

**Capitolo XLVIII**  
**Perizia tecnico-scientifica Misiti ed altri - 23.07.94.**

Il 25 settembre successivo alla proposizione dei quesiti a chiarimenti al collegio Blasi, questo ufficio poneva i quesiti di rito al collegio

nominando con ordinanza del 31 agosto precedente, modificando in parte quello già nominato dal precedente titolare dell'inchiesta, che constatata la spaccatura del Blasi, si era determinato a costituire un nuovo collegio a formazione internazionale. Questo collegio era stato nominato in data 18.07.90 e cioè il giorno stesso in cui quel titolare chiedeva al Presidente del Tribunale di astenersi dall'inchiesta. Il successore, anche al fine di integrare il collegio con elementi di Paese non aderente alla NATO, aggiungeva gli svedesi Lilja Goran e Gunvall Gunno con l'ordinanza predetta.

Il collegio quindi era composto da Misiti Aurelio, Preside della facoltà d'Ingegneria dell'Università La Sapienza di Roma e Professore di Ingegneria Idraulica; Santini Paolo, Professore Ordinario di Costruzione Aeronautica di Ingegneria dell'Università La Sapienza di Roma; Castellani Antonio, Ricercatore Capo del CNR presso il Dipartimento Aerospaziale dell'Università di Roma La Sapienza; Picardi Giovanni, Professore Ordinario di Sistemi di Rilevamento e Riconoscimento presso l'università La Sapienza di Roma e Direttore del Dipartimento di Scienza e Tecnica dell'Informazione e Telecomunicazione della medesima Università; Casarosa Carlo, Professore Ordinario di Meccanica del Volo presso l'università di Pisa e Direttore del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale presso la facoltà di Ingegneria della stessa Università; Förshing Hans, Professore di Aeronautica presso l'università di Braunschweig; Taylor Arnold Francis, Ingegnere Aeronautico specializzato in incidenti aerei e Direttore del Cranfield Aviation Safety Centre; Cooper Dennis Cyril, Professore presso l'università di Birmingham e Capo del Radar and Remote Sensing Group di Birmingham; Lilja Goran, Ingegnere Capo Sezione Sicurezza del Volo del FFA di Bromma (Svezia); Gunvall Gunno, Responsabile dell'ufficio di Analisi Radar del Ministero della Difesa di Stoccolma (Svezia).

A detto collegio venivano posti i seguenti quesiti:

1. Quesito generale.

1.1. Accertino i periti, esaminati gli atti, i documenti e i reperti acquisiti e che si acquisiranno, e compiuta ogni necessaria operazione peritale, quali siano state le cause della caduta dell'aeromobile e i mezzi che l'hanno cagionata, rispondendo ai seguenti quesiti specifici:

2. Quesiti specifici.

2.1. Esaminata la documentazione acquisita e in via d'acquisizione sugli elementi e sul funzionamento del sistema ATCAS nel Centro di Fiumicino-Ciampino, in particolare sulla predisposizione degli estrattori Selenia

accoppiati al radar Marconi, accertino le caratteristiche di funzionamento del sistema al 27.06.80, data dell'evento per cui si procede.

2.2.Sulla base (i) di quanto sopra accertato ed esaminati (ii) i nastri del radar Marconi e Selenia di Fiumicino, (iii) le precedenti perizie e le relative mappe, (iv) nonchè ogni altra documentazione utile, riconoscano le possibili traiettorie per l'intero periodo delle registrazioni. Identifichino poi gli oggetti che le hanno determinate.

2.3.Esaminati i dati radar del Centro della Difesa Aerea di Licola trascritti sulla documentazione acquisita, accertino se corrispondono a rilevamenti effettivamente verificatisi.

2.4.Esamine le modalità di funzionamento del sistema Nadge, accertino (i) quali siano le modalità di registrazione dei dati radar (ii), quali le modalità di trasmissione dei dati da sito a sito (iii), quali i programmi di riduzione dei dati, (iv) se le registrazioni siano manipolabili o alterabili.

