

Capitolo LXXVIII
Consulenza radaristica Algostino ed altri - 31.10.95.

Forti critiche, invece, alla parte radaristica della perizia Misiti dai consulenti di parte civile nel documento “Analisi dello scenario fornito dai

dati radar di Fiumicino”, a firma dei professori Algostino, Pent, Tartaglia e Vadacchino, depositato nell’ottobre 95.

Questi consulenti contestano ai radaristi Misiti errori di metodo, approssimazioni grossolane e l’incompleta utilizzazione di tutti le informazioni disponibili, in particolare di quelle desumibili dall’indice di qualità e di quelle ricavabili dall’integrazione dei dati ricavati dal Marconi e dal Selenia.

Essi procedono, per ovviare alle carenze della perizia d’Ufficio, all’analisi dettagliata di alcuni elementi critici del processore radar; in particolare: - studiano, con un approccio simulativo, il meccanismo dell’integratore, tenendo in conto anche le non linearità presenti nel dispositivo, e pervenendo ad una valutazione più corretta dell’errore di polarizzazione e della sua dipendenza dal livello del segnale ricevuto; - analizzano l’algoritmo utilizzato dall’estrattore per stimare la posizione angolare del bersaglio e per ricavare l’indice di qualità; potendo così dare – si segue il testo di questa sintesi iniziale – la corretta interpretazione di tale indice e quindi ricavare da esso, quando inferiore al valore di saturazione 15, informazioni utili sulla struttura della risposta radar.

I principali risultati dello studio si possono così sintetizzare:

1. Una corretta analisi, su base probabilistica, dei plots -17 e -12 ha consentito di escludere che tali plots siano dovuti a falsi allarmi; essi devono pertanto essere considerati come echi di uno (o più) oggetti, sia pure caratterizzati da bassa sezione equivalente radar.
2. E’ stato rivisto il problema della determinazione del punto dell’incidente, operando le necessarie correzioni sui rilevamenti radar, e si è pervenuti ad un buon accordo fra la stima deducibile dai rilevamenti radar e quella ricavabile a partire dalla posizione geografica dei ritrovamenti delle varie parti del DC9. In particolare si è concluso che:
 - l’incidente è avvenuto circa 3.6 s dopo l’ultima risposta del transponder.
 - al momento dell’incidente il velivolo si trovava nella posizione individuata dalle coordinate 39°43’32”Nord, 13°00’46”Est.
3. L’analisi dei rilevamenti radar successivi all’incidente, condotta ad un primo livello di approfondimento (che consiste nel ripercorrere lo stesso approccio seguito nella RPU, utilizzando però dati corretti sia per quanto riguarda la posizione del velivolo, sia per quanto riguarda l’entità degli errori) ha portato a concludere che non tutti i plots rilevati dal radar Marconi possono essere attribuiti a frammenti del DC9; in particolare i plots 1, 2b, 3, 5, 7, 8a, 9a, 9b, 10, 11, 12, 13a, 19 non possono essere interpretati come echi di frammenti del velivolo, ma devono essere attribuiti a oggetti in volo, presenti nelle immediate vicinanze del velivolo stesso.

4. Un secondo livello di approfondimento, nel quale:

- si sono utilizzate le informazioni desumibili dall'indice di qualità, quando questo è inferiore a 15;
- si è tenuto conto del meccanismo del blanking (o mascheramento) che può alterare la posizione angolare di un rilevamento a causa della parziale cancellazione della sua impronta da parte di un oggetto che si trovi nelle vicinanze;
- sono state integrate, ove possibile, le informazioni fornite dai due radar Selenia e Marconi;
- ha consentito di depurare i rilevamenti radar dagli effetti di mascheramento indotti soprattutto dalla presenza di frammenti, e di produrre una mappa sufficientemente attendibile delle posizioni degli oggetti che hanno dato luogo ai plots, che è risultata diversa da quella dei plots radar.

5. Dal confronto di tale mappa con le posizioni che potevano essere occupate da frammenti del DC9 in caduta libera dopo l'incidente è stato possibile individuare:

- oggetti che ancora sono riconducibili a frammenti del DC9;
- oggetti non riconducibili a frammenti, e quindi attribuibili a velivoli in prossimità del DC9 al momento dell'incidente.

6. Con un approccio analogo a quello utilizzato per l'analisi di secondo livello dei plots successivi all'incidente, sono stati analizzati i plots rilevati nell'ultimo minuto precedente l'incidente, che, come è noto, sono affetti da un rilevante spostamento angolare rispetto alla posizione assunta dal DC9. Prendendo in considerazione alcuni punti caratteristici, si è concluso che l'unico fenomeno che ragionevolmente spiega le anomalie osservate è la presenza di un velivolo a bassa sezione equivalente radar che percorre la stessa rotta del DC9 e i cui echi radar, per quanto non sufficienti a dare di sé un rilevamento specifico, interferiscono con quelli del DC9 e ne causano le alterazioni angolari.

Disponendo quindi della mappa, sufficientemente accurata, degli oggetti non interpretabili come frammenti del DC9, è stato possibile raggruppare tali oggetti in traiettorie, verificando che i parametri cinematici di tali traiettorie (velocità e accelerazione) sono compatibili con quelli di traiettorie di velivoli.

La principale conclusione che si ricava dall'analisi dei dati forniti dal radar di Fiumicino è che con grandissima probabilità almeno tre velivoli si trovavano nelle immediate vicinanze del DC9 prima e dopo l'incidente: a tale conclusione si giunge applicando diversi ed indipendenti criteri. Esiste la possibilità, non escludibile coi soli dati radar, che un ulteriore aereo sia stato coinvolto nell'incidente.

Lo scenario desumibile dalle osservazioni del radar civili situati a Fiumicino, può essere così riassunto:

- Nell'ultima parte del volo il DC9 è affiancato da due velivoli che percorrono una rotta circa parallela a quella del DC9, ad una distanza di circa 30NM a Ovest del DC9; poco prima dell'incidente, i due velivoli compiono una virata verso Est e si separano, percorrendo due traiettorie distinte (separazione fra le traiettorie di circa 1NM). Le due traiettorie convergono su un'unica traiettoria in direzione Est che i due aerei percorrono distanziati di circa 30 s, scomparendo al radar in direzione Est.
- Il DC9 Itavia è seguito, nell'ultima parte del volo, da un velivolo relativamente piccolo, che percorre approssimativamente la stessa rotta del DC9 mantenendosi nella sua "ombra" radar; poco prima del momento dell'incidente, il velivolo in questione compie una virata verso sinistra e quindi scompare al radar in direzione approssimativamente verso Est.

Per quanto riguarda il moto del DC9 e dei suoi frammenti dopo il momento dell'incidente, si possono formulare due scenari alternativi, entrambi compatibili con le osservazioni radar:

1. Il grosso del DC9 compie una stretta virata verso Ovest di circa 270° prima di scomparire al radar e precipitare in mare; nello stesso tempo dal velivolo si staccano parti importanti che precipitano in mare approssimativamente nelle zone di ritrovamento denominate "A" e "C";
2. Il velivolo al momento dell'incidente si separa in frammenti (fusoliera, ali, coda, ecc.) che precipitano seguendo le leggi del moto dei gravi in atmosfera; contemporaneamente un velivolo, che fino al momento dell'incidente si è mantenuto molto vicino al DC9, emerge alla visibilità radar, compiendo quindi una stretta virata verso Ovest di circa 270°, e successivamente scomparendo approssimativamente in direzione Est.

Nel secondo degli scenari sopra delineati non si può escludere che la distanza tra l'aereo, che si è mantenuto molto vicino al DC9, ed il DC9 stesso si sia ridotta, al momento dell'incidente, a valori molto piccoli.

Come ben si nota una descrizione dello scenario aereo totalmente differente dalle prime conclusioni della perizia Misiti, ma non lontana dalle seconde conclusioni, quelle di riserva, ove si ammette la presenza di più aerei, accomunate nelle risposte finali e di cui non viene spiegato se abbiano pari o diverse dignità e valore delle prime.

Queste nello specifico le critiche ai limiti della Relazione peritale d'Ufficio, che nelle note viene definito dal primo firmatario Casarosa C. ed altri. Esse sono altamente specialistiche; ogni passaggio e deduzione appaiono necessari; non ne è perciò possibile la sintesi. Questo il testo:

"Limiti della RPU.

...

2.1 Analisi dell'integratore del radar Marconi.

Il modulo integratore è stato preso in considerazione in varie parti della RPU allo scopo di chiarirne il funzionamento e ricavare dati quantitativi.

L'integratore è descritto sommariamente nella parte V della RPU; se ne riporta lo schema e la sua collocazione nel sistema radar.

Viene anche riportata una valutazione quantitativa di alcune delle caratteristiche dell'integratore, ed in particolare della posizione centrale e dell'estensione azimutale. I risultati di queste analisi sono riportati nella RPU.

Consideriamo tale valutazione molto approssimativa, in quanto:

- assume un modello lineare dell'integratore, e quindi non tiene conto nè della limitazione a 6 bit del segnale all'ingresso dell'integratore stesso, nè della limitazione a 8 bit del segnale che circola all'interno del loop dell'integratore. Tali limitazioni si possono anche desumere dallo schema di Figura 2.7; la prima di queste due limitazioni è infatti rilevata dagli estensori del rapporto, che ne riconoscono l'effetto quando scrivono: "...riducendo la dinamica di ingresso si riduce l'allungamento azimutale dei segnali forti, così da consentirne ancora una conveniente risoluzione azimutale".
- si assume implicitamente un diagramma di irradiazione di antenna di tipo rettangolare, assolutamente non realistico come modello dell'antenna effettivamente utilizzata in pratica.

Va detto che nella RPU si prende in considerazione un diverso modo di procedere, che viene addirittura definito probabilmente più attendibile e che è riportato in dettaglio nell'Allegato C: in questo caso si assume un diagramma di irradiazione di antenna di tipo gaussiano, con apertura a 6 db (two-ways) pari a 2.1° . Anche questo approccio, pur adottando un modello più realistico per il diagramma di irradiazione di antenna, presenta l'inconveniente di essere un approccio lineare, che non tiene cioè conto degli effetti di limitazione sopra citati.

Anche le prove di simulazione effettuate direttamente sull'apparato radar soffrono della limitazione di adottare anch'esse un diagramma di irradiazione di antenna di tipo rettangolare; questo si desume dal modo con cui viene generato il segnale di test all'interno dell'apparato di simulazione dei segnali messo a punto dall'Alenia, il cui schema è stato riportato nell'Allegato A, parte a) (simulatore di bersagli radar, da Alenia S.p.A.).

Pertanto per tutti i risultati desunti da queste simulazioni valgono le seguenti osservazioni:

- si può ritenere che le simulazioni possano essere valide dal punto di vista qualitativo, nel senso che permettono di verificare l'esistenza di fenomeni particolari (quali il blanking o la cattura, ecc.).
- Per quanto riguarda invece i risultati quantitativi, l'utilizzazione degli stessi per l'interpretazione dei dati radar appare discutibile, per i motivi sopra detti, soprattutto per quanto concerne gli aspetti legati alle valutazioni azimutali.

2.2 Valutazione dell'errore azimutale del radar Marconi.

L'aver adottato, per l'analisi del modulo integratore, un modello lineare porta come conseguenza rilevante una sovrastima dell'errore azimutale del radar Marconi.

In particolare, si giunge alla conclusione che ... è da attendersi un errore dell'ordine del grado nell'accuratezza angolare.

Tale valore risulta dalla somma di due termini, citati al capoverso precedente:

- un errore di polarizzazione dovuto all'estrattore che può variare da 0.5° a 0.9° ; viene successivamente adottato il valore di 0.6° come rappresentativo dell'errore di polarizzazione.
- un errore di sensibilità (dovuta al rumore) dell'ordine di 0.2° .

Il primo dei due termini sopra ricordati deriva dall'analisi dell'integratore citata in precedenza; il valore così elevato deriva dal fatto che è stato utilizzato un modello lineare del dispositivo, che non tiene conto degli effetti delle limitazioni.

Una analisi più accurata dell'integratore e dell'estrattore con Moving Window, in grado di tenere in conto anche tutti gli elementi non lineari presenti nel dispositivo è riportata nell'Appendice A da cui si deduce che l'errore di polarizzazione, in assenza di blanking, non supera 0.36 . Per una più completa analisi, nel caso sia presente il blanking, si veda il par. A.3.8. dell'Appendice A.

Con questo nuovo valore, l'errore azimutale del radar Marconi si riduce da circa 1° a circa 0.6° .

Questa sovrastima dell'errore azimutale ha decisive conseguenze sia per quanto riguarda l'interpretazione dell'associazione dei dati relativi ai plots rilevati con le traiettorie di gravi dopo l'incidente, sia per quanto riguarda la giustificazione di alcune conclusioni relative alla traiettoria del DC9 prima dell'incidente. In particolare, viene meno la giustificazione fornita per spiegare l'andamento della figura 5.3.14 (parte terminale della traiettoria prima dell'incidente).

2.3 Mancata utilizzazione di tutte le informazioni disponibili.

Tutta l'analisi dei dati radar sviluppata nella RPU è basata esclusivamente sui dati di azimuth e distanza ricavati dall'estrattore 3 associato al radar Marconi. Solo saltuariamente vengono presi in considerazione anche i dati del radar Selenia (estrattore 4).

Questa scelta è giustificata, con la tesi che gli estrattori 1 e 2 non portano informazioni aggiuntive rispetto agli estrattori 3 e 4, rispettivamente, dal momento che tali estrattori operano sugli stessi segnali e differiscono unicamente per il valore della soglia primaria.

Pur essendo in accordo, in linea generale, con quanto asserito nella RPU si deve osservare però che l'utilizzazione dei dati forniti dagli estrattori 1 e 2 può, in alcuni casi, essere di utile complemento ai dati principali ottenuti dagli altri estrattori al fine di chiarire alcuni aspetti che altrimenti risulterebbero incerti. Basti citare, a titolo di esempio, l'incertezza nell'interpretazione dei plots 2a e 2b successivi all'incidente, relativa al fatto che siano originati dai due target distinti oppure da un singolo target: l'incertezza è giustificata se si osserva solo il risultato fornito dall'estrattore 3. Mentre si supera osservando anche i dati forniti dall'estrattore 1; si tornerà in seguito su questo aspetto.

Nella RPU invece non risulta, come detto, alcuna utilizzazione di tali informazioni aggiuntive.

Inoltre, tra i dati forniti dai vari estrattori radar vi è l'indice di qualità Q. Esso è legato all'estensione E rilevata dalla Moving Window, cioè dal numero di passi di campionamento azimutale per i quali il numero di bit "1" analizzati dalla Moving Window supera un determinato valore detto soglia di qualità". In particolare $Q = E$ se $E < 15$, mentre Q satura a 15 quando $E > 15$.

La scarsa considerazione per questo dato è esplicitamente dichiarata nella RPU ... converrà anche notare la scarsa significatività della qualità.

Sulla base di tale osservazione, l'indice di qualità non viene mai utilizzato nelle analisi e nelle interpretazioni dei rilevamenti radar anche quando il suo valore è minore di 15, e quindi, in assenza di saturazione, può dare informazioni utili ai fini dell'interpretazione dei rilevamenti radar, soprattutto in relazione al fenomeno del blanking.

2.4 Mancata integrazione dei dati Marconi e Selenia.

Non vi è stata alcuna particolare integrazione tra i dati forniti dal radar Marconi e quelli forniti dal radar Selenia, per quanto riguarda in particolare l'interpretazione dei dati dopo l'incidente. E' vero che essi sono per la maggior parte forniti dal radar Marconi, ma vi è anche un numero, sia pur limitato, di dati rilevati dal radar Selenia.

Nella perizia tecnica i dati Selenia vengono utilizzati separatamente da quelli Marconi, senza neppure porsi il problema se alcuni dei rilevamenti possano essere attribuiti agli stessi target, e quindi consentire una più precisa interpretazione dei dati e la formulazione di uno scenario più attendibile.

2.5 Andamento dei tracciati radar prima dell'incidente.

Questo aspetto è trattato, nell'ambito della RPU, in due parti separate:

- la prima parte riguarda tutto il volo fino agli ultimi 600 s esclusi;
- la seconda parte riguarda gli ultimi 600 s.

A questo riguardo, in una precedente memoria, era stata ipotizzata dagli scriventi la presenza di un secondo aereo che percorre una rotta molto vicina a quella del DC9, presumibilmente allo scopo di evitare l'avvistamento radar.

Tale ipotesi nasceva dall'osservazione di due fenomeni:

1. la presenza, intorno alle ore 18.40, di tre plots di solo primario (PR) disposti parallelamente alla traccia del DC9, che a nostro giudizio sono spiegabili solo con la presenza di un secondo oggetto;
2. lo scostamento, durante le ultime 20 battute radar, notevole per ampiezza e per regolarità nel tempo, della traccia rilevata dai radar primari e secondari Marconi (PR+SSR) rispetto a quella rilevata dal radar secondario (SSR) Selenia; l'unico meccanismo che consenta di spiegare tale differenza è la presenza di un oggetto, non attivo per quanto riguarda il transponder (SSR), ma attivo invece per quanto riguarda la riflessione elettromagnetica che interessa il PR, il quale interferisce con la risposta primaria del radar Marconi con qualcuno dei meccanismi noti (cattura di traccia oppure blanking).

Questi aspetti vengono, in realtà, presi in considerazione nella RPU, ma sono sbrigativamente liquidati con giustificazioni che ci appaiono molto deboli e superficiali.

2.5.1 Traccia parallela di soli PR intorno alle 18.40.

Nella RPU i tre plots suddetti sono spiegati con il fenomeno dello splitting in distanza, in presenza di echi molto forti. A supporto di tale interpretazione viene riportata nell'allegato M una descrizione dettagliata della catena di amplificazione del radar e viene individuato nel cosiddetto "compensation amplifier" il responsabile di tale fenomeno.

Nell'allegato M si giustifica la possibilità di avere allungamenti di circa 12 μ s (corrispondenti a 1NM), mentre le differenze in range, nel caso in esame, sono di 1.13, 1.18 e 1.13NM che corrispondono a 14, 14.6 e 14

μ s, significativamente superiori quindi al limite indicato nello stesso allegato.

Per giustificare l'evidente incongruenza fra il testo della RPU e il contenuto dell'Allegato M, si afferma che: “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 affermazione del genere, senza supporti documentati, non appare a nostro giudizio sufficiente, nè è detto in alcuna parte della RPU con quale criterio sono state fissate le soglie per il cosiddetto “test di splitting” che viene peraltro citato; tali soglie si ricavano dalla “flow chart” di Fig.6.1, e sono pari a 0.9 e 1.36NM e, alla luce di quanto detto in precedenza, sono prive di fondamento. Pertanto anche i risultati del test di splitting non sono accettabili.

A ulteriore riprova del fatto che, nell'intorno dei punti considerati, i tracciati radar del DC9 non possono essere ritenuti “regolari”, vanno tenuti presenti i seguenti ulteriori elementi:

-Accanto ai tre plots sopra citati, vi sono, dopo 28s e 85s, altri due plots isolati di solo primario nelle immediate vicinanze della traccia del DC9.

-Alle battute -1 e -3 rispetto al primo dei tre plots in questione si verificano due casi di separazione fra rilevamento primario e secondario; le differenze azimutali fra i due rilevamenti sono 1.13° e 0.43° , mentre le differenze in range sono rispettivamente 0NM e 0.07NM.

-Esaminando il corrispondente tratto del tracciato radar Selenia, si osservano, sempre nell'intorno del periodo in cui si sono verificate le anomalie sopra rilevate per il Marconi, fenomeni di sdoppiamento dei rilevamenti SSR; in altre parole, accanto ad un rilevamento regolare (PR+SSR) si trova, con lo stesso range e con lo stesso codice di risposta SSR, un rilevamento di solo SSR con differente coordinata azimutale.

Queste anomalie non sono nè poste in evidenza nè tanto meno giustificate nella RPU e richiederebbero ulteriori approfondimenti in relazione al mixing dei dati fra PR e SSR che si ha quando entrambe le risposte sono presenti.

In ogni caso le conclusioni a cui perviene la RPU:

“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 immettono (sic!) sulla traccia del DC9 I-Tigi, al fine di averne copertura radar”

necessitano di una profonda revisione.

2.5.2 Anomalie dei rilevamenti PR+SSR Marconi nella fase terminale del volo.

Nella RPU viene riconosciuto il valore particolarmente elevato (1.05°) dello scostamento in azimut fra plot PR+SSR e SSR temporalmente adiacenti. Si tenta tuttavia di far rientrare tale fenomeno nella normalità facendo ricorso al decremento medio dell'angolo osservato al diminuire della sezione equivalente radar del bersaglio (errore di polarizzazione).

Tuttavia l'entità adottata (0.6°), che peraltro neppure riesce a giustificare l'entità dello scostamento (si giustificherebbe, secondo le valutazioni contenute nella RPU uno scostamento di 0.9° contro uno scostamento misurato di 1.05°), deriva dall'analisi errata dell'integratore incluso nel processore radar Marconi.

Tale analisi, per quanto detto più volte in precedenza, avendo assunta la linearità del modello, porta ad una sovrastima dello scostamento azimutale dovuto all'integratore.

