati di quota e alle ultime battute è a bassa velocità (162Kts). Non può essere un elicottero a causa delle velocità iniziali (quasi 500Kts). Non è registrata da Fiumicino pur essendo all'interno della portata radar, e quindi è sicuramente a bassa quota almeno nella parte terminale della traiettoria.

Alcune delle tracce precedenti terminano in un'area del Tirreno ad Ovest dell'isola d'Elba vicino alla costa della Corsica. Anche se non vi sono evidenze specifiche sulla destinazione finale di tali tracce, si segnala che sulla costa Est della Corsica sono presenti gli aeroporti di Bastia (civile) e Solenzara (militare); inoltre a Ovest della Corsica è presente l'aeroporto di Ajaccio (civile).

4.3. Assenza di codici militari.

Dall'esame di numerosi tabulati di THR, ottenuti da registrazioni effettuate da vari siti della DA in periodi diversi dal giorno dell'incidente del DC9, il CP ha potuto constatare che nella larga maggioranza dei casi i dati relativi agli aerei militari contengono le risposte complete di codici SIF1, SIF2 e SIF3.

Questa constatazione contrasta con l'evidenza che in tutte le THR disponibili, relative al periodo nell'intorno dell'incidente, sono presenti tra le 17.30 e le 19.00 solo sei risposte di codici SIF2; è presente un solo SIF2 fra le 19.00 e le 21.15.

L'assenza sistematica di tali codici, che tra l'altro consente una più agevole identificazione del velivolo, non può essere causata dal fatto che la funzione di interrogazione da parte del sistema è stata inibita in tutti i siti della DA che sono in qualche modo collegati con Poggio Ballone, Potenza Picena e Marsala.

Infatti la presenza contemporanea di codici SIF1 e SIF3 indica che la funzione di interrogazione interallacciata dei modi SIF1, SIF3 e SIF2, SIF3 era attiva.

Ciò indica che le risposte di codice SIF2 sono state disattivate nei trasponditori di tutti gli aerei militari presenti nello scenario aereo di competenza della DA nazionale, o comunque di tutti quelli che compaiono nelle THR disponibili all'AG e sono ivi registrati con modalità sia locale che remota, ad eccezione della LG032 intorno alle 20.13 a Poggio Ballone.

Tale ipotesi è da ritenersi molto plausibile in quanto può essere conseguenza di un ordine a diffusione limitata ai soli voli in atto in quell'intervallo di tempo, di cui è verosimile non trovare traccia dopo tanti anni.

Da ultimo le conclusioni nei termini seguenti.

1. Il CP ha messo in evidenza un fatto metodologico di notevole importanza – conclusione questa che però subirà più critiche sia di parte imputata che di parte civile, e su cui si dovrà tornare.

Non può essere messo in nessun caso in discussione che sequenze di plots primari correlanti fra di loro in base a criteri di correlazione standard, costituiscono in linea di principio la traccia di un bersaglio reale, qualora il loro numero sia superiore ad un valore che dipende dall'algoritmo di correlazione utilizzato. Tale numero, comunque, risulta in genere piuttosto basso, dovuto alla bassissima probabilità che casualmente plots consecutivi correlino fra di loro.

È quindi evidente che sequenze di plot correlanti fra di loro devono essere considerate in prima istanza come tracce di aerei reali, in quanto questa rappresenta l'ipotesi più semplice e ragionevole.

Solo nel caso in cui vengano evidenziati fattori particolari, da considerare con estrema cura ed attenzione, ipotesi alternative possono essere prese in considerazione, da confrontare in maniera molto puntuale con la prima ipotesi che fino a prova contraria resta la più probabile.

A parere del CP, quindi, i quesiti n. 1 e n. 3 sono malposti, in quanto era piuttosto la Commissione Misiti che avrebbe dovuto chiarire in estremo dettaglio le ragioni ed i metodi usati per pervenire alle conclusioni contenute nella Misiti.