2.5.Esaminati i nastri, le precedenti perizie e gli atti processuali comunque concernenti il sito ed ogni altra documentazione anche in via di acquisizione, (i) ricostruiscano le operazioni compiute nel sito di Marsala la sera del 27.06.80, (ii) interpretino le registrazioni, (iii), accertino, se i nastri radar siano stati manipolati o alterati, e ciò anche con riferimento alla operazione Synadex.

2.6.Esaminata la documentazione relativa ai dati radar del Centro della Difesa Aerea di Poggio Ballone (Grosseto), identifichino le tracce da tale sito registrate.

2.7.Coordinati e comparati i precedenti accertamenti e quegli altri che fosse necessario compiere sui restanti siti, collegati in cross-tell o anche fuori Nadge e di Traffico Aereo, che comunque hanno registrato la situazione radar di quel 27.06.80, riferiscano se v'è compatibilità tra le ricostruzioni e comunque quale fosse la situazione del cielo il giorno predetto.

2.8.Considerato tutto quanto innanzi indicato e compiuti gli ulteriori accertamenti eventualmente necessari, valutino la dinamica dell'aeromobile e/o di sue parti dopo l'evento.

2.9.Considerate (i) le strutture dell'aeromobile, (ii) esamine le parti recuperate, (iii) valutati gli accertamenti tecnici e peritali sulle stesse già effettuati come quelli sui restanti reperti e sulle salme, e (iv) compiuti quelli che si dovessero ritenere necessari, accertino (a) gli effetti dell'esplosione sulle parti dell'aeromobile, (b) il punto o l'area relativamente all'aeromobile ove essa si è verificata, (c) le caratteristiche dell'ordigno e (d) ogni altro elemento utile ai fini dell'indagine.

2.10.Esaminati le precedenti perizie e tutti gli atti concernenti i frammenti, ne accertino: (i) la composizione; (ii) comparativamente con i materiali

degli elementi del velivolo; (iii) in caso negativo ne accertino la natura e la provenienza.

2.11. Considerate le parti recuperate, esaminate quelle che risultano riprese dalle video-cassette all'atto dell'interruzione delle operazioni di recupero, e valutate le entità e l'importanza delle parti mancanti, riferiscano sull'opportunità di procedere ad una ulteriore campagna di recupero.

2.12. Riferiscano i periti su ogni altra risultanza comunque utile alla ricostruzione dell'evento.

In esito il GI, di concerto con il collegio, designava come Coordinatore il Preside Aurelio Misiti. (v. verbale di incarico peritale del 25.09.90)

Gli adempimenti peritali sono durati circa quattro anni, giacchè l'elaborato sarà depositato soltanto il 23.07.94. Durante questo periodo molteplici sono state le vicende degne di nota e di esse si scriverà oltre dopo aver indicato le specifiche risposte di quel collegio. Qui solo l'unica novità nella sua composizione; in unione ai membri già detti, l'ufficio in data 10.07.93 nominava il prof. Manfred Held, al quale il 29 successivo venivano posti gli stessi quesiti già oggetto del precedente incarico (v. verbale di incarico peritale 29.07.93). Tale nomina fu necessitata dal fatto che pur tra le diverse discipline in quel collegio rappresentate, vi mancava un esperto in missilistica, utile al fine di verificare l'ipotesi della caduta del DC9 a causa di missile.

L'elaborato di questo collegio veniva depositato, al termine di quarantasei mesi di lavori e più rinvii dovuti a molteplici difficoltà, il 23 luglio dell'anno 94.

Quei periti così rispondevano al quesito generale "1.1. il collegio, dopo, l'esame degli atti, dei documenti, dei reperti acquisiti, degli atti e delle perizie depositate dalle parti, ha concluso che la caduta del velivolo fu causata dalla rottura in volo della parte posteriore della fusoliera. Questa caduta è stata il risultato di un grave danno strutturale provocato dalla detonazione di una carica esplosiva dentro la toilette posteriore".