Se si sostituisce il valore di 0.6° con quello più corretto di circa 0.36° si ottiene uno scostamento massimo ammissibile di circa 0.7° assolutamente insufficiente per spiegare gli scostamenti azimutali misurati.

Questo solo fatto è sufficiente per ritenere non giustificata l'interpretazione data nella RPU alle anomalie dei rilevamenti in questione.

2.6 Determinazione della posizione spaziale del velivolo nel momento dell'incidente.

La determinazione del punto in cui si è verificato l'incidente è di cruciale importanza per l'interpretazione dei plots successivi, in quanto tale punto finale viene assunto come punto di inizio delle rotture dell'aereo e quindi delle traiettorie dei gravi in caduta libera utilizzate per la modellizzazione del moto dei frammenti; esso in sostanza rappresenta il raccordo fra due tipi di osservazioni molto diverse (radar da un lato, relitti ritrovati dall'altro).

D'altra parte la corretta definizione dello scenario radar al momento dell'incidente nasce evidentemente dal confronto di queste due serie di osservazioni; riveste quindi particolare importanza la verifica del loro accordo. Inoltre, data la diversa scala di distanze su cui si opera (centinaia di km per il radar, unità o frazioni di km per i ritrovamenti), appare essenziale la precisione con cui si perviene a tali determinazioni.

Come vedremo più oltre, nella RPU vengono invece introdotte drastiche approssimazioni, che unite a scelte metodologiche discutibili, rendono il grado di affidabilità della ricostruzione proposta nella RPU assolutamente insufficiente, tenuto conto della criticità di questo aspetto sopra evidenziata.

Il procedimento con cui si giunge, alla determinazione della posizione spaziale del velivolo nel momento dell'incidente è articolato nei seguenti passi logici:

- viene effettuata anzitutto una regressione lineare dei dati radar (azimuth e range) relativi agli ultimi 180 s prima dell'incidente. Sulla base di tale regressione viene determinata una stima delle coordinate radar del velivolo in corrispondenza all'ultimo rilevamento PR+SSR.
- la posizione precedentemente individuata viene quindi convertita in coordinate geografiche (latitudine e longitudine), assumendo che i radar Marconi e Selenia fossero orientati rispetto al Nord geografico.
- viene quindi effettuata una verifica dell'orientamento dell'antenna del radar Marconi confrontando i rilevamenti radar attribuibili al sole al tramonto con le coordinate del sole stesso riferite al Nord geografico, e si scopre un disallineamento di circa 2.25° . Viene quindi applicata tale correzione alla stima precedentemente valutata e quindi si perviene alla stima definitiva del punto finale.

Ciascuno di tali passi si presta a rilievi e osservazioni critiche. In particolare:

a) Regressione sui dati di azimuth e range.

Questo approccio è giustificato dal fatto di aver ritenuto che gli andamenti in questione (azimuth-tempo, distanza-tempo) possono essere ben approssimati con leggi lineari.

Ora, si può concordare con l'assunzione che la rotta di un aereo in volo di crociera sia approssimabile con una traiettoria rettilinea a velocità costante (si ricordi che le aerovie di norma seguite dagli aerei sono costituite da segmenti di traiettorie rettilinee).

Tale approssimazione si traduce nel fatto che le equazioni che descrivono le componenti del moto in coordinate cartesiane ortogonali sono approssimabili mediante le forme lineari:

$$x(t) = x_0 + v_x t \qquad y(t) = y_0 + v_y t$$

Trasportando tuttavia tali forme lineari in coordinate polari (quali quelle adottate nel caso del radar), si ottengono le forme:

$$R(t) = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + (v_x^2 + v_y^2)t^2 + 2(v_x x_0 + v_y y_0)t}$$

$$\theta(t) = \arctg \frac{y_0 + v_y t}{x_0 + v_x t}$$

che non sono più lineari in t e non giustificano quindi l'adozione della regressione lineare sulle grandezze range $R(t)$ e azimuth $\theta(t)$.

L'adozione di un modello lineare per l'andamento temporale del range e dell'azimuth introduce quindi una approssimazione che poteva essere del tutto eliminata se, invece di procedere prima alla regressione e

quindi alla conversione in coordinate geografiche, si fossero in primo luogo convertiti tutti i dati radar in coordinate geografiche e successivamente si fosse effettuata la regressione.

b) Andamento azimuth-tempo per il radar Marconi.

E' noto che la regressione lineare è in grado di ridurre gli effetti di fluttuazioni aleatorie a valore medio nullo. Nel caso invece dell'andamento azimuth-tempo per il radar Marconi (estrattore 3) si è in presenza di un disturbo aggiuntivo (lo spostamento dovuto all'integratore) che è funzione del livello del segnale ricevuto e che, assumendo un corretto allineamento del radar per segnali forti, risulta a valore medio sempre negativo.

La presenza di un tale fenomeno, proprio nell'intervallo temporale sopra considerato ai fini della regressione, è stato notato in altra parte della RPU, dove si afferma che "una diminuzione di S/N che porti al limite di visibilità del radar comporta un decremento medio dell'angolo osservato di circa 0.6° ", anche se viene utilizzato un valore che, essendo ricavato con una procedura di analisi approssimata (vedi sopra), appare quanto mai sovrastimato.

Pertanto, a causa d'errore di polarizzazione, l'utilizzazione dei rilevamenti azimutali Marconi per determinare la posizione terminale del velivolo, senza preoccuparsi di depurare i dati di partenza di tale effetto aggiuntivo, appare quanto mai discutibile.

c) Conversione in coordinate geografiche.

Il procedimento adottato per la conversione da coordinate polari riferite al centro radar a coordinate geografiche è molto approssimato; non si comprende la necessità di introdurre queste ulteriori approssimazioni quando erano disponibili gli strumenti concettuali e di calcolo per effettuare tali conversioni in maniera più accurata, come peraltro dimostrato nell'Allegato H alla RPU.

d) Valutazione dell'orientamento dell'antenna.

Come già accennato in precedenza, la valutazione dell'antenna Marconi rispetto al Nord geografico è stata basata sul confronto fra i rilevamenti dei disturbi originati dal sole e l'azimuth del sole al tramonto desunto da dati astronomici.

Va tuttavia osservato che i rilevamenti (falsi plot) dovuti al sole sono in realtà dovuti ad un incremento del rumore di antenna, e sono comunque sempre associati a livelli di segnale molto bassi. Ciò può essere facilmente verificato osservando che una gran parte dei plots utilizzati a questo scopo presenta un indice di qualità inferiore a 15.

Ora, è stato più volte detto che bassi livelli di segnale comportano, per effetto dell'integratore nel caso del radar Marconi, una variazione

dell'azimuth misurato; di tale errore di polarizzazione non si è tuttavia tenuto conto nella stima della correzione angolare da apportare ai dati.

Per tutte queste ragioni la determinazione del punto finale della traiettoria del DC9 appare assai poco affidabile e pertanto tutte le considerazioni svolte nel Cap.9 della RPU per stabilire corrispondenze fra plots e relitti, basate sul punto P_M stimato con la metodologia sopra esposta, richiedono una radicale revisione.

2.7 Corrispondenza plot-relitti dopo l'incidente.

Nel seguito vengono messe in evidenza alcune incongruenze che si possono rilevare nel processo di corrispondenza plot-relitti descritto nel par.9.5 della RPU, e che rappresenta peraltro uno degli elementi decisivi per le conclusioni di quella parte della perizia.

Va osservato che le considerazioni svolte nel seguito prescindono dal problema della determinazione della parte terminale della traiettoria del velivolo prima dell'incidente, sul quale ci si è soffermati nel paragrafo precedente.

La metodologia di analisi, utilizzata nella RPU prevede (al punto 5) il confronto degli errori azimutali con quelli valutati teoricamente in 5.1 (e confortati dalle indagini sperimentali: errore di circa 1°).

Gli errori azimutali osservati nascono dal confronto fra i rilevamenti radar e le ipotizzate traiettorie di caduta dei potenziali relitti. Per quanto riguarda le traiettorie utilizzate, si possono formulare alcune osservazioni.

Va osservato preliminarmente che le condizioni atmosferiche e la collocazione dell'incidente devono avere una determinazione univoca, ancorchè conoscibile solo per via induttiva: non è logicamente e scientificamente ammissibile utilizzare una serie di dati per spiegare i ritrovamenti in fondo al mare ed un'altra per tentare di far quadrare i dati radar.

a) Un elemento importante per la determinazione delle traiettorie è l'andamento del vento (direzione e velocità) in funzione della quota a partire dal punto dell'incidente. Su questo tema esiste una certa confusione in tutta la RPU: nelle varie parti della RPU vengono infatti utilizzati valori diversi.

Nel descrivere le condizioni meteorologiche si dice che il vento ha velocità di 100 nodi (51m/s); notando quindi che esiste una discrepanza tra questi dati e quelli misurati al livello del mare si introduce una nuova serie di dati, che vengono utilizzati nel calcolo delle traiettorie di caduta, per giustificare la posizione di rinvenimento dei relitti.

L'uso di questi dati è validato dal buon risultato ottenuto nel riprodurre la localizzazione dei relitti in fondo al mare.

Quando invece si deve giustificare la corrispondenza tra traiettorie e dati radar si ricorre ad un insieme diverso di dati. E' vero che nello stesso punto si osserva la scarsa importanza della intensità (velocità) del vento ma non si capisce allora perchè non siano stati utilizzati gli stessi dati.

Analoga affermazione è fatta riguardo a diversi possibili andamenti in direzione; per la verità, esaminando la Figura 9.1.1 (punti rappresentati con cerchi) si nota che si sono assunti, per l'azimuth i valori della precedente tabella: questa mescolanza tra le due serie di dati non è dichiarata nel testo, nè tanto meno motivata e appare incomprensibile oltre che ingiustificabile.

b) Anche per quanto riguarda la quota di volo al momento dell'incidente, nel giustificare la posizione dei relitti si utilizza il dato rilevabile dal registratore dei dati di volo (FDR) cioè 7600m e non quella fornita dal transponder che è di 7500m. Poche pagine dopo però le condizioni iniziali vengono definite con una quota di volo di 7700m. Questo ultimo risulta essere poi il punto di partenza delle simulazioni utilizzate per giustificare i plots radar.

c) Un altro elemento importante è il punto di inizio delle traiettorie. A questo proposito va notato un fatto rilevante e, ad avviso degli scriventi, anche grave; dopo aver discusso nella parte IV della RPU la localizzazione probabile dell'incidente sulla base di una definita dinamica di rottura e della collocazione del relitti ed aver concluso che il punto dell'incidente non coincide con l'ultima risposta del transponder nella parte V tale discussione è totalmente ignorata e si assume come punto iniziale della frammentazione l'ultima risposta del transponder. Come si può notare dalla Figura sopra citata la distanza tra questi due punti è di circa 1km.

Questa diversità di scelta non è in alcun modo motivata. Non si può non rilevare che questo comportamento rischia di trarre in inganno chi legga la relazione senza approfondirne i dettagli.

A proposito del confronto tra rilevamenti radar e le traiettorie di caduta, per comodità di lettura, nella tabella che segue sono riportati, per ciascun plot, gli errori azimutali rispetto ai potenziali relitti che possono essere interpretati come originatori di tali plot; i dati sono ricavati dalle figure allegate al Cap.9, scegliendo, nel caso il cui un plot sia considerato più volte, la situazione che fornisce l'errore minore; per ogni plot la Figura utilizzata è citata nella tabella.

Plot	Errore azimut.°	Figura
1	+0.8	9.5.1
2a	-0.3	9.5.1
2b	-1.8	9.5.1

3	+0.5	9.5.1
4	+0.2	9.5.1
5	-0.9	9.5.1
6	+0.3	9.5.1
7	-0.6	9.5.1
8a	+0.65	9.5.11
8b	-0.56	9.5.9
9a	+1.1	9.5.10
9b	-1.04	9.5.3
10	-1.02	9.5.3
11	-1.	9.5.3
12	+1.36	9.5.12
13a	+0.6	9.5.13
13b	-0.7	9.5.3
15	-0.04	9.5.3
16	-0.38	9.5.3
17	-0.26	9.5.5
18	-0.15	9.5.3
19	+0.68	9.5.12
20	-0.04	9.5.9
21	-0.28	9.5.5
22	-0.08	9.5.9
23	+0.32	9.5.9
24	-0.25	9.5.5
25	-0.48	9.5.5
26	+0.06	9.5.11
27	+0.12	9.5.5
28	+0.42	9.5.10
29	-0.04	9.5.7
30	+0.36	9.5.10
31	-0.35	9.5.7

Si possono allora fare i seguenti rilievi:

a) Nel par.9.5 si legge: “In particolare si è notata la buona corrispondenza per i primi 8 plots.”

Non si capisce come tale affermazione si concili con un errore di -1.8° rilevato per il plot 2b, a fronte di un limite teorico di 1° .

b) Il par.9.6 è dedicato all'interpretazione dei cosiddetti plots singolari, che, secondo quanto affermato nell'ultimo capoverso del par.9.5, mostrano errori angolari rilevanti. Tali plots sono quelli indicati dai numeri 1, 2b, 8a,

9a, 12, 13a, e 19; ciò è in netto contrasto con la buona corrispondenza precedentemente citata, perlomeno per quanto riguarda i primi tre plots.

c) In particolare viene affermato che i plots 8a, 9a, 12, 13a e 19 appaiono essere ai limiti della tolleranza azimutale. Da questo si potrebbe dedurre che il limite superiore della tolleranza azimutale considerato nella RPU ai fini di ulteriori indagini è rappresentato dal minimo valore di errore azimutale riscontrato fra i plots citati, e cioè $+0.6^\circ$ (plot 13a).

Nulla viene detto in relazione al limite inferiore; tuttavia il fatto che non vengano presi in considerazione i plots 5, 9b, 10, 11 (che presentano errori di segno negativo con valori assoluti superiori al limite precedentemente trovato) fa supporre che il limite inferiore sia implicitamente assunto pari a -1.04° .

Sembrerebbe quindi che la fascia di tolleranza considerata ai fini dell'attribuzione sia asimmetrica rispetto allo zero; tuttavia nessuna giustificazione per tale asimmetria appare emergere dalla lettura della perizia.

d) Per giustificare la corrispondenza plots-relitti, nella RPU si giunge alla conclusione che la separazione dei vari relitti è avvenuta in varie fasi; infatti nel cap.10 si legge, al punto 3: "... la durata connessa alla separazione dei vari pezzi significativi dal punto di vista radar potrebbe essere avvenuta in una decina di secondi."

Sembra quindi che, in relazione alle modalità di separazione di pezzi successivi, venga accettata la modalità b) descritta al termine del par. 9.2 con la seguente dizione: "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".

Secondo la RPU, anche i rilevamenti del radar Selenia avvalorerebbero tale ipotesi, come affermato al capoverso 7 del par.9.7. In effetti, l'unica condizione riportata nella perizia che giustifica il plot 31 è quella della Figura 9.5.7, che si riferisce ad una separazione dopo 15s.

Se tale modello è valido per spiegare i plots finali, ci si pone il problema di dove sia caduto il grosso del velivolo, dopo aver proceduto per circa 10 s sulla rotta originaria del DC9. Dall'esame della Figura 9.5.6, relativa al caso di separazione dopo 10 s, si rileva che l'unica curva che termina in prossimità di una delle zone dove sono state ritrovate parti di dimensioni rilevanti è la curva con $R = 80$, che termina in prossimità della zona "A", zona di ritrovamento della coda dell'aereo.

Ora, assumere che la coda possa essere il grosso dell'aereo previsto dal modello, e soprattutto che sia in grado di continuare per circa 10 s dopo la separazione dal resto del velivolo in volo livellato o quasi, esigerebbe una qualche ulteriore e più ampia spiegazione.

2.8 Interpretazione dei plots -17 e -12.

Esporremo ora alcuni rilievi ed osservazioni relative al cap. 9.8 (dal titolo I plots -17 e -12) nella quale vengono analizzati i due plots precedenti l'incidente.

Nella RPU viene anche avanzata l'ipotesi che i plots in questione siano interpretabili come echi di seconda traccia relativi all'aereo Air Malta (Boeing 707) che in quel momento si trovava a Sud della Sicilia; tale ipotesi è discussa in dettaglio nell'Allegato O. L'inconsistenza di tale ipotesi è dimostrata nell'Allegato B di questa relazione, a cui si rimanda per i dettagli.

Il problema specifico considerato nella RPU riguarda le possibili interpretazioni dei plots rilevati dal radar Marconi (solo primario) in corrispondenza dei plots -17 e -12 (l'origine del conteggio è posta in corrispondenza dell'ultima risposta del transponder del DC9 I-Tigi), plots che si presentano ad Ovest della traiettoria del DC9 stesso.

In particolare, l'analisi tende a confrontare due ipotesi alternative, e cioè:

- i plots suddetti sono attribuibili a cosiddetti falsi allarmi, dovuti essenzialmente a picchi di rumore, e non corrispondono ad un aereo in prossimità del DC9;
- i plots suddetti sono invece attribuibili alla presenza di un oggetto che si trova in prossimità del DC9.

Il procedimento seguito è quello classico del test di ipotesi sulla base della probabilità a posteriori. In altre parole, una volta definito l'evento osservato, che nel nostro caso sono i plots -17 e -12, e formulate le possibili ipotesi in relazione alle cause che lo hanno provocato, si calcolano le probabilità a posteriori associate alle varie ipotesi, assumendo come condizione che l'evento osservato si sia verificato; verrà infine assunta, come ipotesi più probabile sulla causa dell'evento, quella che presenta la massima probabilità a posteriori.

Il calcolo delle probabilità a posteriori viene effettuato utilizzando il teorema di Bayes sulla probabilità delle ipotesi, che consente di esprimere tale probabilità in funzione della probabilità condizionata a priori, che è la probabilità che le varie ipotesi hanno di causare l'evento osservato e delle probabilità incondizionate, che sono le probabilità associate alle varie ipotesi, prima del verificarsi dell'evento.

Tale teorema è ricordato nella perizia con la formula (9.8.1), limitatamente al calcolo della probabilità a posteriori $P(A|V_i)$ che l'aereo sia presente essendosi verificato l'evento; tale probabilità risulta essere funzione delle seguenti grandezze:

- $P(V_i|A)$: probabilità a priori che si verifichi l'evento osservato, condizionata all'ipotesi “aereo presente”;
- $P(V_i|O)$: probabilità a priori che si verifichi l'evento osservato, condizionata all'ipotesi “aereo assente”;
- $P(A)$: probabilità incondizionata associata all'ipotesi “aereo presente”;
- $P(O)$: probabilità incondizionata associata all'ipotesi “aereo assente”.

Viene inoltre introdotto, per comodità di calcolo, il cosiddetto “rapporto di verosimiglianza” (formula 9.8.2) come rapporto fra le due probabilità a priori sopra definite.

La corretta applicazione del teorema di Bayes richiede che tutte le varie probabilità, ed in particolare le probabilità condizionate a priori, siano calcolate utilizzando lo stesso spazio campione degli eventi.

Tale regola tuttavia non è rispettata nello sviluppo dei calcoli presentato nella relazione. Infatti si osserva che:

- per il calcolo delle probabilità a priori condizionate dall'ipotesi “aereo presente” (espressioni 9.8.3 e 9.8.13 della perizia) si considera uno spazio campione costituito da una sola cella di risoluzione radar per ognuna delle 20 scansioni prese in esame;
- invece per il calcolo delle probabilità a priori condizionate dall'ipotesi “aereo assente” (espressioni finali 9.8. 11 e seconda di pag.V-117) si utilizza un numero di celle di gran lunga superiore, variabile da scansione a scansione secondo la relazione 9.8.10.

Le valutazioni probabilistiche contenute in questa parte della perizia risultano pertanto viziate da una non corretta impostazione metodologica e quindi richiedono una radicale revisione.

A indurre in tale errore ha contribuito molto probabilmente la definizione di osservazione utilizzata in tali valutazioni. Va osservato, a tale proposito, come appaia sorprendente che di un evento osservato (e quindi certo, in quanto risultato di un esperimento o di una misurazione) si possano dare più definizioni, come è proposto nella perizia: vengono infatti formulate ben tre definizioni dell'evento, identificate come eventi V_1 V_2 e V_3 .

Su due di tali definizioni (V_1 e V_2) occorre avanzare serie riserve sul piano metodologico.

Per quanto riguarda la definizione V_1 , essa definisce l'osservazione (e cioè i rilevamenti -17 e -12) come “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.”

Tale definizione appare immediatamente molto vaga e imprecisa, in quanto non si comprende come si possano classificare come due plots

qualsiasi i rilevamenti -17 e -12 perfettamente identificati nel tempo e nello spazio.

Il suo significato si chiarisce analizzando il modo con cui vengono successivamente sviluppati i calcoli. Infatti, per il calcolo della probabilità condizionata $P(V_1|A)$ (probabilità che si verifichi l'evento osservato sotto la condizione "aereo presente") si prendono in considerazione tutte le possibili disposizioni di due plots (rilevamenti) su n scansioni (quando invece l'osservazione consiste in due rilevamenti posizionati alle battute -17 e -12). Inoltre, per il calcolo della probabilità condizionata $P(V_1|O)$ (probabilità che si verifichi l'evento osservato sotto la condizione "aereo assente") si prendono in considerazione, per ogni scansione radar, tutte le celle di risoluzione che soddisfano a certe condizioni di congruenza con la posizione del DC9; si calcola quindi, per ciascuna di esse, la probabilità che vi sia un falso allarme e si sommano tutte le probabilità così ottenute. In altre parole viene calcolata la probabilità che vi sia un falso allarme nella cella 1 oppure nella cella 2 oppure nella cella 3, ecc.