2. Sono state chiarite le ragioni per cui in mancanza di ragioni forti che avvalorassero fenomeni comunque estremamente improbabili si era arrivati alla conclusione nella perizia radaristica che le tracce PR6 e PR7 fossero da considerarsi prodotte da un velivolo reale e la presenza di un secondo aereo nella scia del DC9 fosse da ritenersi plausibile.

3. Sono state riferite ulteriori notizie relative allo scenario radar, di cui le più significative a parere del CP possono essere così sintetizzate.

a) E' stata notata una anomala assenza di codici SIF2 in un arco temporale che va dalle 17.30 alle 21.00 della quale non è nota alcuna giustificazione operativa.

b) L'esame del traffico aereo a Nord della Sardegna e sull'alto Tirreno evidenzia una attività volativa sicuramente non attribuibile ad aerei di linea. In particolare alcune tracce (LL0265, GG453, GG461) presumibilmente a bassa quota, con velocità decrescente, vengono "perse" dal sistema DA, senza chiara evidenza finale della loro destinazione.

Di grande rilievo in questa perizia a sostegno della prima delle conclusioni, l'appendice dedicata alle procedure adottate per la valutazione dei lobi laterali che qui si riporta.

"Un sistema radiante costituito da un insieme di elementi radianti dello stesso tipo, opportunamente disposti nello spazio, prende il nome di "antenna a schiera". Le caratteristiche radianti di un'antenna a schiera dipendono essenzialmente dal tipo di elemento radiante, dalla sua orientazione e posizione nello spazio e da come questi elementi vengono alimentati.

Il diagramma di radiazione di un'antenna a schiera può, con ottima approssimazione, essere determinato come il prodotto fra il diagramma di radiazione del singolo elemento radiante ("fattore di elemento") e il diagramma di radiazione che compete ad un insieme di radiatori isotropi disposti ed alimentati come i rispettivi elementi della schiera radiante ("fattore di schiera"). Conoscendo quindi le caratteristiche radianti del singolo elemento, è sufficiente analizzare il diagramma di radiazione della schiera di radiatori isotropi per trarre le informazioni importanti sulle caratteristiche radianti dell'intero sistema.

Con riferimento al radar Marconi tipo S-264 operante nel sito di Fiumicino all'epoca dell'incidente, si deduce dalla nota del 27 maggio 94 che questo era formato da un riflettore cilindrico a profilo parabolico

alimentato da 40 dipoli allineati lungo la linea focale. La presenza del riflettore determina il diagramma di radiazione nel piano di elevazione e garantisce che il massimo di questo diagramma si determini nella direzione di puntamento, mentre le caratteristiche del diagramma di radiazione in senso azimutale sono essenzialmente coincidenti con il “fattore di schiera” dei 40 dipoli di alimentazione.

Il fattore di schiera di un insieme di $2M$ elementi isotropi allineati lungo la direzione z di un sistema di riferimento cartesiano, ed equispaziati a distanza d è:

$$AF(\theta) = \sum_{n=1}^M a_n \cos[(2n-1)\pi \frac{d}{\lambda} \cos\theta]$$

dove θ indica l'angolo tra la direzione di osservazione e l'asse z , e λ , indica la lunghezza d'onda (per il radar Marconi, operante alla frequenza di 600 MHz, la lunghezza d'onda è circa 0.5m).

La precedente espressione vale per un numero pari di elementi, come nel caso del radar Marconi in questione. Le antenne per applicazioni radar vengono spesso caratterizzate dal diagramma di radiazione “a due vie”, poiché la stessa antenna viene utilizzata anche per ricevere l'onda elettromagnetica di ritorno. Quest'ultimo è definito come il quadrato dell'espressione precedente.

I coefficienti complessi a_n determinano l'alimentazione della schiera da cui dipende sia l'orientazione del massimo che il livello dei lobi laterali.