Così rispondevano ai quesiti specifici: 2.1. "sulla base della documentazione resa disponibile, nel paragrafo 2 della parte I è riportata la struttura del radar di Fiumicino e del centro di Ciampino al momento dell'incidente; le caratteristiche globali sono riportate in tab.2.1. Particolare attenzione è stata rivolta alla analisi della modalità di campionamento ed ai circuiti di "blanking" e "antijitter". È stata effettuata una analisi teorica per valutare le prestazioni attese in termini di errori angolari ed in distanza. Le prove di simulazione effettuate sull'apparato hanno validato la teoria

aiutando ad interpretare la configurazione dell'intero sistema radar. Quanto sopra è riportato nei paragrafi 3, 4 e 5 parte V. (Vol.III)".

2.2.“Facendo uso di opportuni programmi messi a punto allo scopo, nel par. 6 parte V è riportato lo scenario del radar Marconi (che in qualche modo comprende quello del radar Selenia) come apparso dalle registrazioni; in particolare 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 ammettono sulla traccia del DC9 I-Tigi, al fine di averne la copertura radar”.

2.3.“Dalle analisi degli andamenti delle tracce di Licola prima dell'incidente e relativo confronto con i corrispondenti andamenti come disponibili dai radar Marconi e Marsala (v. sezione II della Parte VII) è possibile notare scostamenti nello spazio e nel tempo (oltre ad una diversa temporizzazione) che appaiono non rilevanti e probabilmente dovuti al fatto che il sito in oggetto era di tipo fonetico-manuale. Per quanto concerne le conversazioni di Martina Franca sono state fatte diverse osservazioni che insieme allo scenario immediatamente seguente l'incidente sono riportate nel par.II.3 e nella figura II.3.1 (Parte VII)”.

2.4.“Le modalità di funzionamento del sistema Nadge, con particolare riferimento all'apparato radar, sono descritte nella Parte VI. In particolare le varie tracce radar e le varie azioni connesse ai singoli operatori possono essere registrate su nastro magnetico. La Tracking History Recording (THR) fornisce la storia delle varie tracce come disponibili dopo un estrattore. In altre parole i singoli plots del radar non sono registrati ma sono registrati solo dei simboli connessi al filtraggio dei dati radar realizzato dal computer secondo un opportuno algoritmo. La Console Data Recording (CDR) descrive invece le operazioni dei singoli operatori. In particolare nella relazione (par.fi. 6 e 7) sono riportati i dettagli delle singole colonne delle due registrazioni da cui si evince anche (v. in particolare Tell States del par.6 e All.A) le modalità di trasmissione dei dati da sito a sito. Dalla analisi dei programmi di riduzione dei dati e dal contenuto degli stessi si evince che le registrazioni sono in linea di principio manipolabili e alterabili, anche se tale manipolazione appare non di facile realizzazione ed in ogni caso effettuabile da persone che conoscono bene l'intero sistema”.

2.5.“Lo scenario relativo al radar Marsala è riportato nei parr.8, 9 e 10 della Parte VI, relativamente agli intervalli di tempo 18.20÷19.04, 19.12÷19.22 e 19.48÷20.06; sono anche ricostruite le operazioni compiute nel sito di Marsala la sera del 27.06.80. In particolare sono analizzate le THR e CDR relative alle singole tracce analizzando le evoluzioni delle stesse. Data la modalità di registrazione (v. anche par.11) delle varie tracce (basso rate) è

stata effettuata una particolare analisi nel par.12 al fine di accertare l'attendibilità delle registrazioni disponibili, individuando l'algoritmo usato nella registrazione e la validità dello stesso durante l'intera registrazione. Dalla analisi di cui sopra è possibile ritenere che la registrazione non appare manipolata o alterata. Per quanto concerne la Synadex è stato in particolare esaminato il nastro Synadex SPS.5904.SPS, SPS.5904-Raid Tape Sito 53 ... e dalla analisi effettuata è stato possibile concludere: il tipo di esercitazione relativo al nastro di cui sopra appare congruente con la esercitazione relativa allo scenario radar 19.12÷19.22 subito dopo l'incidente, quindi dovrebbe essere originato dallo stesso "Master Raid Tape" (che descrive lo scenario operativo che può interessare uno o più centri radar). Ritenendo che nei singoli siti radar sia impossibile operare spostamenti dell'intero scenario simulativo, si ritiene che il nastro in questione non sia il "Raid Tape" ossia il nastro specifico di Marsala, della esercitazione di cui nell'intervallo di tempo 19.12÷19.22".