Da quanto sopra si deduce che l'evento osservato viene definito come unione di più eventi. Ma ciò è in aperto contrasto con il fatto che l'osservazione, in quanto tale, è perfettamente identificata nel tempo e nello spazio, e non può essere trattata come una fra tante alternative possibili (come è implicato dal concetto di unione di eventi).

Per la definizione V_2 valgono gli stessi rilievi sul piano metodologico. Anche se la definizione corrispondente è ancora più vaga della precedente, l'analisi dei calcoli successivi porta alla stessa conclusione, almeno per quanto riguarda la valutazione della probabilità condizionata $P(V_2|O)$: anche in questo caso l'osservazione viene definita come unione fra più eventi, e pertanto valgono le critiche già espresse al riguardo della definizione V_1 .

L'unica definizione che, pur nella sua vaghezza, sembra essere intrinsecamente coerente è quella identificata come V_3 , nella quale si fa riferimento a due plots allocati in modo specifico, nello spazio e nel tempo. Purtroppo però, tale definizione non viene considerata nel seguito, adducendo a giustificazione che "per ragioni semplificative vengono riassunte solamente le valutazioni relative alle osservazioni V_1 e V_2 ."

Il fatto che tale definizione non venga affatto considerata appare quanto meno sorprendente, se non sospetto.

Infine, nell'allegato C della RPU, a partire da pag.C.15, viene presentato un approccio differente al problema dell'interpretazione dei plots -17 e -12, in quanto è basato sulla valutazione della probabilità che sia presente un aereo la cui traiettoria interferisce con il DC9.

In questa parte dello studio i calcoli sono svolti in modo formalmente correttissimo (a differenza di quanto avviene nella parte principale della RPU). Tuttavia non è corretto il modo con cui viene formalizzato nel modello di studio il requisito di coinvolgimento nell'incidente; infatti si tiene conto di un solo "punto di interesse" (l'ultimo rilevamento radar completo del DC9), come se l'unica situazione capace di rappresentare il coinvolgimento di un aereo estraneo nell'incidente fosse la compresenza dell'aereo nella stessa cella di risoluzione del DC9 nello stesso istante di tempo.

In realtà il numero K di "celle di interesse" è sicuramente maggiore; per comprendere ciò basta considerare i due modi pensabili di coinvolgimento di un aereo estraneo nell'incidente del DC9 (collisione oppure attacco missilistico). Di conseguenza la probabilità incondizionata utilizzata nella valutazione finale non è corretta e quindi anche in questo caso il risultato finale (ipotesi di presenza di un aereo scartata) non appare accettabile.

A conferma, sia pure parziale, che le metodologie di analisi utilizzate nella RPU per l'interpretazione dei plots -17 e -12 non sono corrette, basti osservare che, applicando tali metodologie ai dati radar ottenuti durante l'esperimento condotto il 30 aprile 85, ed in particolare ai rilevamenti osservati durante il cosiddetto "Primo intercettamento" (svoltosi dalle 17h46'50" alle 17h50'47") si ricaverebbe che la probabilità della presenza di un secondo aereo sarebbe trascurabile.

Pertanto, per tutte le ragioni sopra esposte, la procedura seguita nella RPU per la valutazione delle probabilità a priori sembra affetta da decisivi errori di metodo e pertanto i risultati che se ne deducono sono privi di ogni significato.

Questa la parte di critica. Nelle pagine a seguire la parte costruttiva del documento.

I consulenti affrontano in primo luogo la questione dei plots -17 e -12 "di particolare importanza ai fini della costruzione dello scenario". Queste le conclusioni, a seguito di premessa metodologica, esame limitato ad un plot isolato; analisi della coppia di rilevamenti -17 e -12 con calcolo di $P(V|A)$, calcolo di $P(V|O)$ e valutazioni conclusive, approccio alternativo secondo l'allegato C della RPU:

- la revisione critica a cui è stata sottoposta la RPU in relazione all'analisi dei rilevamenti -17 e -12 ha mostrato errori non trascurabili di impostazione e di metodo per quanto riguarda il calcolo delle probabilità a priori utilizzate per il confronto (in senso statistico) fra le due ipotesi alternative "aereo presente" e "aereo assente".

- Rifacendo i calcoli utilizzando la procedura corretta si ottengono valori del rapporto di verosimiglianza di gran lunga superiori a quelli ottenuti nella RPU.
- Applicando la stessa procedura utilizzata nella RPU si deve concludere che l'ipotesi che a determinare la coppia di punti (-17, -12) sia stato un oggetto reale, sia pure con modesta sezione equivalente radar, deve essere accettata.
- Anche la procedura alternativa suggerita nell'Allegato C deve essere opportunamente rivista, soprattutto in relazione alla definizione corretta dell'ipotesi da verificare; apportando tali revisioni, si giunge a conclusioni analoghe a quelle precedenti, e cioè che l'ipotesi più probabile è quella della presenza di un aereo coinvolto nell'incidente.
- Pertanto la parte del Cap.10 (Conclusioni) della RPU relativa a questo particolare aspetto deve essere modificata; in particolare la frase: “La probabilità che data l'osservazione sia assente l'aereo è risultata in ogni caso superiore a quella di presenza dell'aereo stesso. Pertanto è possibile concludere che i plots di cui sopra sono falsi allarmi.”, non è accettabile e deve essere sostituita con la seguente: “La probabilità che data l'osservazione sia presente l'aereo è risultata, per un significativo campo di valori della probabilità di rivelazione, superiore a quella di assenza di aereo. Pertanto è possibile concludere che i plots di cui sopra sono da attribuirsi alla presenza di un aereo sia pure con modesta sezione equivalente radar.”
- L'attribuzione dei plots -17 e -12 ad un aereo fa sì che l'ipotesi che l'insieme dei plots -17, -12, 2b, 8a, 9a, 12, 13a e 19 siano interpretabili come traiettoria di un aereo di bassa cross-section risulti ulteriormente rafforzata.

Poichè a supporto di tale ipotesi vanno anche gli elementi citati nelle stesse conclusioni, e cioè le sperimentazioni fatte nel 1985 e il ritrovamento nell'area “D” di un serbatoio supplementare di caccia, la necessità di altre evidenze menzionata nelle conclusioni sembra venire meno e quindi tale ipotesi deve essere accettata.

Queste conclusioni, chiare e nette, non più contestate con serie argomentazioni, devono stimarsi attendibili, e di sommo rilievo ai fini di una ricostruzione dello scenario radar.

Il capitolo successivo è dedicato alla posizione del velivolo nel momento dell'incidente, altra questione di fondamentale importanza, sulla quale sin qui nè periti nè consulenti mostrano di avere posizioni chiare.

Questo il confronto tra risultati dei consulenti e quelli esposti nella Misiti.

“Facendo riferimento ai dati del radar Marconi, dopo aver discusso le necessarie correzioni, il punto corrispondente all'ultimo segnale del transponder di bordo viene localizzato alle coordinate 39°44'01" Nord, 13°00'56" Est. Le coordinate di questo punto, denominato 0, sono citate più volte nella RPU. Lo stesso punto è invece indicato nel cap. V come punto P_M. Si rileva inoltre, come in altra parte della RPU si attribuisca allo stesso punto la longitudine 13°01'41" Est: sembrerebbe trattarsi di una svista oppure gli scriventi non hanno compreso a cosa i PUF si riferissero in tale passaggio.

Varie curve di dispersione dei frammenti, diverse l'una dall'altra vengono riportate nella RPU e non sempre è chiara l'origine della differenza. La figura IV53 della RPU è ad esempio diversa dalla III-8 (nè basta a spiegare la differenza il modesto cambiamento della quota iniziale: da 7500 a 7600m, o anche, inspiegabilmente, a 7700m), così come è diversa dalle Fig. 9.1.2, 9.1.3, 9.1.4 e 9.1.5, calcolate tutte a partire da condizioni di vento leggermente diverse, ciò nonostante l'influenza delle diverse distribuzioni di vento, a detta dei PUF, non debba ritenersi influente.

Nella RPU, partendo dalla constatazione precedente, viene individuato un punto probabile dell'incidente tale da riprodurre una curva di dispersione in mare corrispondente a quella effettivamente riscontrata; il risultato ottenuto a partire da questo nuovo punto è presentato nella figura IV-54 ed in quelle che da questa discendono (il nuovo punto è indicato in queste figure come 0'). Le coordinate del punto probabile dell'incidente sono determinate come 39°43'32" Nord e 13°00'34" Est, sicchè esso si colloca a SSW dell'ultimo transponder.

La situazione è riassunta nella tabella che segue. Il punto stimato con il procedimento presentato in questa relazione è identificato con X.

Punto	Lat. N	Long. E
X (presente relaz.)	39°43'32"	13°00'46"
0 (ult. transponder, RPU)	39°44'01"	13°00'56"
0' (dai relitti, RPU)	39°43'32"	13°00'34"

Tale situazione è rappresentata nella figura 4.4.

Si nota una buona corrispondenza fra il punto X e il punto 0' ricavato nella RPU. Il punto 0 invece risente di tutte le approssimazioni adottate nell'elaborazione dei dati radar.

Si può quindi concludere che, a differenza di quanto esposto nella RPU, la corretta elaborazione dei dati radar permette di ottenere una localizzazione del punto dell'incidente perfettamente congruente con le

stime che si ricavano a partire dai ritrovamenti dei relitti, sulla base delle leggi del moto dei gravi in atmosfera.

Quindi l'individuazione della sequenza principale di rottura.

“Una volta individuato il punto in cui perfettamente è avvenuto l'evento che ha provocato l'incidente, si può tentare di individuare la sequenza principale di rottura, cioè la successione con cui gli elementi più importanti (ali, coda, ecc.) si sono separati.

Ciò è possibile costruendo le curve delle origini a partire dai punti corrispondenti ai ritrovamenti delle parti principali, e confrontandole con la retta di regressione M2 che, come è stato detto in precedenza, rappresenta la più probabile traiettoria del velivolo nell'intorno del punto dell'incidente.

Sono stati considerati i seguenti elementi:

- le ali e il carrello, ritrovati in zona C, lungo la fascia che si distende in direzione Est-Ovest; sono stati presi in considerazione due punti, entrambi a latitudine $39^{\circ}42'32''$ Nord, il primo con longitudine $13^{\circ}02'20''$ Est, il secondo con longitudine $13^{\circ}02'50''$ Est.
- La coda, rinvenuta in zona A; si è assunto un punto di coordinate $39^{\circ}42'58''$ Nord, $13^{\circ}04'52''$ Est.
- Il tip dell'ala sinistra, rinvenuto in zona H; si è assunto un punto di coordinate $39^{\circ}42'58''$ Nord, $13^{\circ}06'32''$ Est.

Le curve delle origini relative a tali punti sono mostrate nella figura 4.5..

Chiaramente i punti considerati sono i punti di ritrovamento dei relitti sul fondo del mare; identificare tali punti con i corrispondenti punti di impatto sulla superficie del mare significa assumere che non vi siano stati fenomeni di galleggiamento o di correnti che abbiano potuto significativamente operare delle traslazioni dei relitti durante l'affondamento. Questo aspetto potrà essere rivisto successivamente, alla luce di una analisi più approfondita.

Si possono trarre le seguenti conclusioni provvisorie:

1. Il tip alare e la coda si sono separati dal resto dell'aereo praticamente nello stesso tempo (si veda l'intersezione delle corrispondenti curve delle origini con la retta di regressione M2), circa 2 s dopo l'evento che ha prodotto la separazione dei motori.
2. Le curve delle origini relative alle ali e al carrello, invece, intersecano la curva M2 in punti che appaiono precedenti l'evento che ha prodotto la separazione dei motori. Questa incongruenza può essere spiegata unicamente dal fatto che queste parti del velivolo non hanno seguito, all'inizio, le leggi di caduta dei gravi nell'atmosfera, probabilmente a causa di una residua capacità di veleggiamento. Pertanto, occorrerà individuare

per altra via la possibile traiettoria di caduta delle ali e della parte principale della fusoliera.

Tali conclusioni sono quelle che si possono trarre unicamente sulla base dell'osservazione delle curve delle origini; esse potranno subire modifiche alla luce delle analisi più dettagliate che saranno svolte nei capitoli successivi. Una più approfondita analisi della dinamica del DC9 dopo l'incidente e dei problemi presentati da tale dinamica prendendo in considerazione i soli dati radar sarà sviluppata nel Capitolo 10.”

Nel successivo capitolo i consulenti si dedicano ai rilevamenti successivi all'incidente e al loro riguardo procedono al 1° livello di analisi, livello nel quale si propongono di prendere in considerazione le modifiche che derivano da una corretta valutazione sia della posizione del velivolo al momento dell'incidente, sia dell'errore azimutale, adottando invece lo stesso metodo di analisi della RPU. In particolare essi si prefiggono di basarsi sulla determinazione della differenza azimutale fra i singoli plots rilevati e le possibili traiettorie dei frammenti, percorrendo diversi passi successivi: nel primo utilizzando come origine della traiettoria dei frammenti il punto denominato X, precedentemente individuato e identificando i plots radar compatibili con tali traiettorie; successivamente considerando origini diverse allo scopo di interpretare i plots radar che sono stati esclusi dalla prima analisi, e così di seguito.

Così, quindi testualmente sulla metodologia di analisi:

5.1. Metodologia di analisi.

L'obiettivo di questo tipo di analisi è la verifica se un certo plot radar può essere interpretato come frammento (o parte) del DC9 distaccatosi dal velivolo in un certo istante di tempo.

Come già detto in precedenza, prenderemo in esame anzitutto l'ipotesi di distacco al punto denominato X, che è collocato temporalmente dopo 3.6s dall'ultima risposta SSR. Poichè ogni plot radar è perfettamente individuato nel tempo si conosce il tempo intercorso fra l'ipotetico istante di distacco e l'istante di osservazione.

E' allora possibile, utilizzando le equazioni della caduta di gravi in atmosfera (Appendice C) determinare le possibili traiettorie a partire dal punto X, al variare del coefficiente R e valutare le possibili posizioni assunte dai frammenti all'istante corrispondente ad un certo plot. Tenendo quindi conto delle incertezze del rilevamento radar (soprattutto di tipo azimutale) come valutate nell'Appendice A si può verificare se il particolare plot può essere interpretato come eco radar di un frammento.

In alternativa, si può seguire un procedimento analogo a quello sviluppato nei paragrafi precedenti, che consiste nel costruire anche in questo caso le curve delle origini. A tale scopo occorre:

- individuare un particolare plot P che si vuole studiare;
- poichè l'errore più rilevante nella stima radar è quello azimutale, si possono costruire gli estremi dell'intervallo di incertezza considerando due punti P' e P'' che hanno lo stesso range del punto in esame ed azimuth pari all'azimuth del plot in esame incrementato o decrementato dei massimi spostamenti azimutali; tali spostamenti sono ricavati nell'Appendice A e valgono rispettivamente $+0.56^\circ$ e -0.63° ;
- per ciascuno dei due punti P' e P'' così ricavati si possono determinare le curve delle origini al variare di R, cioè i punti da cui sarebbe dovuta iniziare una traiettoria che portasse, dopo il tempo richiesto, ai punti stessi. Ovviamente, si considereranno soltanto i valori di R che forniscono dopo il tempo richiesto, una quota superiore a quella di visibilità radar, che assumeremo qui, in accordo a quanto indicato nella RPU, pari a 5000 m;
- le due curve delle origini individuano approssimativamente in questo modo un poligono, che racchiude, tenuto conto delle incertezze azimutali del rilevamento radar, tutti i punti che possono essere assunti come inizio di una traiettoria di un oggetto che può produrre il plot oggetto di studio;
- se questo poligono racchiude, al suo interno, il punto di inizio X, allora si può ritenere che il plot in esame possa essere stato originato da un frammento del DC9 che si muove secondo le leggi di caduta dei gravi in atmosfera, avendo iniziato la sua traiettoria di caduta proprio al punto X;
- in caso contrario, questa interpretazione non può essere accettata.

Questa seconda procedura alternativa presenta il vantaggio, nell'ipotesi che il plot non possa essere interpretato come frammento partito da X, di fornire indicazioni per la ricerca di un punto di partenza diverso.

Questa procedura viene applicata a tutti i plots radar successivi all'ultima risposta SSR. I risultati di tale applicazione sono riportati nelle figure allegate al documento, una per ciascun plot esaminato, e quindi complessivamente 47 figure. In ciascuna di esse sono rappresentati:

- 1- il punto di partenza X, all'interno del poligono che individua la zona in cui presumibilmente è accaduto l'incidente.
- 2- Il plot radar in esame (croce di S.Andrea in grassetto) con a fianco l'indicazione del numero d'ordine che lo individua accompagnato dai due punti P' e P'', indicati con croce di S.Andrea, ottenuti tenendo conto del massimo e minimo errore azimutale.
- 3- Il poligono ottenuto raccordando le due curve delle origini.

Dall'esame delle figure si desume che: 1- i plots 20 e 22 sono interpretabili come frammenti distaccatisi in punti intermedi tra X e Y; 2- i plots 17, 21, 23, 24, 25 e 27 sono interpretabili come frammenti distaccatisi in Y; 3- i plots 26, 28, 30 e 31 sono interpretabili come frammenti distaccatisi in punti successivi al punto Y, ma relativamente vicini ad esso (circa 2 s); 4- per il

plot 29 si può adottare una interpretazione analoga, ma assumendo un istante di distacco ritardato rispetto a Y di 4-5 s.

A conclusione i consulenti affermano di potere, a seguito di tali analisi, dividere l'insieme dei plots radar successivi all'ultima risposta SSR in due categorie: quelli interpretabili come echi di frammenti in caduta libera e quelli per i quali tale interpretazione non è applicabile.

Quelli della prima categoria sono riassunti nella tabella di seguito indicata, nella quale sono indicati anche, per ciascuno di essi, il presumibile punto di distacco - ove con Y+ e Y++ si indicano un punto rispettivamente oltre e molto oltre ad Y- e il valore di R stimato

Plot	Origine	R
2a	X	10
4	X	450
6	X	400
8b	X	50
13b	X	10
15	X	10
16	X	5
17	Y	15
18	X	5
20	X-Y	
21	Y	5
22	X-Y	
23	Y	5
24	Y	5
25	Y	5
26	Y+	
27	Y	5
28	Y+	
29	Y + +	
30	Y+	
31	Y+	

Nella figura di seguito riportata sono poi rappresentati, oltre l'ultima risposta SSR (plot 0) soltanto i plots sopra citati: nella figura essi sono raggruppati per origine e per valori simili di R.

Utilizzando le leggi di caduta dei gravi in atmosfera i consulenti tentano di individuare, per le varie categorie di plots rappresentati nella figura di cui sopra, le corrispondenti zone di ritrovamento. I risultati sono riassunti nella tabella che segue.

Plot	Zona di ritrovamento
2a,8b,13b,15,16,18	F
4, 6	C (parte orient.)
altri	E

Da questa tabella si desume che nessuno dei plots presi in considerazione corrisponde alla coda dell'aereo, ritrovata in zona A. Ciò viene stimato strano dai consulenti, in quanto le dimensioni della coda stessa e la presenza di diedri nella sua geometria fanno presumere una sezione equivalente radar sufficiente per essere rilevata.

I rimanenti plots, che non possono essere interpretati - lo si ribadisce - come originati da frammenti in caduta libera, devono essere attribuiti, nel giudizio dei consulenti a una delle seguenti cause:

1. parti di aereo che cadono seguendo leggi diverse da quella della caduta libera dei gravi (presumibilmente causa di residue caratteristiche di aerodinamicità);
2. altri aerei presenti sulla scena.

Tali plots sono rappresentati nella figura 5.49.

“L’attribuzione dei vari plots a una delle due categorie di cui sopra non appare compito facile. Si può tuttavia affermare che almeno i plots 1 e 2b sono da attribuirsi sicuramente alla seconda delle categorie sopra indicate. Per dimostrare ciò si consideri il punto 1’, ottenuto applicando al punto 1 il massimo spostamento azimutale verso Ovest ammissibile in base alle valutazioni degli errori di stima azimutale. La distanza di tale punto dal punto X, presumibile punto in cui si è verificato l’incidente, risulta essere pari a circa 1600m; tenendo conto che fra i due eventi (incidente e osservazioni del punto 1’) trascorrono circa 2 s, lo spostamento fra X e 1’ richiederebbe una velocità di circa 800 m/s nella direzione X - 1’, non proponibile per una parte di velivolo non dotata di propulsione.

Analogamente per il punto 2b, considerando il punto 2b” (massimo spostamento azimutale verso Est) si ottiene una distanza da X di circa 4000m che comporterebbe, tenendo conto di una differenza temporale di $2+5.6=7.6s$, una velocità di circa 530m/s nella direzione X-2b”, anch'essa non proponibile.