Per una schiera che irradia il massimo di campo in direzione ortogonale alla direzione dell'allineamento (schiera “broadside”), il massimo della direttività, cui corrisponde la minima apertura del lobo principale, viene ottenuto alimentando gli elementi radianti in modo uniforme, cioè:

$$a_n = a \quad n = 1, 2, \dots, 2M$$

Questo è anche il caso in cui il livello dei lobi laterali rispetto al lobo principale è piuttosto alto, in pratica massimo e spesso insufficiente per le applicazioni ma è comunque utile per le applicazioni.

Un notevole miglioramento del livello dei lobi laterali si ottiene con tutte quelle distribuzioni dei coefficienti di alimentazione simmetriche rispetto al centro della schiera e decrescenti verso il bordo. A questa categoria appartengono la distribuzione binomiale e la distribuzione “cosine-on-pedestal”.

I coefficienti di alimentazione per una distribuzione binomiale sono definiti dal seguente algoritmo:

$$b_n = \frac{(2M - n + 1) \cdot b_{n-1}}{n - 1}$$

$$a_n = b_{M-n+1}$$

Questo tipo di distribuzione, che fornisce un ulteriore caso limite di riferimento, è caratterizzata da non avere lobi laterali ma determina una apertura del lobo principale molto elevata, rispetto al caso di distribuzione uniforme.

Un buon compromesso tra livello dei lobi laterali e apertura del lobo principale si ottiene determinando i coefficienti di alimentazione secondo la distribuzione “cosine-on-pedestal”, ottenibili mediante il seguente algoritmo:

$$L = (2M - 1) \cdot d$$

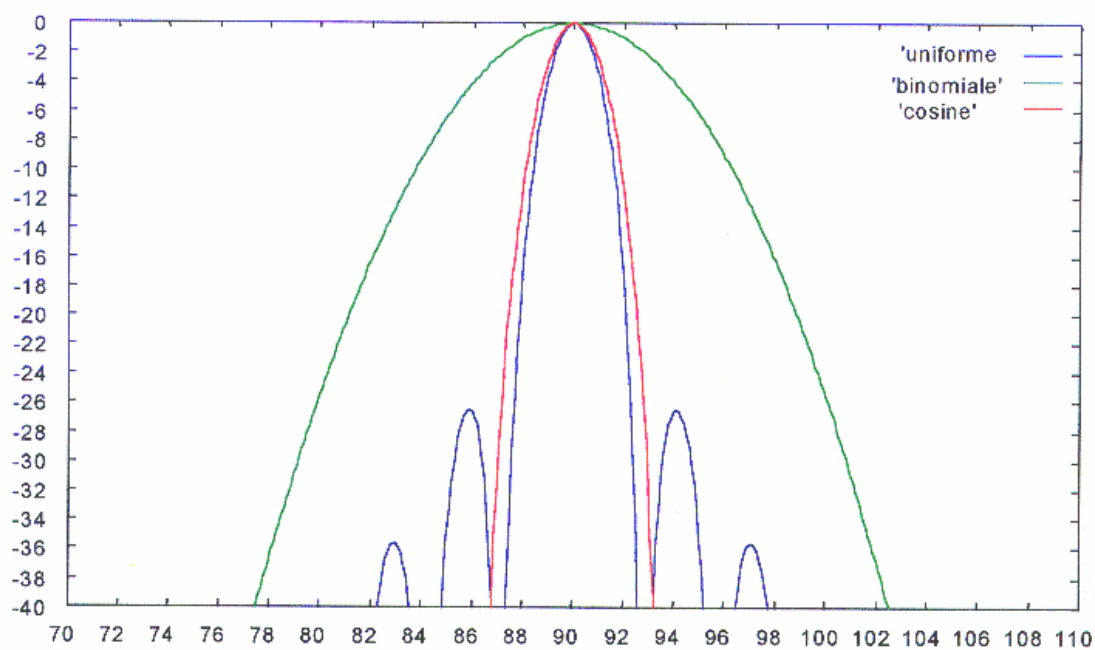
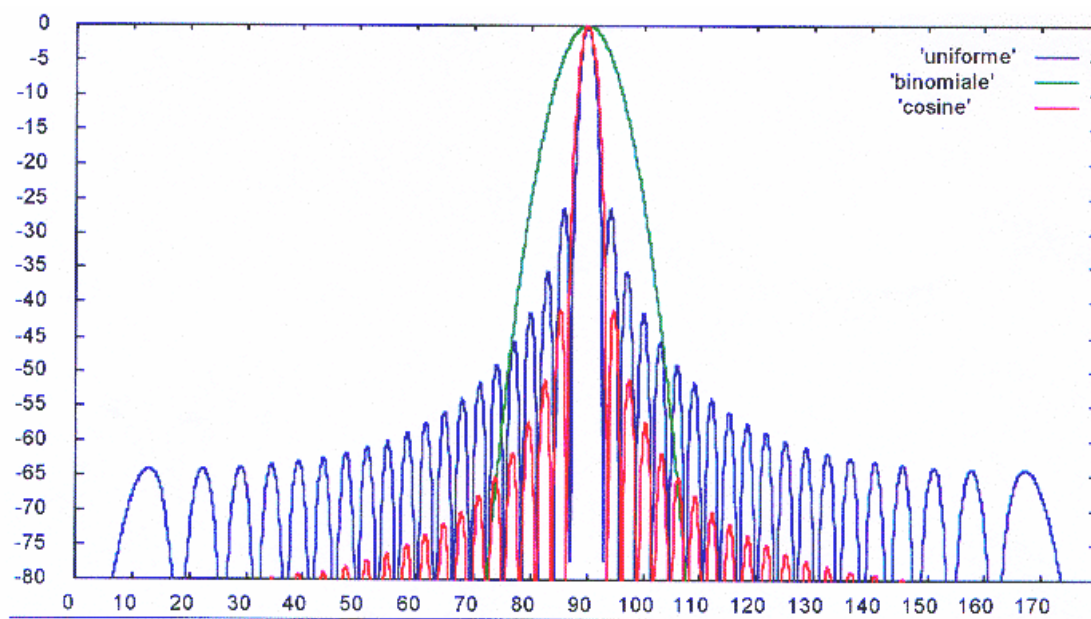
$$b_n = C + (1 - C) \cdot \cos\left[\pi \frac{(-L/2 + (n-1) \cdot d)}{L}\right]$$

$$a_n = b_{M-n+1}$$

dove L è la lunghezza totale della schiera e C rappresenta il livello di taperatura al bordo.

Nelle figure successive sono riportati i diagrammi di radiazione a 2 vie che si ottengono per una configurazione formata da 40 elementi radianti a distanza fissa l'uno dall'altro di $d = \lambda/2$.

Le curve si riferiscono al caso di alimentazione uniforme, binomiale e cosine-on-pedestal con taperatura al bordo di 10 dB ($C = 10^{-0.5}$).



Le due precedenti figure illustrano come con una distribuzione “cosine-on-pedestal” si ottiene una apertura del lobo principale di circa 2.1 gradi con livello dei lobi laterali a due vie sotto i -40dB e al di sotto di -60dB per direzioni laterali che si discostano da quella principale per più di 10 gradi circa rispetto alla direzione di massimo.

Opera questa dei periti d'Ufficio di notevole impegno nel solco della prima relazione, dalla quale già furono posti diversi punti fermi, cui altri se ne aggiungono da queste risposte o chiarimenti. Ne deriva così quadro più preciso del cielo di quella sera, completamente diverso da quello, sgombro quasi di ogni velivolo, proposto sin dalle prime battute dell'inchiesta e ancora sostenuto da qualche parte. Alcune deduzioni, quelle sulle PR, non appaiono del tutto ferme e saranno sottoposte, come già s'è accennato, a severe critiche sia di imputati che di parti civili.

* * * * *