2.6. "Nella sez.I della Parte VII è stato analizzato lo scenario fornito dei dati disponibili del radar di Poggio Ballone e anche Potenza Picena. Da un confronto di detto scenario con il corrispondente del radar Marconi, ci sembra di poter asserire che l'algoritmo di tracciamento delle tracce (TWS) è da ritenere insufficiente in uno scenario minimamente complesso (come quello presente nel centro e Nord Italia) e quindi i dati disponibili dai radar militari di cui sopra siano di irrilevante interesse ai fini dell'indagine in questione e non portano che scarse informazioni sui dati forniti dal radar Marconi".

2.7. "Dalla comparazione degli scenari relativi ai radar Marconi e Marsala (v. parr.8 e 9 di Parte VI) è stato possibile osservare la piena congruenza nei limiti delle portate relative. Peraltro analizzati anche i vari collegamenti fra siti (v. anche quesito 2.6), è da ritenere che la situazione del cielo radar la sera del 27.06.80 sia quella riportata nel par.6 della Parte V, in particolare è possibile concludere che i vari tracciati radar identificati o meno non mostrano uno scenario radar particolarmente complesso e non esiste evidenza radar di uno o più aerei che si immettano sulla traccia del DC9 I-Tigi al fine di averne copertura radar".

2.8. "Il DC9 I-Tigi percorreva negli ultimi 600sec la rotta Ambra 13, volo che appare regolare, come anche avvalorato dalla conversazione radio terra-bordo-terra; esiste per il radar Marconi una buona corrispondenza fra i 34 plots (dopo l'incidente sono presenti 30 plots più quattro doppi) e la dislocazione dei ritrovamenti dei relitti del DC9 I-Tigi; la corrispondenza di cui sopra è possibile pensando (a titolo esemplificativo) ad un break-up pressoché improvviso con caduta dei vari "pezzi" qualche secondo dopo l'ultima trasmissione SSR. A questa fase ha fatto seguito una fase di

separazione di altri “pezzi”; la durata connessa alla separazione dei vari pezzi significativi dal punto di vista radar potrebbe essere avvenuta in una decina di secondi; il primo plot dopo il tempo “0”, tempo corrispondente all’ultima trasmissione SSR, può essere interpretato come dovuto ad un punto dei primi pezzi che si è distaccato dall’aereo (ad es. un motore); il plot 2b può essere interpretato come corrispondente ad un pezzo dell’aereo con errore azimutale rilevante per effetto del blanking (può aver avuto influenza il circuito antijitter ed anche la scintillazione angolare); tre dei plots doppi (8a, 9a 13a) e due dei residui (12, 19) possono essere interpretati come dovuti ad una successiva separazione di uno o più pezzi a basso valore di R e dislocati azimutalmente verso Est per effetto del blanking. Pertanto tutti i plots dopo l’incidente sono da considerare echi di ritorno dai relitti dell’aereo stesso. A questo punto è stata fatta una indagine statistica relativa ai plots -17 e -12 al fine di stimare la probabilità che esista un aereo. La stima in questione è condizionata dalla probabilità a priori di avere un aereo nella zona, probabilità che è molto difficile da quantificare. Questa potrebbe risultare alta qualora nella zona fosse presente uno scenario bellico o una esercitazione militare..., fatto che non risulta dall’esame dei segnali radar sia civili che militari... . Peraltro un tale scenario porterebbe ad una elevatissima probabilità che, data l’osservazione, sia presente un aereo. Qualora invece un tale scenario fosse non applicabile, allora la probabilità a priori è stata valutata, considerando i velivoli senza trasponditore, nel cielo del radar Marconi in 1h23’ a cavallo dell’incidente. La probabilità, che data l’osservazione sia assente l’aereo, è risultata in ogni caso superiore a quella di presenza dell’aereo stesso; i plots -17, -12 possono anche essere interpretati, con molte riserve, come plots (di seconda traccia) relativi all’Air Malta Boeing 707 (volo KM758 a Sud della Sicilia); i plots -17 e -12 insieme ai plots 2b, 8a, 9a, 12, 19 e 13a sono anche compatibili con la ipotizzata traiettoria di un ipotetico aereo di bassa cross-section, peraltro l’accettazione di una tale ipotesi necessiterebbe eventuali altre evidenze, questi plots hanno spinto a suggerire di effettuare delle ricerche nell’area “D” dove è stato ritrovato il serbatoio supplementare di un caccia. È possibile anche fare una ipotesi di presenza di un secondo piccolo aereo nelle immediate vicinanze del DC9 I-Tigi (a 100÷200m da questo) nel momento dell’incidente tale da giustificare una eventuale possibile ipotesi di collisione (o mancata collisione); ovviamente l’accettazione di una tale ipotesi richiede altre evidenze. Dopo una attenta considerazione di tutta l’evidenza disponibile, in particolare le due fonti di informazione totalmente indipendenti rappresentate dai frammenti di relitto e dalla loro posizione nella relativa fascia di dispersione, il collegio ha concluso che il velivolo si è frammentato assai probabilmente in volo nel