A proposito della coppia di plots 2a-2b nella RPU si afferma che:

“il circuito antijitter ... non consente di dire se trattasi di due oggetti separati o 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.”

Il meccanismo, invocato nella RPU, che può dare luogo allo spezzamento di un unico rilevamento in due rilevamenti che appaiono distinti è il cosiddetto blanking dovuto ad un oggetto di modesta sezione radar, posto anteriormente al bersaglio principale, che è in grado di riempire un certo numero di celle con “1”, non sufficienti per giungere alla detezione, ma sufficienti per cancellare la parte centrale della sequenza di “1” dovuti al bersaglio principale. Se le due sequenze di “1” risultanti sono sufficienti per dar luogo a rilevamenti, allora si osserveranno due “target” distinti. Tale meccanismo comporta però che i due rilevamenti avvengano alla stessa distanza.

La presenza del circuito antijitter, che di fatto estende alla cella successiva un rilevamento qualora la sua osservazione cada nella seconda metà della cella attuale, può far sì che, in presenza di blanking prodotto da un oggetto posto anteriormente al bersaglio, i due gruppi di rilevamenti possano avere distanze diverse. Tuttavia la differenza di distanza tra le due parti, qualora esse siano originate da un unico bersaglio in presenza di blanking, non può superare quella corrispondente al doppio del periodo del RBC (Range Bin Clock) pari a $2 \cdot 1.93 = 3.86 \mu\text{s}$.

Si noti che se la differenza di distanza risulta inferiore a tale limite, non necessariamente si deve attribuire il doppio rilevamento ad un unico target affetto da blanking, ma occorre tenere conto di entrambe le possibilità, e cioè che vi siano due oggetti oppure un solo oggetto affetto da blanking; la scelta fra le due possibilità deve essere operata sulla base di altri elementi aggiuntivi.

Nel nostro caso, la differenza di distanza osservata fra i due plots è pari a soli 3/16NM (come si deduce dai tabulati contenuti nell'Allegato B della RPU alla pag. B2, tabella “Radar=03”), che corrisponde ad una differenza di tempo pari a 3 periodi del NMC (Nautical Mile Clock), pari a $3 \cdot 0.772 = 2.316 \mu\text{s}$, come si deduce dalla figura 2.8, pagina non numerata, del Cap.2, e quindi inferiore al limite sopra accennato.

Pertanto, se ci si limita a questi soli dati, l'incertezza di interpretazione esposta nella RPU sarebbe più che legittima. Esiste tuttavia la possibilità di risolvere tale incertezza, sulla base dei rilevamenti radar dell'estrattore Marconi 1, che opera sugli stessi segnali, anche se i segnali sono affetti da componenti di rumore diverse. I due rilevamenti dell'estrattore 1, come si deduce dai tabulati contenuti nel sopra ricordato Allegato B alla pag. B2, tabella “Radar=01”, mostrano una differenza di

distanza pari a 6/16NM, a cui corrisponde una differenza temporale di 4.632 μ s. Poichè tale intervallo di tempo è sicuramente superiore alla soglia di incertezza precedentemente indicata, si deve concludere che i due plots rilevati dall'estrattore 1 necessariamente corrispondono a due oggetti diversi.

Combinando i dati dei due estrattori si vede che l'unica possibilità di una interpretazione comune dei rilevamenti in questione è che i due plots corrispondano ad oggetti diversi.

Va infine osservato che quanto sopra non esclude la presenza del fenomeno del blanking, il quale tuttavia può al massimo comportare una diversa valutazione della coordinata azimutale del plot 2b, che in ogni caso non appare riconducibile ad un frammento del DC9.”

Queste quindi le prime conclusioni sul 1° livello di analisi. In primo luogo alcuni dei plots rilevati dal radar sono attribuibili a frammenti del DC9, in quanto il loro moto appare compatibile con oggetti che si muovono secondo le leggi di caduta libera dei gravi in atmosfera. In secondo luogo, altri plots, che non soddisfano a tali condizioni, devono essere attribuiti o al grosso del DC9, non ancora completamente disintegrato e quindi dotato di capacità di veleggiamento, o ad altri aerei presenti sulla scena. In terzo luogo, alcuni di questi plots sono sicuramente da attribuirsi ad altri aerei.

Prima di tentare la ricostruzione delle traiettorie degli oggetti non riconducibili a frammenti, i consulenti si propongono - utilizzando tutte le informazioni disponibili (in particolare l'indice di qualità), - tenendo conto degli algoritmi utilizzati dall'estrattore radar per la determinazione della coordinata azimutale, - integrando le informazioni formali dei radar Marconi e Selenia, di eliminare gli effetti, dovuti al mascheramento (blanking) allo scopo di pervenire ad una stima più affidabile delle posizioni dei vari oggetti.

Nel seguente capitolo il passaggio al 2° livello di analisi, ove i consulenti si propongono di: - integrare, ove possibile, le informazioni desumibili dalle registrazioni relative ai diversi estrattori associati al radar Marconi; - tener conto, ove possibile, delle informazioni desumibili dal valore dell'indice di qualità, in particolar modo quando questo è inferiore al valore di saturazione 15; - integrare le informazioni fornite dal radar Marconi, con quelle rilevate dal radar Selenia.

L'indagine viene limitata alle scansioni radar da 1 a 13, in quanto a partire dalla scansione 15 rimangono in visibilità radar solo frammenti con valore di R basso (inferiore a 50, come appare nella figura 6.1). In effetti affermano i consulenti di interpretare con sufficiente affidabilità i restanti

rilevamenti come frammenti; l'unica eccezione è rappresentata dal rilevamento 19, su cui i consulenti si soffermeranno.

“Per quanto riguarda la rappresentazione delle coordinate azimutali dei vari plots, si adotterà come unità di misura il passo di campionamento azimutale, cioè lo spostamento angolare dell'antenna fra due interrogazioni successive, e quindi le coordinate azimutali saranno espresse in numero di interrogazioni. Poichè i due radar hanno diverse frequenze di ripetizioni degli impulsi (PRF) anche lo spostamento angolare fra due interrogazioni successive è diverso per i due radar ed ha valori indicati nella tabella seguente:

Radar	Velocità rotazione antenna(giri/°)	PRF HZ	Spostamento angolare
Marconi	10.66	448	8.57'
Selenia	10	450	8'

Tutte le coordinate azimutali saranno rappresentate assumendo come origine l'azimuth dell'ultimo rilevamento PR+SSR del radar Marconi 3; non sarà effettuata cioè la correzione azimutale necessaria per tenere conto del non corretto riferimento Nord, che non influenza l'analisi qui sviluppata, e si assumerà quindi l'origine pari a 166°01'.

Nel caso dei rilevamenti Selenia, qualora si debbano in qualche modo integrare con quelli Marconi, si procederà ad un cambiamento di riferimento, in modo da utilizzare anche per i rilevamenti Selenia lo stesso sistema di rappresentazione adottato per i plots Marconi.

Per quanto riguarda la collocazione temporale dei vari rilevamenti, si farà riferimento alla grandezza “tempo” contenuta nelle registrazioni radar; tale grandezza (numero intero) si incrementa di una unità ogni 0.08 s e rappresenta il “tempo di settore” (così è definito nell'allegato B della RPU). Il tempo verrà misurato in secondi a partire dall'istante dell'ultima risposta SSR, per la quale il tempo di settore registrato vale 110 per il radar Marconi e 109 per il radar Selenia. Da questi due valori si osserva, tra l'altro, che in corrispondenza di tale rilevamento le osservazioni dei due radar sono praticamente contemporanee (differenza pari a 0.08s).

Si è preferito fare riferimento a questa grandezza, anzichè al contatore di cicli macchina, in quanto quest'ultimo presenta una evidente irregolarità in corrispondenza del quarto rilevamento dopo l'ultima risposta SSR, della quale non è stato possibile dare una spiegazione convincente.

In questo capitolo si farà ampio riferimento all'analisi del funzionamento del radar ed in particolare alla nozione di “impronta” radar di un bersaglio, così come è definita nell'Appendice A.

Segue un paragrafo dal contenuto altamente tecnico e fitto di passaggi deduttivi, che non possono essere riassunti od omessi. Se ne trascrive perciò il testo integrale.

“6.2 Le potenziali impronte dei frammenti.

L'analisi di primo livello ha consentito di stabilire, con ragionevole precisione, il punto e il momento in cui l'incidente ha avuto inizio. Tale punto, come si ricorderà, è stato indicato come punto X, e collocato temporalmente dopo circa 3.6s dall'ultima risposta del transponder.

A partire da tale istante si deve presupporre sia iniziato il rilascio di frammenti da parte del velivolo. Le caratteristiche di tali frammenti sono le più varie; in particolare il valore del coefficiente R può andare da circa 10 (frammenti che saranno ritrovati in zona E ed F) a circa 2000 (motori, ritrovati in zona B). In effetti, va ricordato che il punto X è stato identificato come intersezione fra i luoghi delle origini di tali due gruppi di frammenti.

Dunque, volendo analizzare compiutamente lo scenario radar nell'intorno del punto X per istanti di tempo successivi al primo distacco del corpo principale, non si può fare a meno di tenere conto del fatto che tali rilasci producono essi stessi dei ritorni radar i quali, anche se non raggiungono l'intensità necessaria per essere rilevati dal radar, possono interferire con la formazione delle impronte di altri oggetti presenti intorno a quel punto. Le interazioni con i ritorni radar di altri oggetti possono assumere diverse caratterizzazioni:

1. In presenza di un eco di un oggetto posto a distanza maggiore di quella del frammento, l'impronta del frammento può parzialmente mascherare (per effetto del blanking) l'impronta dell'oggetto più distante con possibilità di:

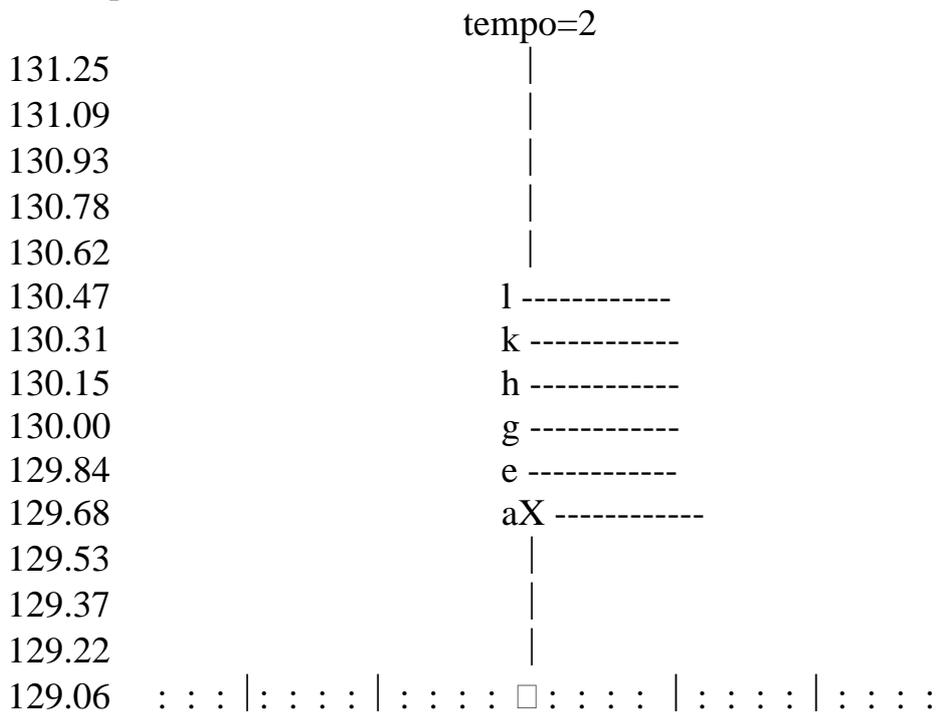
- alterare il rilevamento azimutale dell'oggetto;
- addirittura “cancellare” l'oggetto, quando la sua impronta, per effetto del blanking operato dall'impronta dell'oggetto, riduce il numero di “1” ad un valore minore di 7.

2. In presenza di un eco di un oggetto posto alla stessa distanza di quella del frammento, ma con azimuth diversa, le due impronte, se le coordinate angolari sono sufficientemente “vicine”, possono fondersi in un'unica impronta (effetto di cattura). Può accadere così che due oggetti che, se presi separatamente, producono ciascuno un'impronta con un numero di “1” minore di 7 e quindi non sono rilevabili, lo diventano (sia pure come un unico oggetto) quando l'impronta risultante dalla combinazione delle due abbia un numero di “1” maggiore od eguale a 7.

Il moto di tali frammenti dopo il distacco dovrebbe seguire le leggi del moto di un grave in atmosfera; conoscendo le caratteristiche dell'atmosfera (legge di densità, venti alle varie quote, ecc.), le

caratteristiche di resistenza aerodinamica del frammento (coefficiente R) e le condizioni iniziali al momento del distacco (posizione e velocità) è possibile calcolare le traiettorie potenziali dei vari frammenti e determinare le posizioni che essi dovrebbero assumere in corrispondenza delle varie scansioni radar.

Note le posizioni, è possibile determinare le potenziali impronte che non danno luogo a visibilità, cioè con numero di “1” inferiore a 7. A titolo di esempio, nella mappa che segue è mostrata la situazione delle potenziali impronte dei frammenti all'istante 2 (secondo rilevamento radar dopo l'ultimo transponder).



In essa:

- è rappresentato il luogo dell'incidente, visto da Fiumicino, quindi con il Sud in alto ed il Nord in basso; in questa rappresentazione il vento spirava dalla destra verso la sinistra.
- il simbolo “O” è il rilevamento corrispondente all'ultima risposta del transponder ed è assunto come origine del sistema di rappresentazione.
- il simbolo “X” rappresenta il punto X, origine stimata dell'incidente.
- l'asse verticale rappresenta la coordinata radiale rispetto al radar; la quantizzazione in distanza è quella di una cella in distanza (pari a 5/32 NM, determinata dal Range bin clock) ed è rappresentata da sbarrette verticali.
- l'asse orizzontale rappresenta la coordinata azimutale; la quantizzazione azimutale è, come già detto in precedenza, pari all'intervallo angolare fra due interrogazioni successive, e cioè 8.57' ed è rappresentata da due punti.

- le posizioni dei potenziali frammenti sono indicate con le lettere minuscole (da a a l) e dipendono dal valore del coefficiente R del frammento secondo la tabella che segue:

lettera	Valore di R	lettera	Valore di R
a	10	g	200
b	20	h	300
c	30	i	500
d	50	j	700
e	70	k	1000
f	100	l	2000

Si noti come nella mappa precedente i frammenti con R elevato, indicati ad esempio dalla lettera l, dopo il tempo 2 siano avanzati nella direzione del moto e siano stati poco influenzati dalla presenza del vento; mentre invece frammenti tipo a si siano già fermati e comincino a spostarsi nella direzione del vento.

- i simboli “-” rappresentano le potenziali impronte dovute a un frammento nella posizione adiacente, nella loro dimensione massima compatibile con la non visibilità del frammento stesso che è di sei intervalli di campionamento azimutali.

Analoghe mappe si possono costruire per ciascuno degli istanti di osservazione, e tali mappe saranno utilizzate per l'analisi dei rilevamenti radar sviluppata nei paragrafi successivi.

Va però osservato come, con il procedere del tempo, il moto di un frammento dotato di un certo valore di R comporta anche una diminuzione della quota, tanto più rapida quanto più elevato è il valore di R. Quando la quota scende sotto il livello di rilevabilità radar (che nella presente analisi è stato assunto pari a 5000m) il corrispondente frammento cessa di avere effetti sui rilevamenti radar e pertanto non compare più sulla mappa stessa.

Segue un paragrafo dedicato alla analisi dei vari plots, plot per plot dall'1 al 13 e quindi al 19. I dati che derivano vengono riassunti nella tabella di seguito riportata, rilevando che gli oggetti che hanno dato luogo ai vari rilevamenti radar, sono individuati da due numeri, il primo dei quali si riferisce al rilevamento radar; le coordinate espresse si riferiscono alle posizioni stimate degli oggetti (e non già ai rilevamenti radar); i dati sono espressi in coordinate relative al radar Marconi 3, anche nel caso in cui gli oggetti siano stati osservati dal solo radar Selenia; i tempi indicati sono desunti dal conteggio dei tempi di settore, così come contenuti nelle registrazioni radar disponibili, e assumono come origine l'istante dell'ultima risposta del transponder (rilevamento O del radar Marconi)

Rilev.	Denom	Tempo (s)	Range (NM)	Azimuth (°)	Frammento classe
1	1.1	5.60	129.5	165°14'	
	1.2	5.84	129.95	166°01'-166°16'	
2	2.1	11.12	129.66	165°52'	a-d
	2.2	11.12	129.66	166°56'-167°06'	
	2.3	11.12	129.9	167°26'-167°52'	
	2.4	11.76	130.22	166°14'-166°39'	
3	3.1	16.71	130.21	164°48'	g-i
	3.2	17.20	130.21	165°39'	
4	4.1	23.52	130.5	165°44'	h-i
	4.2	22.24	130.5	166°53'	
5	5.1	27.84	129.687	166°48'	f
	5.2	29.44	130.	165°44'	
6	6.1	33.44	130.5	165°35'	h
	6.2	35.36	129.96	165°44'	f
7	7.1	38.96	129.687	166°22'	d
	7.2	41.28	129.75	165°34'	
8	8.1	44.56	129.9	166°18'	f
	8.2	44.56	130.56	165°09'-165°18'	
	8.3	47.20	129.94	165°22'	
	8.4	47.20	129.94	166°44'	
9	9.1	50.08	130.50	164°38'	
	9.2	50.08	129.97	166°12'	
10	10.1	55.68	129.9	166°31'	
11	11.1	61.28	129.9	166°23'	
12	12.1	66.80	130.53	164°10'	
13	13.1	72.40	130.5	164°52'	
	13.2	72.40	129.875	166°05'	
19	19.1	105.84	130.50	164°05'	

Di seguito i consulenti affrontano il problema della identificazione delle traiettorie. Una traiettoria, questa è la definizione che viene posta e che appare accettabile, è costituita da un insieme di punti, definiti nello spazio $[R, \vartheta, t]$ (cioè distanza, azimuth e tempo) logicamente raggruppabili per contiguità spaziale e temporale, e tali da poter essere approssimati, o interpolati da funzioni $R(t)$, $\vartheta(t)$ soddisfacenti le seguenti condizioni: - che siano assicurate le continuità di posizioni e velocità; - che velocità e

accelerazione siano in ogni punto della traiettoria, compatibili con traiettorie di tipo aeronautico, cioè non superiori (in valore assoluto) ai limiti massimi tollerabili da oggetti aeronautici; - che in caso di traiettorie approssimate, gli scostamenti tra i punti rilevati e quelli approssimati ottenuti mediante interpolazione siano inferiori ai limiti di errore (in azimuth e distanza) propri del radar. Sottolineano i consulenti a questo proposito che devesi ricordare che l'accuratezza globale dei radar (senza tener conto dell'effetto del blanking e della polarizzazione per il radar Marconi) è stata raggiunta nella RPU ottenendo i seguenti valori (rms):

Grandezza	Marconi	Selenia	Riferimento
Range (NM)	0.059	0.106	Parte V-cap.4, tab.4.1
Azimuth (primi)	13.2		Parte V-par.5.2.1

Di conseguenza, qualora dovessero essere individuati insieme di punti che soddisfacessero a tali condizioni, rimarrebbero individuati altrettante traiettorie e di conseguenza altrettanti oggetti distinti.

In effetti osservando questi principi i consulenti individuano una traiettoria A, le traiettorie B1e B2, la traiettoria C, la traiettoria D, con i plots rispettivamente indicati. Rilevano poi connessione fra traiettoria A e D, i cui valori di velocità e accelerazione appaiono compatibili con il moto di un oggetto privo di spinta, per cui tale traiettoria, a mente dei consulenti, può essere associata al grosso del velivolo.

I successivi paragrafi, il 6.8 e il 6.9, sono dedicati alle connessioni fra le traiettorie B e C e i plots -17 e -12, e ai punti 1.1 e 3.1. Essi sono di tale rilievo che devono essere trascritti per intero.

“6.8 Connessione fra le traiettorie B e C e i plots -17 e -12.

Poichè è stato dimostrato che, con buona probabilità, i rilevamenti durante le scansioni -17 e -12 sono da interpretarsi come echi di aerei in movimento e non già come falsi allarmi, possiamo ora verificare se tali rilevamenti sono compatibili con le traiettorie B e C sopra identificate, cioè se il (o i) velivoli che ha (o hanno) dato luogo ai rilevamenti -17 e -12 possa essere lo stesso che successivamente dà luogo alle traiettorie B oppure C.

A tale scopo, considerando anzitutto la traiettoria C, possiamo interpolare con una traiettoria di terzo grado la quaterna di punti formata dai rilevamenti -17, -12 e dai primi due che costituiscono la traiettoria C, e cioè i punti 2.3 e 2.4. Successivamente questa traiettoria viene connessa con la traiettoria C1, e su tale traiettoria complessiva possono essere sviluppati i test di compatibilità con una traccia di aereo.

I risultati sono mostrati nelle figure qui accluse; nella prima di esse (Figura 6.26) è riportata la traiettoria (cioè l'andamento azimuth - range), e nella seconda (Figura 6.27) sono riportati il modulo della velocità e quello dell'accelerazione in funzione di tempo.

Come ben si vede, i valori di velocità e di accelerazione associati alla traiettoria complessiva sono compatibili con un velivolo supersonico di tipo militare; si può pertanto ritenere che la traiettoria C sia determinata dallo stesso velivolo che ha dato origine ai rilevamenti -17 e -12.

Analogo procedimento si può seguire con la traiettoria B. I risultati ottenuti sono mostrati nelle figure che seguono, nella prima delle quali (figura 6.28) è riportata la traiettoria (azimuth-range), mentre nella seconda (6.29) sia il modulo della velocità sia quello dell'accelerazione sono riportati in funzione del tempo.

Anche in questo caso i valori di velocità e di accelerazione associati alla traiettoria complessiva sono compatibili con un velivolo supersonico di tipo militare.

Si può pertanto ipotizzare la presenza di due velivoli di tipo militare che viaggiano di conserva su una rotta circa parallela al DC9; i rilevamenti -17 e -12 potrebbero essere dovuti al fatto che in corrispondenza di essi i due velivoli, che singolarmente danno dei ritorni insufficienti per la loro visibilità, danno luogo a un ritorno radar combinato di entità maggiore, tale da produrre i rilevamenti in questione.

Intorno al tempo 0, i due velivoli si separano percorrendo traiettorie diverse, una che passa a Nord del DC9 (traiettoria B) e una che passa a Sud del DC9 (traiettoria C); le due traiettorie tendono quindi a confluire in direzione approssimativamente Est, mostrando che i due aerei sembrano riprendere in qualche modo un volo coordinato.

6.9. I punti 1.1 e 3.1.

Tali punti sono quelli che rimangono non assegnati dopo l'individuazione delle traiettorie svolta nei paragrafi precedenti.

Una traiettoria rettilinea che li congiunga comporta una velocità pari (in modulo) a 202m/s, compatibile quindi con quella di un velivolo. Prolungando a ritroso tale traiettoria (rettilinea a velocità costante) si può valutare la posizione di tale eventuale velivolo al tempo 0 (in corrispondenza dell'ultima risposta del transponder), ottenendo una distanza pari a 129.142NM e un azimuth di -34'.9 (rispetto all'azimuth dell'ultima risposta del transponder).

Poichè la stima della distanza del DC9 al tempo 0 è compresa fra 129.125NM (estrattore 3) e 129.1875NM (estrattore 1), si vede che l'extrapolazione a ritroso della traiettoria individuata dai punti 1.1. e 3.1

porta l'eventuale aereo in prossimità del DC9. Potrebbe allora trattarsi dell'aereo "nascosto" che sembra accompagnare il DC9 nella parte terminale della sua traiettoria.

Poichè a tale argomento è dedicato il capitolo 7 di questo studio, l'interpretazione dei due punti in questione verrà descritta in tale parte".

Le argomentazioni dei consulenti sono lucide e ben provate. Allo stato anche le conseguenti conclusioni appaiono condivisibili.

Al termine del capitolo 6 si ritorna sull'ipotesi del velivolo nascosto, già formulata in precedente documento dei consulenti delle medesime parti e così si conclude che sulla base della stima della distanza del DC9 al punto 0 l'eventuale aereo nascosto si trova in prossimità dell'I-Tigi.

Il capitolo successivo, il 7, è dedicato proprio al "velivolo nascosto", la presenza del quale era stata rilevata in conseguenza del fatto che mentre il radar Selenia presentava rilevamenti di solo secondario approssimativamente allineati lungo una traiettoria quasi rettilinea – quella del DC9 –, i rilevamenti del radar Marconi – rilevamenti combinati primario + SSR – presentavano, alle scansioni da -13 a -9, vistosi scostamenti azimutali che, per entità e regolarità, non potevano essere spiegati mediante le fluttuazioni attribuibili ai normali rilevamenti radar. E poichè la coordinata azimutale, così continuavano i consulenti, in presenza di rilevamenti combinati primario +SSR, è determinata dal rilevamento del radar primario, l'unica spiegazione possibile per tali scostamenti è la presenza in prossimità del DC9 di un oggetto che con la sua presenza fisica modifichi le caratteristiche del segnale di ritorno (eco) elaborato dal radar primario, senza influire invece sulla risposta del transponder di bordo elaborato dal radar secondario (Selenia).

Questo tema viene approfondito in questo capitolo facendo uso delle più approfondite conoscenze acquisite sul funzionamento dell'estrattore Marconi e dei fenomeni di blanking e cattura, descritti in appendice del documento, che possono alterare i rilevamenti. Per questa analisi però – chiariscono i consulenti, che si muovono con prudenza e proponendosi di provare e motivare ogni loro affermazione – non potranno utilizzare l'informazione di qualità, che (come s'è visto per l'analisi dei rilevamenti successivi all'incidente) qualora inferiore a 15 può dare utili informazioni sulla struttura dell'impronta elaborata dalla Moving Window. Infatti, in presenza di un rilevamento combinato primario +SSR l'indice di qualità non viene registrato.

Sono quindi presi in considerazione tre aspetti particolari del problema legati a tre zone caratteristiche della traiettoria e cioè:

- i punti -12, -11, e -10, cioè quelli per i quali è stata rilevata la massima elongazione azimutale ed anche l'assenza di risposta primaria per il plot - 11;
- il punto 0, ultima risposta del transponder;
- i punti 1.1 e 3.1 rilevati dopo l'ultima risposta del transponder, che potrebbero essere messi in collegamento con la presenza del velivolo "nascosto".

I paragrafi che seguono, destinati all'esame dei detti punti, sono basati su passaggi tabelle e figure, di massimo interesse per la comprensione del discorso dei consulenti, e nessuno dei quali può essere trascurato. Devono perciò integralmente essere trasferiti nel presente documento.

“7.2 I punti -12, -11 e -10.

Come è già stato detto, i punti -12 e -10 sono quelli per i quali è stata osservato il massimo scostamento azimutale, mentre il punto -11 corrisponde ad una assenza di risposta primaria (solo SSR).

I rilevamenti del radar Marconi sono riassunti nella tabella che segue:

Punto	Estrattore	Range (NM)	Azimuth	Numero di scansioni
-12	3	120.562	165°03'	-7
-11	3	121.25	166°06'	+0.5
-10	3	122.00	165°03'	-7

Nella tabella la misura dell'azimuth in numero di scansioni segue lo stesso schema di rappresentazione utilizzato per lo studio dei rilevamenti dopo l'incidente: l'origine è la coordinata azimutale dell'ultimo rilevamento SSR (punto 0, azimuth rilevato = 166°01'), mentre l'unità di misura è il passo di campionamento azimutale, pari a 8.57'.

Per approfondire lo studio di questi punti occorre conoscere, in via preliminare:

- la coordinata azimutale dell'aereo (posizione fisica, non rilevamento radar)
- una stima della struttura di impronta che sarebbe prodotta dal solo DC9 in assenza di altri oggetti vicini.

7.2.1 La coordinata azimutale del DC9.

In una parte precedente dello studio, dedicata alla determinazione della posizione spaziale del DC9 al momento dell'incidente, sono state calcolate varie regressioni lineari sui rilevamenti radar espressi in

coordinate geografiche, ed è stato appurato che una di queste (in particolare la regressione indicata con M2 nella figura 4.1) rappresentava il miglior accordo con la stima del punto in cui è avvenuto l'incidente determinato sulla base dei ritrovamenti in mare di parti del relitto.

Possiamo allora assumere che tale curva rappresenti la migliore stima della traiettoria del DC9, e quindi desumere da essa la coordinata del velivolo in corrispondenza dei punti in esame. Nel seguito tale posizione azimutale verrà identificata come posizione reale del DC9. Dall'esame della stessa figura 4.1 si osserva che tale posizione azimutale coincide con la coordinata azimutale rilevata per i punti -8 e -7 (che giacciono sulla curva di regressione).

Pertanto potremo assumere che la coordinata azimutale reale del velivolo in corrispondenza dei punti in questione sia pari a $165^{\circ}45'$, corrispondente a -2 passi di campionamento azimutale rispetto all'origine.

7.2.2 L'impronta “nominale” del DC9.

Per individuare la struttura di impronta che dovrebbe essere prodotta dal DC9 in condizioni normali, occorre conoscere il livello dell'eco radar rispetto al livello minimo di rilevabilità. Per far ciò si sono esaminate le traiettorie di altri aerei che percorrevano rotte circa radiali nei quadranti meridionali, rilevando la distanza corrispondente all'ultimo rilevamento primario (distanza massima rilevata con il primario).

I risultati sono riportati nella figura 7.1 dove tali rilevamenti sono rappresentati nel piano distanza/quota.

Si vede che per tutti i velivoli la cui quota (desunta dalla risposta SSR) supera circa 20.000ft, la distanza massima rilevabile è intorno a 142NM, praticamente indipendente dal tipo di velivolo.

Tenendo conto che il livello del segnale ricevuto è inversamente proporzionale alla quarta potenza della distanza, possiamo stimare il livello L_R del segnale ricevuto alla distanza in cui si trova il DC9 nei punti di interesse come:

$$L_R = 40 \cdot \text{Log}_{10} \frac{142}{121.25} = 2.74\text{dB}$$

La misura di L_R è ovviamente relativa al livello corrispondente alla soglia di rilevabilità.

Dalla figura A5 dell'Appendice A si possono allora ricavare i parametri significativi dell'impronta nominale, con i quali è possibile darne una rappresentazione quale quella indicata nella mappa che segue.



o
x x x x x x 7 x x x x x X x x

+

*

---|---|-----+-----+-----+-----+-----+---

Nella mappa sono anche indicati:

- la posizione reale del DC9 (simbolo “o”);
- il rilevamento che sarebbe prodotto dall'estrattore in presenza di tale impronta nominale (simbolo “+”), in questo caso corrispondente ad un azimuth di -4 passi di campionamento azimutale;
- il rilevamento effettivo del radar Marconi (simbolo “*”).

Ovviamente l'impronta “nominale” non è che un riferimento teorico, in quanto l'impronta realmente osservata può differire da quella nominale a causa delle fluttuazioni aleatorie della sezione equivalente radar del bersaglio.

Il livello minimo è quello corrispondente alla condizione di soglia di osservabilità (impronta costituita da 7 bit "1") che si configura come nella mappa che segue:

-10 -5 0 +5 +10
---|---|-----+-----+-----+-----+-----+---

o

x x x x 5 x 7

+

*

---|---|-----+-----+-----+-----+-----+---

In questo caso il rilevamento che si sarebbe osservato è pari a -4.5 passi di campionamento azimutale.

Livelli di segnale più elevati portano ad un'impronta con numero maggiore di bit “1”; nella mappa che segue è rappresentata l'impronta corrispondente ad un livello maggiore di 3dB rispetto a quello nominale (cioè 5.7dB)

-10 -5 0 +5 +10
---|---|-----+-----+-----+-----+-----+---

o

x x x x x 7 x x x x x x x x x x X x x

+

*

---|---|-----+-----+-----+-----+-----+-----

In questo caso il rilevamento che si sarebbe osservato è pari a -3 passi di campionamento azimutale.

Da quanto sopra si vede chiaramente l'effetto dell'errore di polarizzazione dovuto alla combinazione dell'algoritmo utilizzato dalla MW per determinare l'azimuth del bersaglio e dell'integratore incorporato nell'estrattore, effetto che cresce al diminuire del livello dell'eco ricevuto; tuttavia anche con un livello pari al minimo di rilevabilità il rilevamento che si sarebbe osservato, pari a -4.5, è ancora lontano da quello effettivamente osservato alle scansioni -12 e -10, e cioè -7.

Di qui la necessità di ipotizzare la presenza di un altro oggetto in grado di produrre un'impronta radar che, combinandosi con quella del DC9, dia luogo all'impronta effettivamente osservata.

7.2.3 Ipotesi sulla posizione del velivolo nascosto.

Occorre qui ricordare che la stima azimutale prodotta dalla MW è basata sulla posizione angolare dei bit n.7 e n.N-2 (dove N è il numero di bit "1" dell'impronta), in particolare tale stima è pari al baricentro fra i bit 7 e N-2, diminuito di 8.5 passi di campionamento azimutale.

Pertanto bisogna tenere in conto i possibili meccanismi di interazione fra impronte che modifichino la posizione di uno di tali due bit o di entrambi nel senso di diminuire l'azimuth stimato fino al valore effettivamente osservato.

Esistono due diversi meccanismi che possono dar luogo allo spostamento in questione, e cioè:

- il fenomeno di cattura, che si verifica quando due impronte distinte si trovano alla stessa distanza e pertanto vengono trattate come una unica impronta;
- il fenomeno di mascheramento che si verifica quando un'impronta si trova a distanza minore rispetto ad un'altra, entro l'intervallo di distanza di 1NM circa, e per effetto del blanking cancella una parte dei bit "1" della seconda impronta.

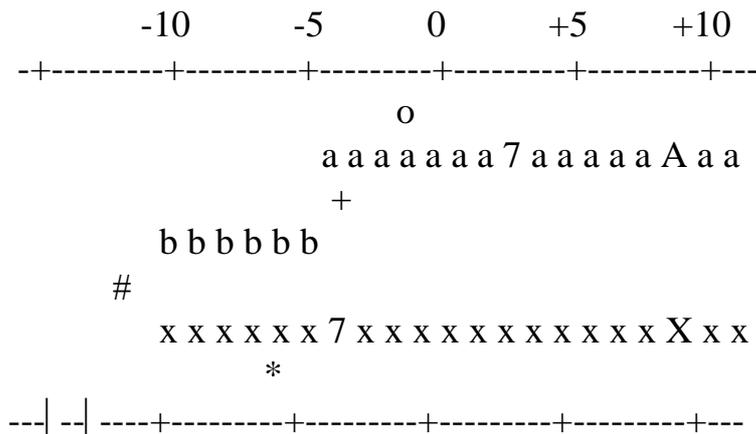
Esaminiamo separatamente i due casi.

Indicheremo con A l'impronta principale (quella del DC9), con B quella interferente (aereo nascosto) e con X quella risultante dall'interferenza fra le due; utilizzeremo i simboli "a", "b" e "x" per indicare i bit "1" delle corrispondenti impronte.

Cattura.

In questo caso l'impronta X avrà un numero maggiore di "1" rispetto ad A, in quanto incorpora anche quelli di B; perchè tale fenomeno possa essere utilizzato per spiegare il nostro caso, l'estensione dell'impronta X rispetto a A dovrà avvenire per azimuth minori, in modo tale da ridurre la posizione angolare del bit 7 risultante. Inoltre la posizione del bit N-2 risulta invariata.

Se consideriamo l'impronta nominale, poichè la differenza fra l'azimuth osservato e quello prodotto da A è pari a 3 unità (differenza fra -7 e -4), la posizione del bit 7 di X dovrà trovarsi ridotta di 6 unità rispetto a quella di A; la situazione è quella indicata nella mappa che segue.



Nella mappa è indicata con il simbolo " #" la posizione angolare di B, pari a -12 passi di campionamento azimutale; tuttavia la situazione indicata nella mappa non è l'unica possibile; infatti:

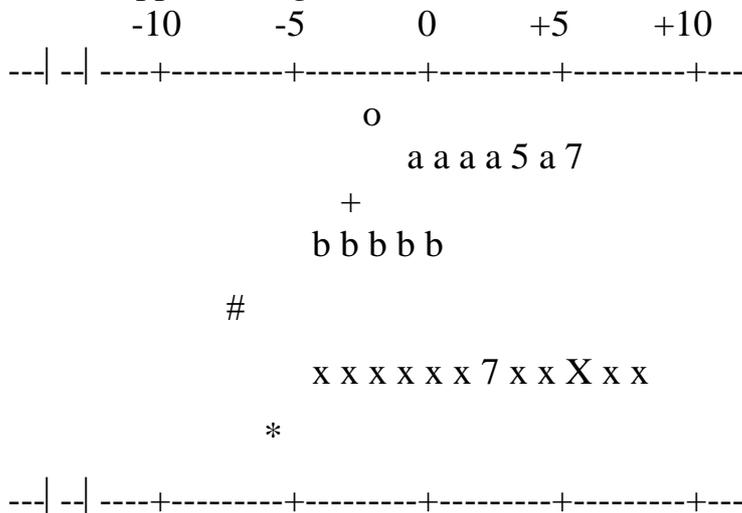
- un'estensione dell'impronta B per azimuth maggiori non modificherebbe il dato fornito dall'estrattore, in quanto la sovrapposizione di bit "1" delle due impronte darebbe comunque un "1" nell'impronta X;
- uno spostamento per azimuth minori dell'intero blocco di 6 bit "1" dell'impronta B della mappa sarebbe anch'esso compatibile, in quanto non modifica la posizione del bit "1" n.7 di X (che risulta essere il primo di A), questo almeno fino a che tutta l'impronta B e il primo bit di A sono contenuti all'interno della window (che ricordiamo è di ampiezza pari a 15).

Ne consegue che la posizione azimutale di B non è determinabile in modo esatto; se ne possono ricavare solo, sulla base delle considerazioni di cui sopra, i limiti superiore e inferiore.

Il limite superiore è dato dal caso di impronta B che inizia a -10.5 (come nella mappa) e termina a +9.5, sovrapponendosi completamente all'impronta A; la coordinata azimutale di un oggetto in grado di produrre una tale impronta in questo caso vale $(-10.5+9.5)/2-5.5=-6$.

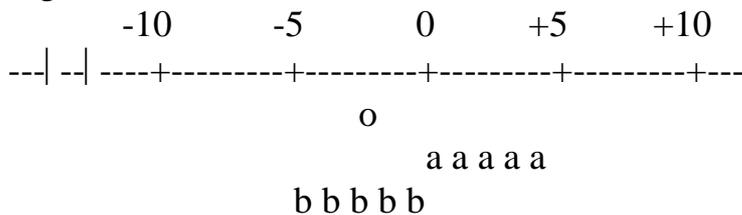
Per il limite inferiore, dobbiamo considerare il massimo spostamento a sinistra dell'impronta B della mappa consentito dalla dimensione della window pari a 15; ciò corrisponde al primo bit di B in posizione -18.5 e quindi una coordinata azimutale dell'oggetto pari a -20.

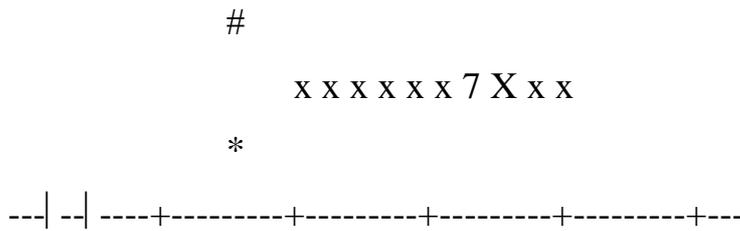
Analoghi ragionamenti possiamo fare se assumiamo che l'impronta A sia al limite della rilevabilità; la situazione in questo caso si presenta come nella mappa che segue:



La coordinata azimutale di B risulta pari a -8; anche in questo caso si possono ricavare i limiti superiore e inferiore, ottenendo i valori -5 e -16, rispettivamente.

Possiamo infine considerare il caso in cui l'impronta A, da sola, non sia in grado di essere rilevata (quindi con un numero di "1" inferiore a 7), ma lo diventi per effetto dell'associazione a B; assumendo, ad esempio, l'apertura di A pari a 5 avremo la situazione indicata nella mappa che segue.





La coordinata azimutale di B risulta pari a -7; anche in questo caso si possono ricavare i limiti superiore e inferiore, ottenendo ancora i valori -5 e -16, rispettivamente.

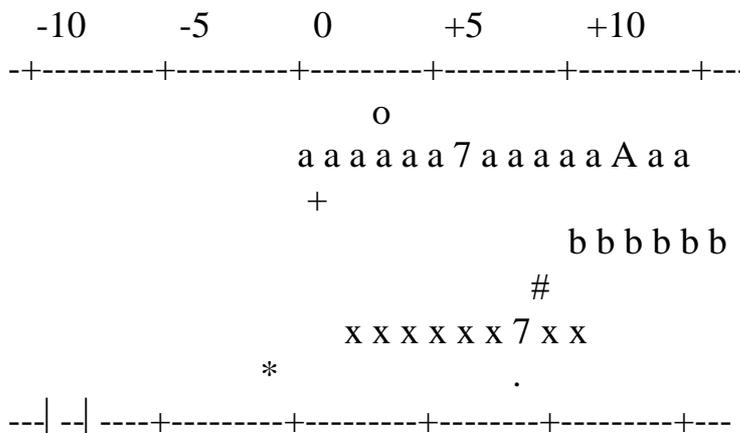
Mascheramento.

In questo caso l'impronta X avrà un numero minore di "1" rispetto ad A, in quanto alcuni di essi sono stati mascherati da B; affinché tale fenomeno possa essere utilizzato per spiegare il caso qui in esame si deve prendere in considerazione il fatto che il mascheramento dell'impronta A deve avvenire per azimuth minori, in modo tale da ridurre la posizione angolare del bit N-2 risultante.

Inoltre la posizione del bit 7 deve risultare invariata e l'apertura dell'impronta B non deve poter superare 6 unità (in quanto ciò significa oggetto non rilevato), mentre l'impronta X (risultante) dovrà contenere almeno 7 bit "1" per poter ottenere che essa sia ancora rilevata.