seguinte ordine: 1) la lamiera e la struttura adiacenti alla toilette posteriore, 2) il motore destro ed il relativo pilone; 3) l'intera lamiera superiore della parte posteriore della fusoliera; 4) il motore sinistro; 5) la sezione di coda compresi gli impennaggi; 6) la parte esterna della semiala sinistra ed il materiale dall'interno della fusoliera posteriore; la parte rimanente, comprendente la maggior parte delle ali, della sezione anteriore della fusoliera e della sezione posteriore sottostante il pavimento è rimasta sostanzialmente in un solo pezzo. Non è escluso che altri frammenti possano essersi distaccati durante la successiva caduta. Va notato che i vari frammenti sono caduti nelle zone A, B, C, E, F in modo consistente con le traiettorie teoriche e con l'analisi dei dati radar”.

2.9.“L'esplosione ha determinato la distruzione della zona toilette secondo le modalità discusse in perizia. L'esplosione è avvenuta nella toilette posteriore, ma non è stato possibile stabilire con certezza la sua esatta posizione. La carica era relativamente piccola e non racchiusa in un contenitore metallico o comunque rigido, essendo con ogni probabilità avvolta in un foglio di plastica. Il collegio non ha potuto identificare nè il tipo di esplosivo, nè il metodo di detonazione”.

2.10.“La composizione dei frammenti in lega di alluminio considerati nelle precedenti perizie è risultata essere congruente con quella dei materiali utilizzati nella costruzione del velivolo I-Tigi, inclusa la protezione superficiale contro l'ossidazione (clad)”.

2.11.“La risposta al quesito era già stata formulata nel corso dell'istruttoria e aveva dato luogo alle due campagne di recupero del 91 e 92.”

2.12.“Il collegio ritiene che tutte le circostanze rilevanti sono state trattate nelle conclusioni della perizia e nelle conseguenti risposte ai precedenti quesiti. Pertanto non si ritengono necessarie ulteriori osservazioni”.

A tali conclusioni seguiva una nota aggiuntiva, redatta dal prof.Casarosa e sottoscritta anche dal prof.Held, del tenore seguente: “Come esposto sia nel capitolo 7 della precedente parte IX, sia nella precedente Parte X, il parere unanime del CP è stato che l'incidente al DC9 possa attribuirsi all'esplosione di un ordigno all'interno del vano toilette. In questa nota aggiuntiva, un membro del CP (prof.Carlo Casarosa), a titolo puramente personale, ha ritenuto doveroso formulare alcune osservazioni sul problema della correlazione fra esplosione interna e scenario esterno. Nel contesto di questa Nota, per scenario esterno si è intesa la possibilità che nel cielo dell'incidente fossero presenti o meno altri velivoli.