Prendiamo ora in considerazione l'impronta nominale; poichè la differenza fra l'azimuth osservato e quello prodotto da A è pari a 3 unità (differenza fra -7 e -4), la posizione del bit N-2 di X dovrà trovarsi ridotta di 6 unità rispetto a quella di A...

La situazione è quella indicata nella mappa che segue.



Nella mappa è indicata con il simbolo "#" la posizione angolare di B, pari a +3 passi di campionamento azimutale; si noti inoltre che:

- un'impronta B con apertura inferiore a 6 non sarebbe in grado di produrre lo spostamento del bit N-2 di X sufficiente per dar luogo al rilevamento osservato;

- l'intera impronta B può essere spostata a sinistra senza modificare il rilevamento osservato finchè non si produce il mascheramento del bit 7; pertanto la posizione angolare dell'oggetto che dà luogo all'impronta B è compreso, in questo caso, fra +1 e +3 passi di campionamento azimutale.

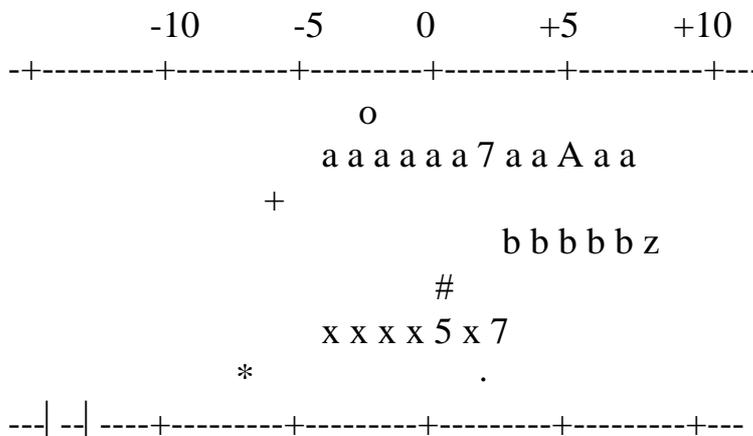
Se ora consideriamo il caso di un'impronta A con apertura minore di quella nominale, possiamo trovare un limite inferiore a tale apertura compatibile con i rilevamenti osservati.

Infatti devono essere verificate le seguenti condizioni:

a) l'impronta B deve avere apertura pari ad almeno 5 per giustificare lo spostamento di 2.5 passi di campionamento azimutale (si ricordi che al diminuire del livello del segnale ricevuto aumenta l'errore di polarizzazione fino ad un massimo di 2.5)

b) l'impronta X (risultante) deve avere almeno 7 bit "1" per dar luogo a un rilevamento.

Ne consegue che l'apertura minima di A deve essere pari a 12; la situazione in questo caso è quella indicata nella mappa che segue.



In questo caso la posizione dell'impronta B è l'unica possibile, e pertanto la coordinata azimutale dell'oggetto che ne è all'origine vale +1.5 passi di campionamento azimutale.

In alternativa, si può considerare un'impronta B allargata ad apertura 6, formata da 5 bit "1" indicati con il simbolo "b" nella mappa a cui si aggiunge il sesto bit "1" indicato con il simbolo "z" nella mappa; in questo caso la coordinata azimutale dell'oggetto che è all'origine di B vale +2 passi di campionamento azimutale.

Confronto fra i due meccanismi.

Come è stato visto, entrambi i meccanismi (cattura e mascheramento) possono dar luogo allo spostamento azimutale osservato nei rilevamenti -12 e -10; occorrono ora considerazioni aggiuntive per individuare quale delle due situazioni appare più verosimile.

A questo scopo va ricordato che alla scansione -11 non si ha rilevamento primario. Data la continuità temporale dei tre eventi osservati alle scansioni -12, -11 e -10, sembra ragionevole ipotizzare che la scomparsa del rilevamento -11 sia da attribuire al medesimo meccanismo, sia pure con piccole variazioni.

Se consideriamo l'ipotesi della cattura, bisogna assumere che le due impronte degli oggetti in questione scendano entrambe al di sotto del livello di rilevabilità e che siano sufficientemente separate, in senso azimutale, in modo tale da evitare di essere combinate in un'unica impronta di dimensioni maggiori.

Riprendiamo quella configurazione di cattura rappresentata a pag.176 nella quale si prevede che l'impronta del DC9 sia al livello minimo di rilevabilità, e assumiamo che alla scansione -11 tale impronta si riduca ad apertura 6 (quindi sotto il limite di rilevabilità).

Affinchè l'impronta B non si combini con la A in modo da dar luogo ad un rilevamento, occorre che il bit "1" di posizione più elevata di B si trovi ad una distanza di almeno 15 passi di campionamento azimutale dal bit "1" di posizione più elevata di A, cioè in posizione -10.5, il che comporta un limite massimo alla posizione azimutale di B che dipende dall'apertura di B secondo la seguente tabella:

Apertura di B	Limite superiore Azimuth B
1	-14.5
3	-15.5
5	-16.5

Tali valori sono consistenti con l'intervallo di incertezza precedentemente determinato (da -16 a -5); pertanto l'ipotesi basata sul meccanismo di cattura prevede i seguenti elementi:

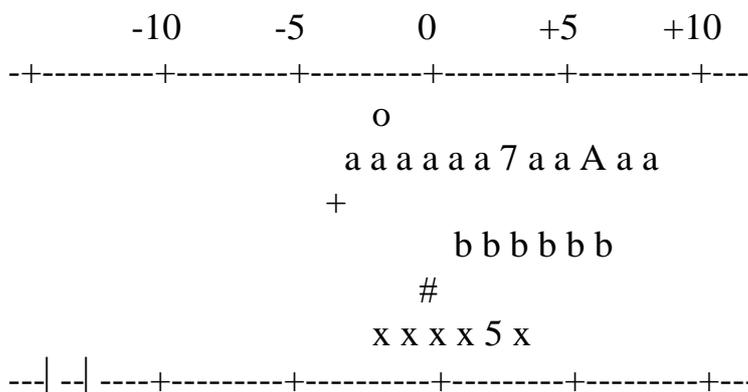
- l'impronta A che durante le scansioni -10 e -12 sia al limite di rilevabilità e che scenda ad apertura 6 alla scansione -11;
- l'oggetto che produce l'impronta B abbia una coordinata azimutale intorno a -15.5 passi di campionamento azimutale.

Consideriamo ora l'ipotesi del mascheramento.

Affinchè si possa avere la scomparsa del rilevamento primario, è necessario che l'impronta risultante X scenda ad un'apertura minore o

uguale a 6; dal momento che l'impronta mascherante B non può superare 6 (in quanto non è stata rilevata direttamente), ne consegue che l'apertura dell'impronta originaria A non può superare 12.

Riprendendo in considerazione la configurazione con l'impronta A al valore minimo per essere rilevata durante le scansioni -12 e -10; è facile vedere che l'incremento di 1 nell'apertura di B porta alla scomparsa del rilevamento stesso; in alternativa possiamo considerare lo spostamento a sinistra di un'impronta B con apertura 6, che porta lo stesso risultato (v. mappa seguente)



In ogni caso, la posizione angolare dell'oggetto che origina l'impronta B è pari a +1 passo di campionamento angolare.

L'ipotesi basata sul meccanismo di mascheramento prevede quindi i seguenti elementi:

- l'impronta A che durante le scansioni -10 e -12 abbia apertura compresa fra 12 e 13 e che scenda ad apertura non superiore a 12 alla scansione -11;
- l'oggetto che produce l'impronta B abbia una coordinata azimutale compresa fra +1 e +2 passi di campionamento azimutale.

Entrambi i meccanismi sono quindi in grado di spiegare il comportamento osservato durante le scansioni -12 5 - 11 e -10; pertanto l'individuazione di quale dei due sia più verosimile deve essere basata su altri elementi.

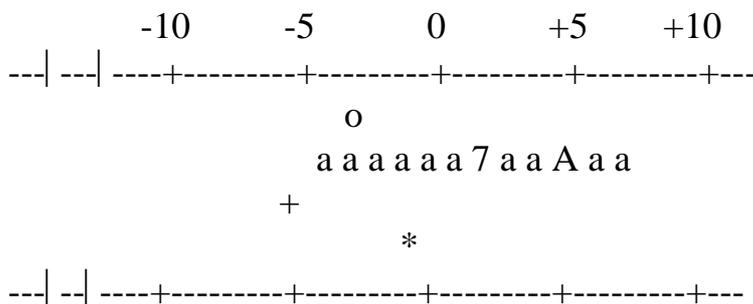
7.3 Il punto 0.

Questo punto rappresenta l'ultimo rilevamento completo (PR+SSR) del DC9 prima dell'incidente. Il rilevamento del radar Marconi è riassunto nella tabella che segue:

Punto	Estratt.	Range (NM)	Azimuth	Numero di Scansione
0	3	129.125	166°01'	0

La posizione angolare “reale” del velivolo è quella desumibile, come già visto in precedenza, dalla regressione M2 operata sui rilevamenti finali e coincide praticamente con quella del punto X (luogo stimato dell’incidente), e cioè 165°52’, pari a -1 passo di campionamento azimutale.

Per quanto riguarda l’impronta nominale, il livello relativo corrispondente alla distanza del punto 0 è pari a +1.6dB rispetto al minimo livello di rilevabilità, e corrisponde ad un’impronta di apertura 12, collocata come nella mappa che segue:

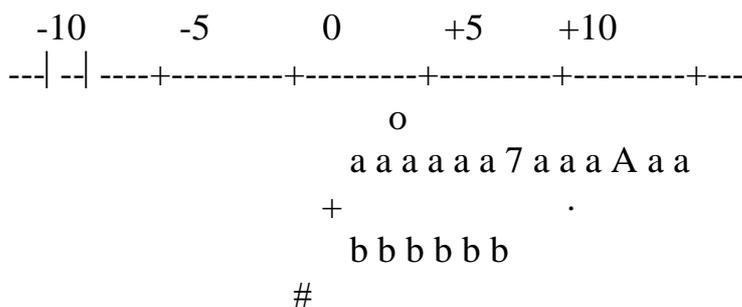


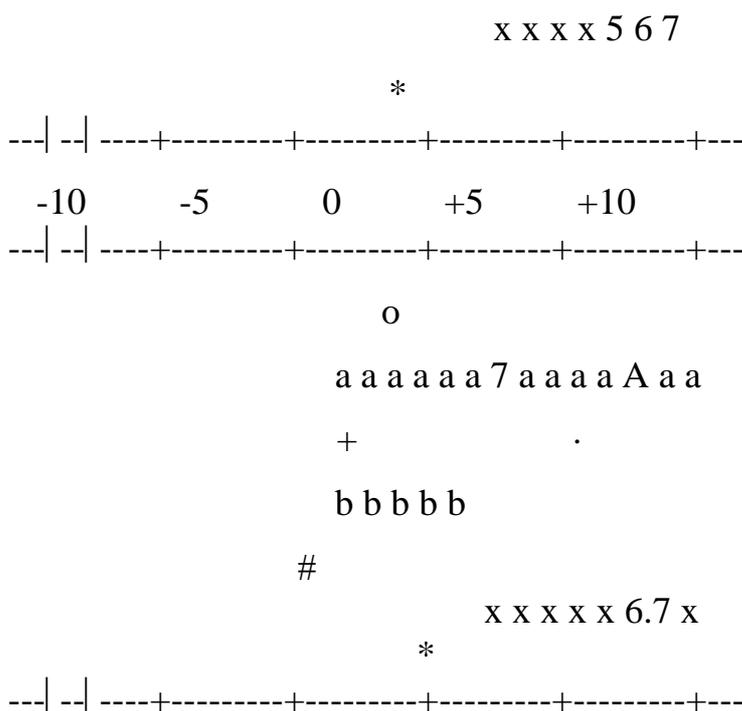
Con il simbolo “+” è indicata la posizione del rilevamento che avrebbe dovuto fornire la MW in presenza dell’impronta nominale, mentre con simbolo “*” è mostrato il rilevamento effettivamente osservato.

Si osserva uno spostamento a destra di 3 passi di campionamento azimutale.

Il solo meccanismo che si può ragionevolmente prendere in considerazione per spiegare tale spostamento sembra essere quello del mascheramento della parte sinistra dell’impronta A da parte di un’impronta B che per sua natura (apertura minore di 7) non dia luogo ad un proprio rilevamento.

Le configurazioni possibili sono quelle indicate nelle mappe seguenti, con aperture di A rispettivamente 13 e 14 (cioè lievemente superiori a quella nominale).





In entrambe il simbolo “#” indica la coordinata angolare dell'oggetto che è all'origine dell'impronta B, che varia fra -4 e -4.5 passi di campionamento angolare.

7.4 Ipotesi di traiettorie.

Sulla base delle stime precedenti riguardanti le coordinate azimutali del velivolo nascosto, possiamo tentare di stimare la sua traiettoria, tenendo anche conto dei punti 1.1 e 3.1 individuati fra quelli successivi all'incidente.

Mancano tuttavia, per i punti precedenti l'incidente, le indicazioni relative alla distanza. Si può solo affermare, sulla base delle ipotesi prese in considerazione, che:

- nel caso in cui si consideri il meccanismo della cattura, la distanza deve essere la stessa dell'oggetto che ha dato luogo all'impronta principale (cioè il DC9).
- nel caso in cui si consideri il meccanismo del mascheramento, la distanza deve essere compresa fra quella del DC9 e la stessa diminuita di circa 1NM (limite entro il quale si verifica il meccanismo del blanking).

Nel seguito, per quanto riguarda il blanking, assumeremo come tentativo una distanza pari a quella del DC9 diminuita di 0.2NM. Pertanto, sulla base di quanto sopra, considereremo le seguenti due sequenze di punti, la prima che si riferisce all'ipotesi di mascheramento per i punti -12 e -10, la seconda che invece considera il meccanismo della cattura:

Punto	Tempo (s)	Range (NM)	Azimuth (primi)
-11	-61.6	121.05	12.8
0	0	128.925	-36.0
1.1	5.6	129.5	-47.0
3.1	16.71	130.21	-73.0

Punto	Tempo (s)	Range (NM)	Azimuth (primi)
-11	-61.6	121.25	-132.8
0	0	128.925	-36.0
1.1	5.6	129.5	-47.0
3.1	16.71	130.21	-73.0

Le traiettorie che si ottengono sono mostrate nella figura 7.2; in essa sono indicate sia le ipotesi di traiettorie per il velivolo nascosto, sia la traiettoria del DC9 fino al punto X.

Nella figura 7.3 sono mostrate le velocità e accelerazioni in funzione del tempo. Dall'esame di quest'ultima figura, in particolare, si vede che mentre la velocità istantanea associata alla traiettoria desunta sulla base dell'ipotesi "cattura" è molto elevata (circa 500m/s nel suo valore massimo), la traiettoria basata sull'ipotesi "mascheramento" appare assai più verosimile, in quanto la velocità istantanea si discosta poco da quella del DC9.

Pertanto sembra ragionevole assumere, per l'aereo nascosto, la traiettoria desumibile sulla base dell'ipotesi "mascheramento".

Il discorso dei consulenti è chiaro, la sua evoluzione bene argomentata e comprensibile anche nei passaggi più puramente tecnici.

Allo stato non si ravvisano elementi di critica o di contrasto.

Nel capitolo 8 i consulenti redigono un confronto dei dati radar del nostro disastro con quelli del disastro di Lockerbie. Dapprima un'analisi comparata delle caratteristiche dei voli al momento dell'incidente; poi le caratteristiche dei radar del caso di Lockerbie; quindi la metodologia di analisi. I risultati sono visualizzati nelle figure che si riportano (figure 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9); ciascuna di essi si riferisce all'intervallo di tempo compreso fra due scansioni radar successive relative al caso Lockerbie. Nelle figure sono rappresentate:

- il punto in cui è avvenuto l'incidente con un rombo pieno;

- i rilevamenti di Lockerbie con un rombo vuoto prima dell'incidente e con una croce di S.Andrea dopo;
- il poligono convesso che li contiene;
- i rilevamenti radar di Ustica corrispondenti con un quadratino vuoto.

Di seguito i consulenti pongono i seguenti criteri: - si può dichiarare l'eco interpretabile come frammento (situazione indicata con sì nella tabella seguente) quando l'eco si trova all'interno del corrispondente poligono oppure quando, pur essendo all'esterno, la distanza dal perimetro del poligono è significativamente inferiore alle dimensioni del poligono stesso; - si dichiarerà non interpretabile come frammento (indicato con no) il rilevamento radar che si trova ad una distanza dal poligono significativamente maggiore rispetto alle dimensioni del poligono stesso; - si dichiarerà come incerto un eco radar che si trova in posizione intermedia fra le due precedenti.

Questa la tabella dei risultati:

Plot	Frammento?	Plot	Frammento?
1	No	8a	No
2a	Sì	8b	Sì
2b	No	9a	No
3	No	9b	No
4	Incerto	10	Incerto
5	No	11	Incerto
6	Incerto	12	No
7	Incerto		

Si osserva perciò che anche sulla base del confronto tra i rilevamenti radar del caso Ustica e quelli del caso Lockerbie, risulta che per un numero significativo di plots non può essere assunta l'ipotesi che tali plots siano originati da frammenti del velivolo in caduta, e che pertanto possono essere giustificati sulla base della presenza di altri aerei nell'intorno del DC9.

Comparando da ultimo il criterio del confronto con Lockerbie con quello del confronto assoluto ne emerge la seguente tabella:

Plot	Criterio Assoluto	Confronto con Lockerbie
1	No	No
2a	Sì	Sì
2b	No	No

3	No	No
4	Sì	Incerto
5	No	No
6	Sì	Incerto
7	No	Incerto
8a	No	No
8b	Sì	Sì
9a	No	No
9b	No	No
10	No	Incerto
11	No	Incerto
12	No	No

Come ben si vede la coincidenza tra i risultati ottenuti applicando i due criteri è praticamente completa.

Dopo un'analisi degli oggetti interpretabili come frammenti e l'interpretazione della traiettoria A/D, che allo stato non è necessario esaminare nel dettaglio, queste le conclusioni, precise e di grande rilievo per il confronto con altre elaborazioni scientifiche di ricostruzione dello scenario.

“La principale conclusione che si ricava dall'analisi dei dati forniti dal radar di Fiumicino è che con grandissima probabilità almeno tre velivoli si trovavano nelle immediate vicinanze del DC9 prima e dopo l'incidente: a tale conclusione si giunge applicando diversi ed indipendenti criteri. Esiste la possibilità, non escludibile coi soli dati radar, che un ulteriore aereo sia stato coinvolto con l'incidente.

Lo scenario desumibile dalle osservazioni dei radar civili situati a Fiumicino, può essere così riassunto:

- nell'ultima parte del volo il DC9 è affiancato da due velivoli che percorrono una rotta circa parallela a quella del DC9, ad una distanza di circa 30NM a Ovest del DC9; poco prima dell'incidente, i due velivoli compiono una virata verso Est e si separano, percorrendo due traiettorie distinte (separazione fra le traiettorie di circa 1NM). Le due traiettorie convergono su un'unica traiettoria in direzione Est che i due aerei percorrono distanziati di circa 30s, scomparendo al radar in direzione Est.
- Il DC9 Itavia è seguito, nell'ultima parte del volo, da un velivolo relativamente piccolo, che percorre approssimativamente la stessa rotta del DC9 mantenendosi nella sua “ombra” radar; poco prima del momento dell'incidente, il velivolo in questione compie una virata verso sinistra e quindi scompare al radar in direzione approssimativamente verso Est.

Per quanto riguarda il moto del DC9 e dei suoi frammenti dopo il momento dell'incidente, si possono formulare due scenari alternativi, entrambi compatibili con le osservazioni radar:

1. Il grosso del DC9 compie una stretta virata verso Ovest di circa 270° prima di scomparire al radar e precipitare in mare; nello stesso tempo dal velivolo si staccano parti importanti che precipitano in mare approssimativamente nelle zone di ritrovamento denominate "A" e "C";
2. Il velivolo al momento dell'incidente si separa in frammenti (fusoliera, ali, coda, ecc.) che precipitano seguendo le leggi del moto dei gravi in atmosfera; contemporaneamente un velivolo, che fino al momento dell'incidente si è mantenuto molto vicino al DC9, emerge alla visibilità radar, compiendo quindi una stretta virata verso Ovest di circa 270°, e successivamente scomparendo approssimativamente in direzione Est.

Nel secondo degli scenari sopra delineati non si può escludere che la distanza tra l'aereo che si è mantenuto molto vicino al DC9 e ed il DC9 stesso si sia ridotta, al momento dell'incidente a valori molto piccoli.”.

Elenco Figure

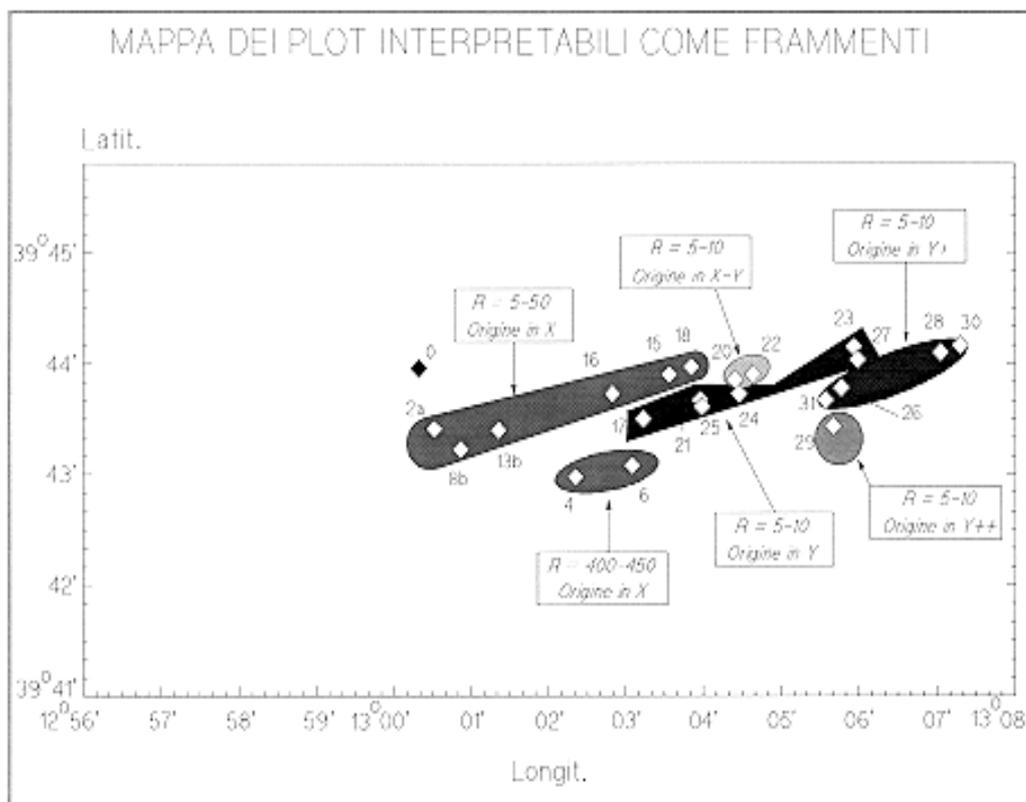


Figura 5.48.

Plot	Zona di ritrovamento
2a,8b,13b,15,16,18	F
4, 6	C (parte orient.)
altri	E

MAPPA DEI PLOT NON INTERPRETABILI COME FRAMMENTI

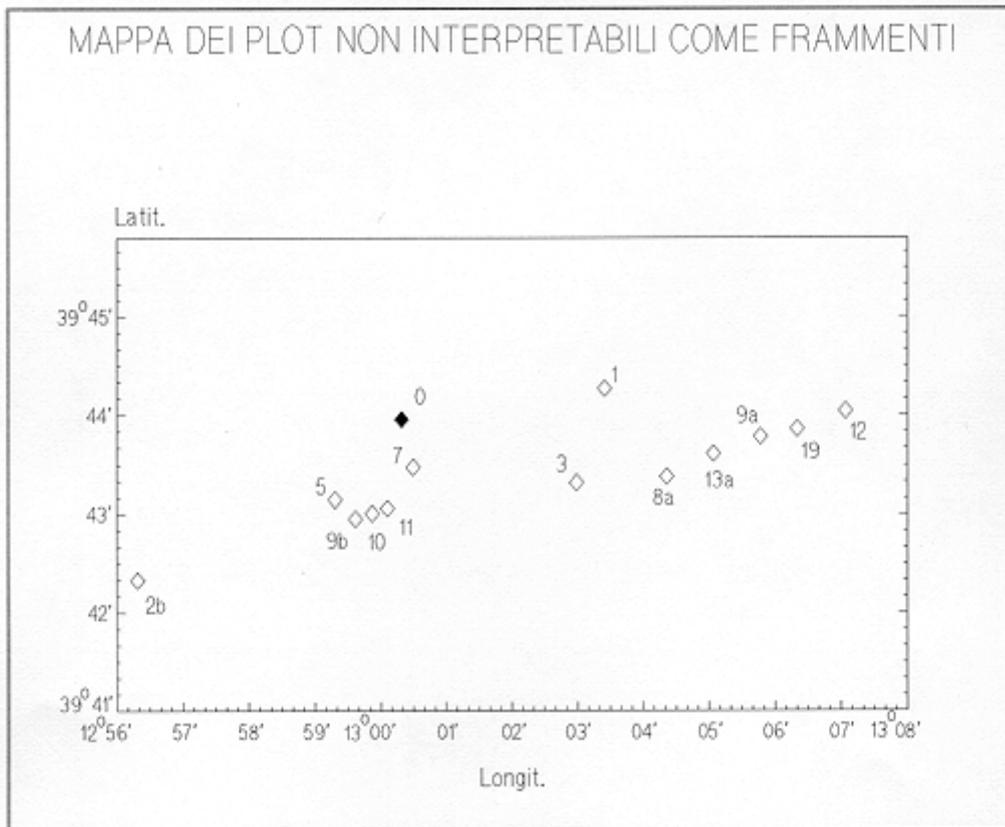


Figura 5.49.

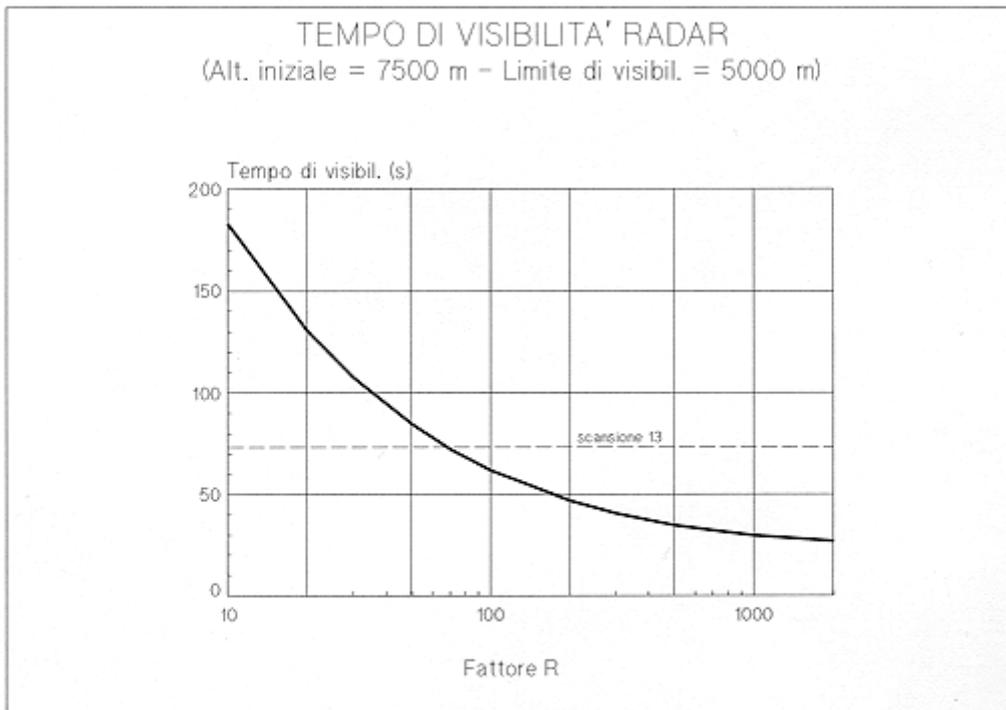


Figura 6.1.

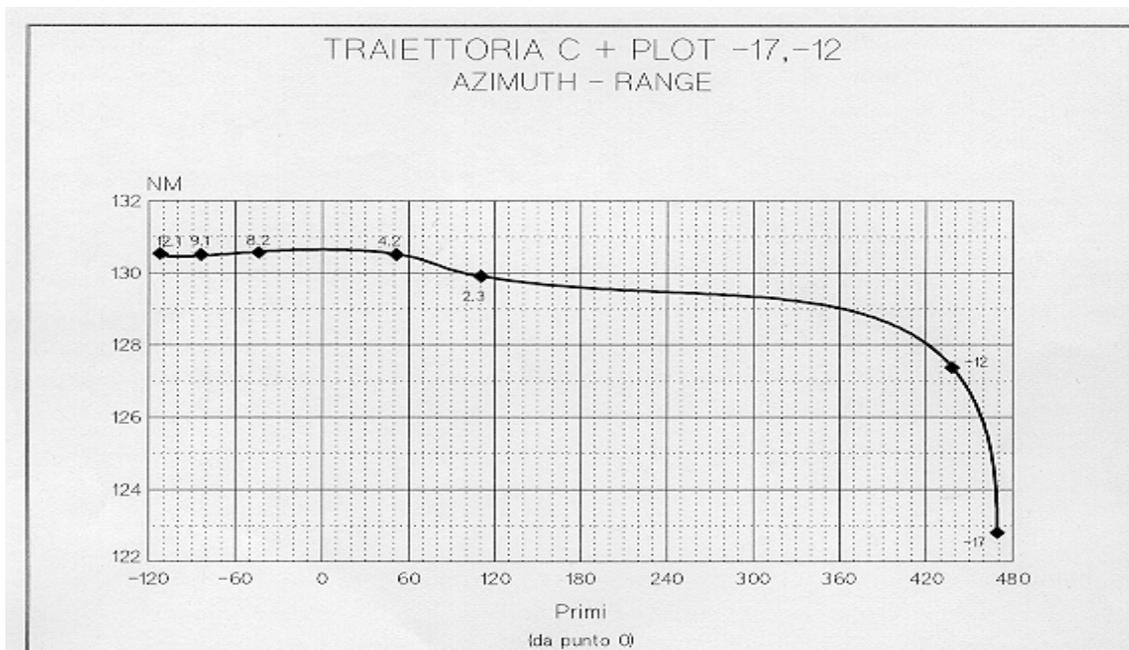


Figura 6.26.

ΕΙΡΩΝ Ε'ΣΔ'

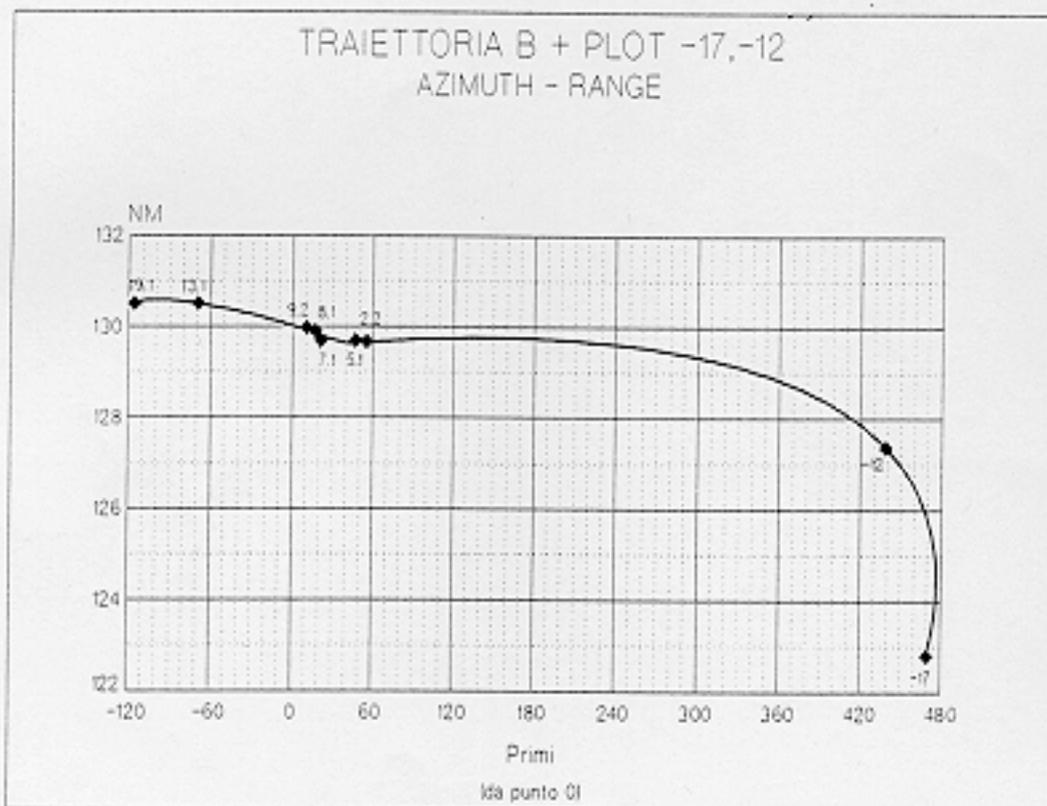
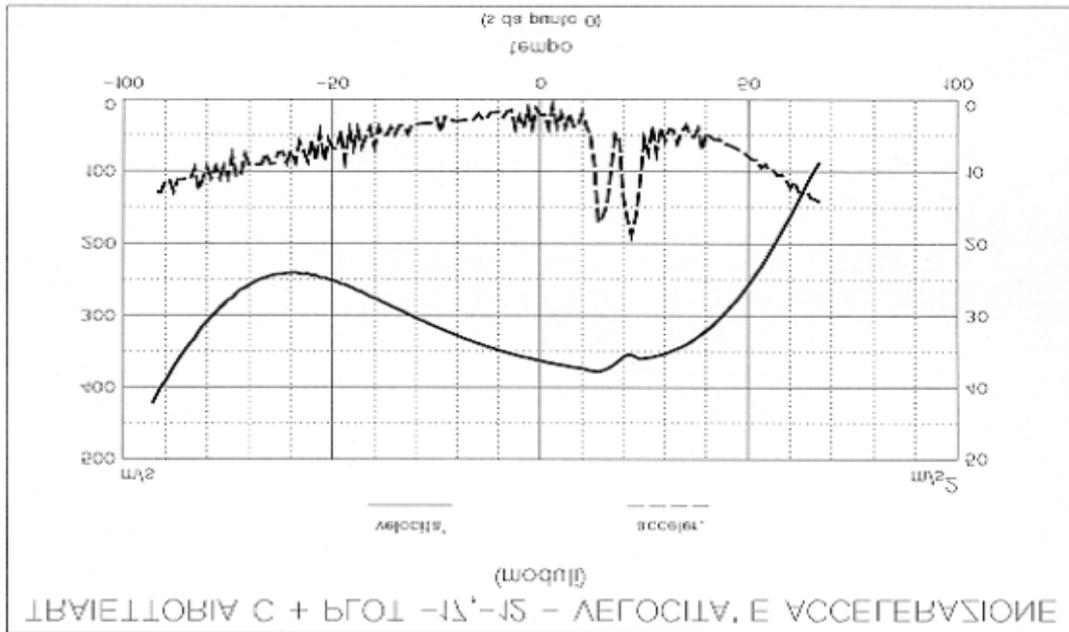


Figura 6.28.

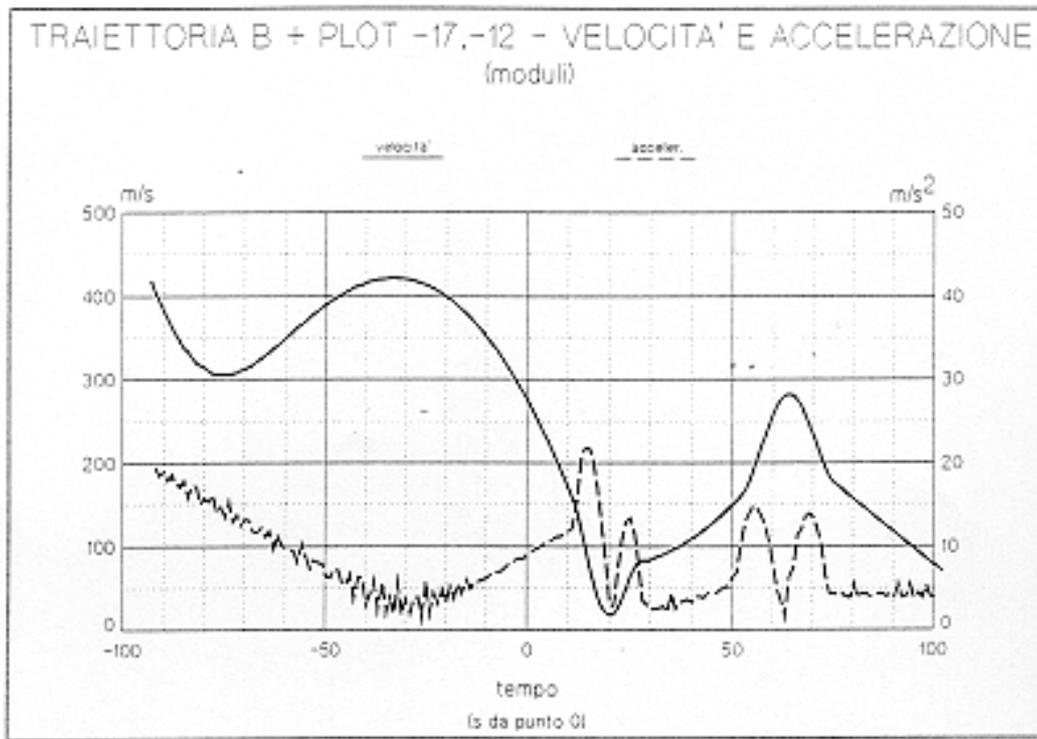


Figura 6.29.

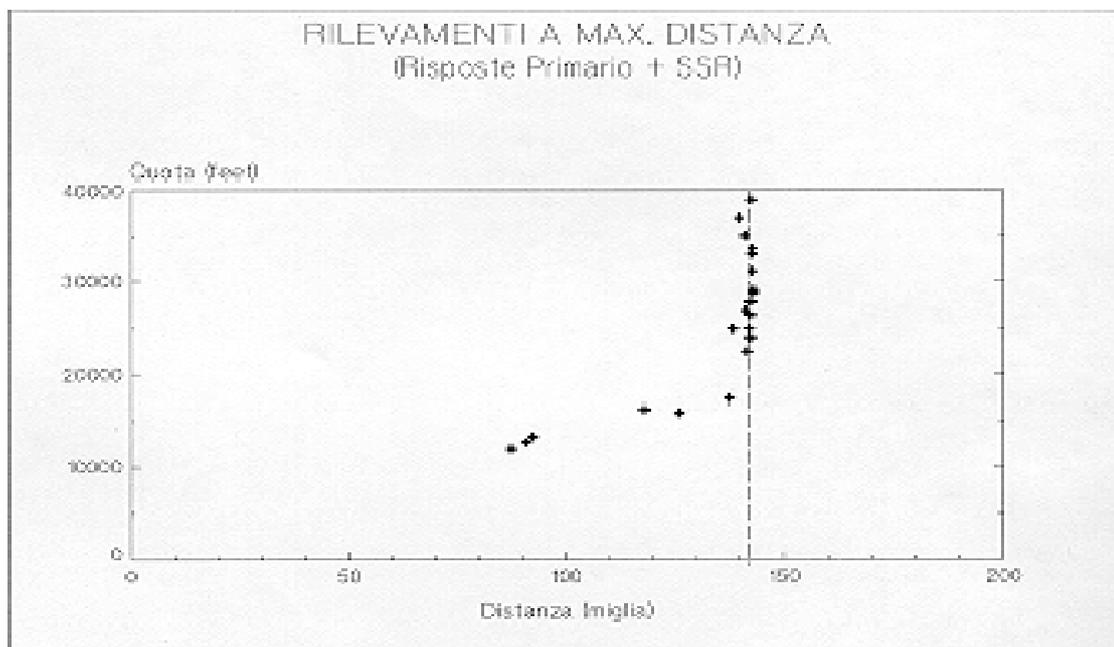


Figura 7.1.

Traiettoria Itavia + aereo nascosto Azimuth-Range

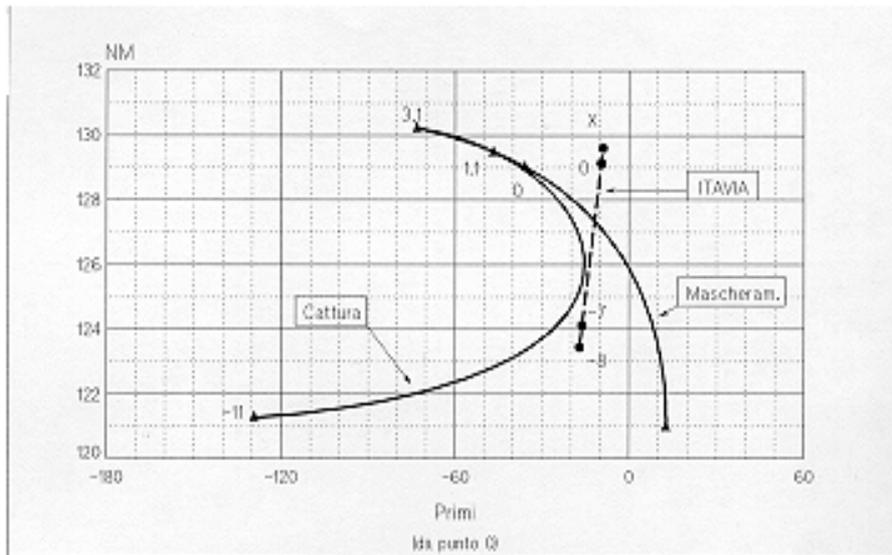


Figura 7.2.

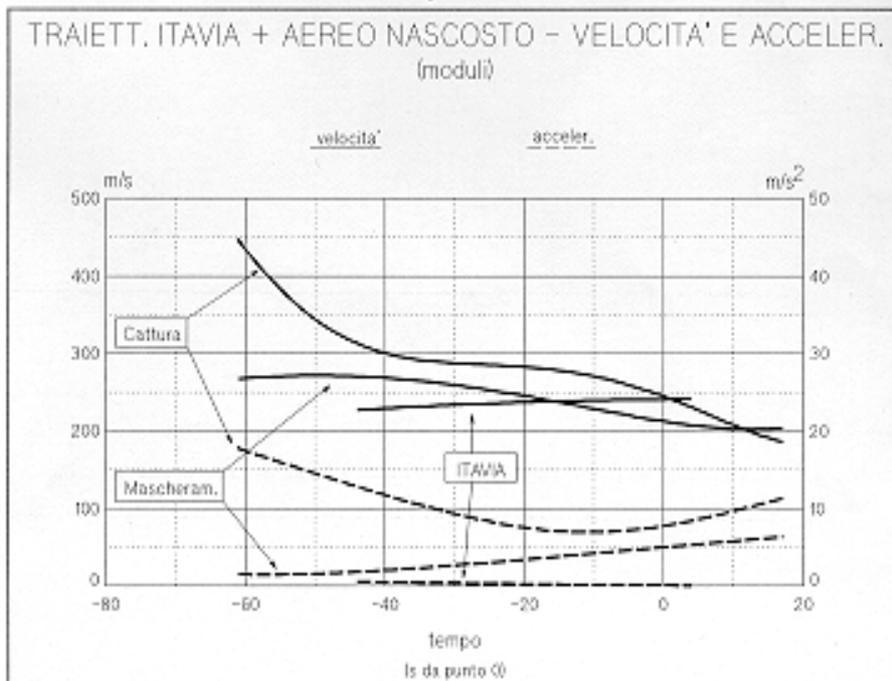


Figura 7.3.

Confronto Lockerbie-Ustica.
Tempo=0 ... +8

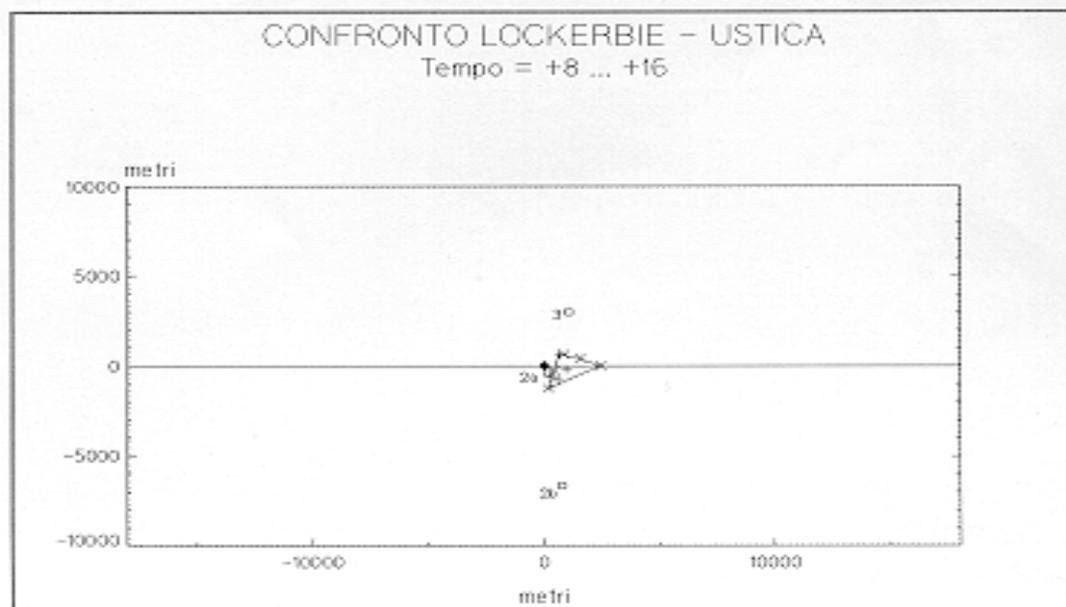
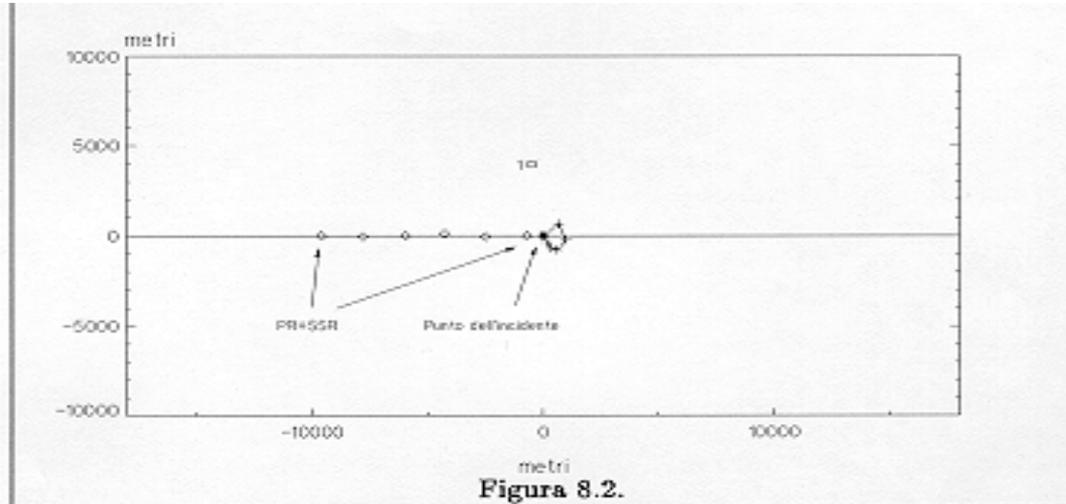
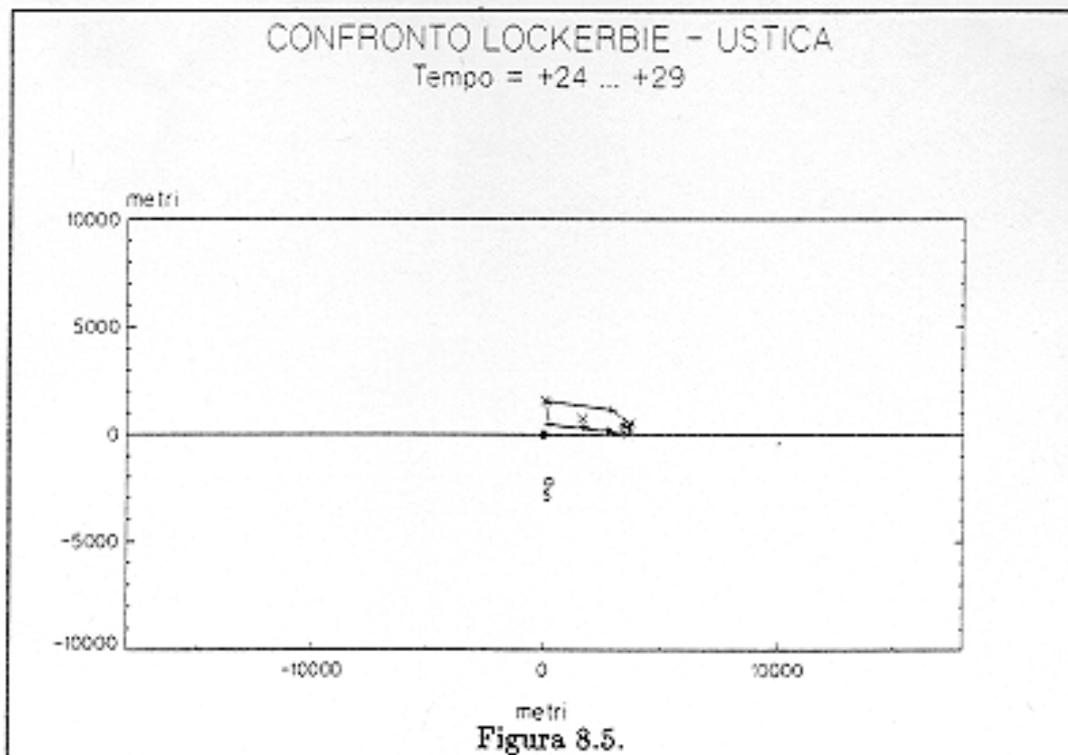
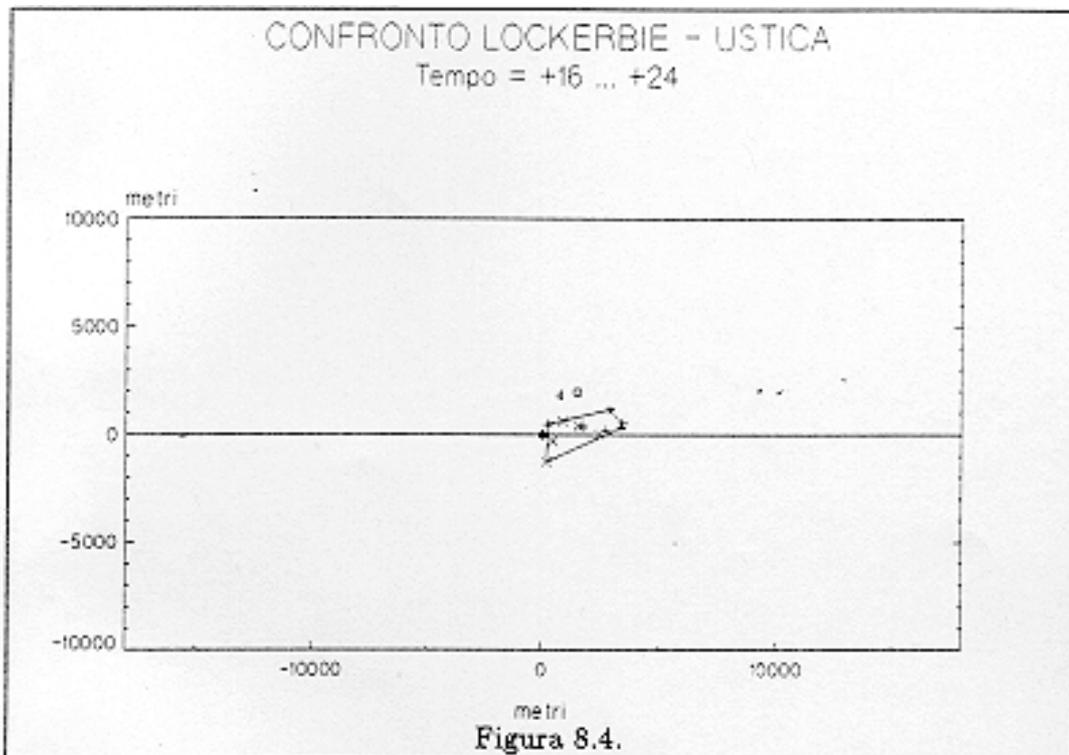
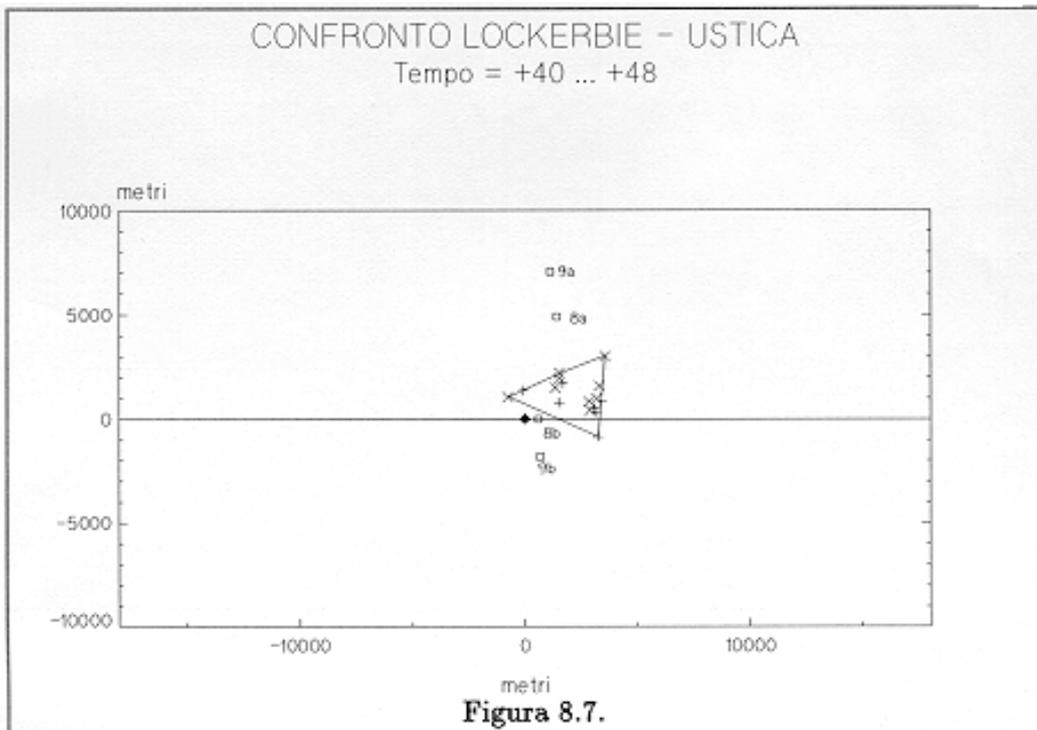
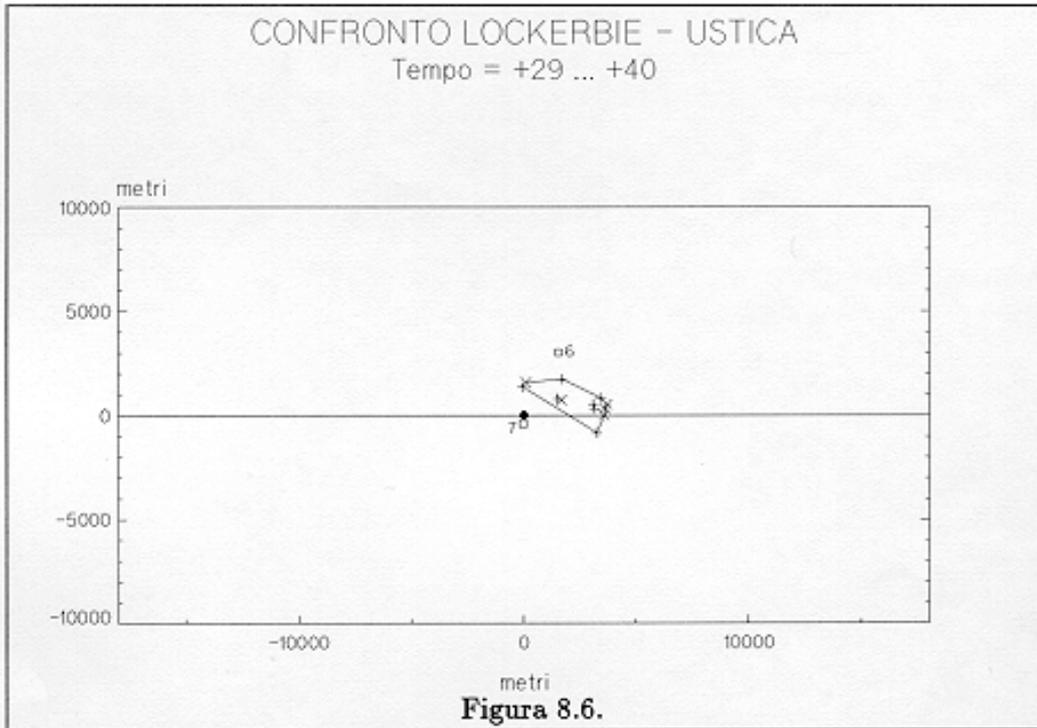
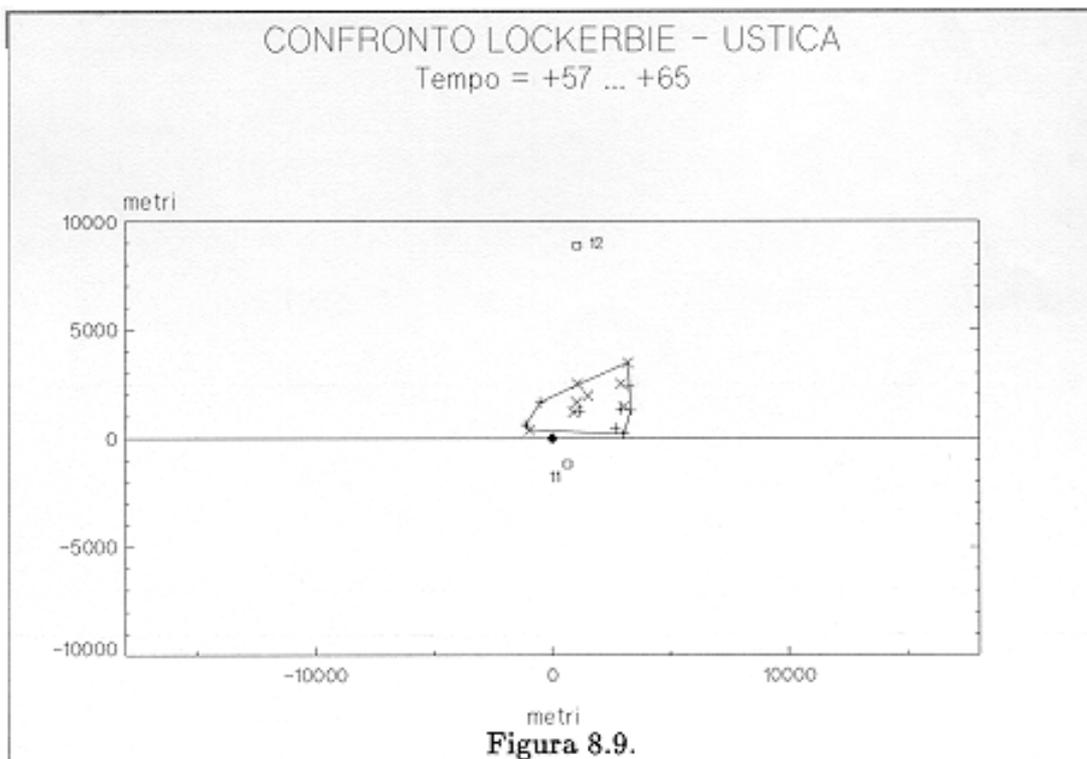
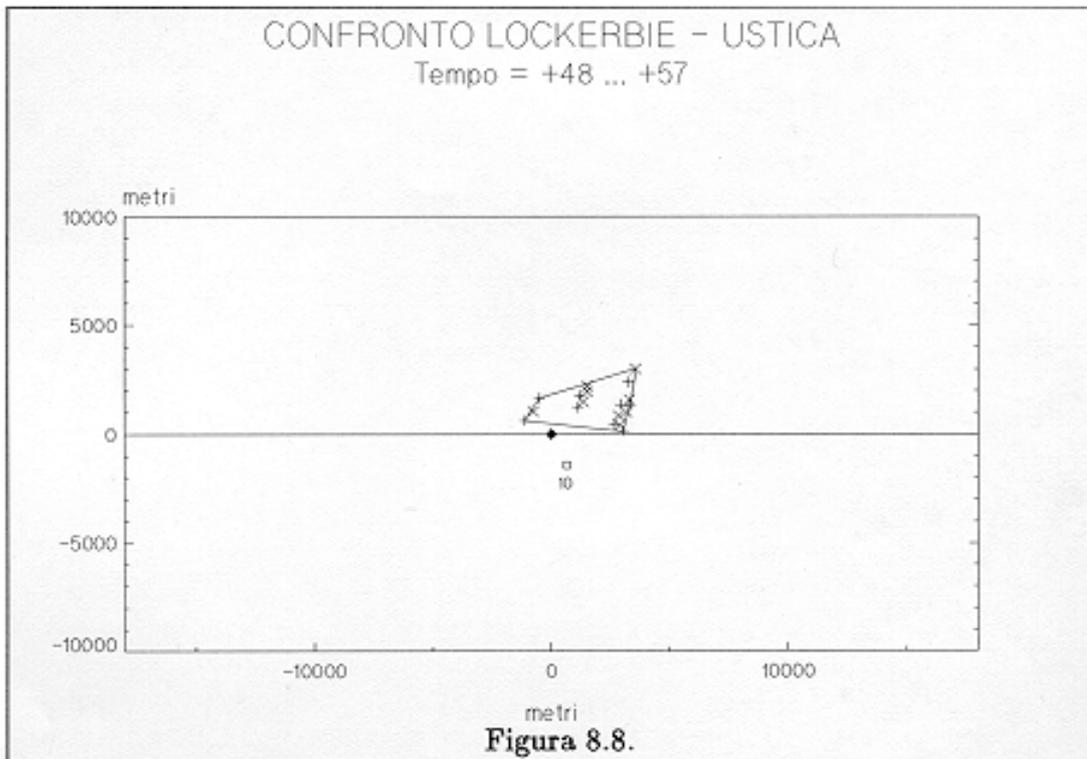


Fig.8.3.







* * * * *