Le principali informazioni su queste due diverse possibilità possono derivare dalle analisi dei plots radar del sistema di controllo del traffico civile e da informazioni di tipo “esterno” rispetto alle analisi stesse. A

questo proposito, nell'ambito della perizia, sono state fatte due ipotesi. La prima è che i plots radar successivi all'incidente siano attribuibili a frammenti del velivolo in caduta ed i plots precedenti l'incidente sono da considerare come falsi plots e di conseguenza, nel cielo dell'incidente non fossero presenti altri velivoli. La seconda è che alcuni di tali plots possano essere correlati alla presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente.

Entrambe le ipotesi possono avere dei supporti "esterni" a loro sostegno. Il supporto esterno alla prima ipotesi è ovviamente costituito dal fatto che, indubbiamente, il velivolo si è frammentato in volo e, di conseguenza, frammenti in caduta erano certamente presenti nel cielo dell'incidente. Il supporto esterno alla seconda ipotesi è costituito dal fatto che al termine di una delle due tracce identificabili nella ipotesi di un certo numero di plots non siano attribuibili a frammenti in caduta, è stato ritrovato un serbatoio sganciabile in volo, appartenente a tipi di velivoli che nel 1980 sicuramente operavano nel Mediterraneo. Tale supporto esterno è certamente più debole del precedente in quanto i frammenti in caduta certamente erano presenti mentre la presenza del serbatoio potrebbe essere di tipo casuale. In questa seconda eventualità occorrerebbe comunque accertare la casualità del ritrovamento al termine di una traccia radar ed in prossimità del relitto del DC9. Il comune buon senso potrebbe suggerire una certa prudenza nel ritenere casuale il ritrovamento stesso. A tutto questo occorrerebbe anche aggiungere il contenuto di testimonianze, che l'AG dovrà opportunamente valutare, relative all'avvistamento di velivoli operanti a bassa quota in prossimità delle coste calabre prospicienti il luogo dell'incidente ed al momento dell'incidente. Pertanto, le due differenti ipotesi possiedono entrambe un non trascurabile grado di "bilanciamento" sia nei riguardi dei risultati delle analisi tecniche, sia nei riguardi di possibili "supporti" esterni rispetto alle indagini stesse.

È evidente, ed anche ovvio, che l'ipotesi di esplosione assumerebbe particolare forza, tale da farla ritenere in modo certo come causa dell'incidente, nel caso che fosse da ritenersi valida l'ipotesi di assenza di velivoli nel cielo dell'incidente. Consideriamo ora la possibilità opposta e, cioè, che nel cielo dell'incidente fossero presenti altri velivoli con uno di essi in grado di intersecare la rotta del DC9 al momento dell'incidente, come schematicamente indicato nella fig.VIII-10 della perizia. In questo caso la verifica di compatibilità dell'ipotesi risulterebbe più complessa in quanto il comune buon senso spingerebbe a rifiutare la concomitanza perfetta dei due eventi ma spingerebbe a ricercare una possibile correlazione fra presenza del velivolo ed incidente, a meno che l'ipotesi di esplosione non fosse caratterizzata da evidenze talmente irrefutabili da rendere accettabile la correlazione stessa. A questo proposito, a parere dello

scrivente, la presenza di alcuni elementi contrari all'ipotesi di esplosione, discussi nei par.5.7.2. della precedente Parte IX della perizia, anche se tecnicamente giustificabili con le motivazioni esposte nel predetto paragrafo, sulle quali lo scrivente stesso concorda, rendono l'ipotesi di esplosione non esente da qualche incertezza.

D'altra parte, le indagini tecniche ed i supporti "esterni" relativi alla possibile presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente discussi nell'ambito della perizia, non forniscono elementi di certezza tali da spingere ad analizzare a fondo il problema della correlazione fra esplosione interna e possibile presenza di velivoli, anche in presenza dei predetti motivi di incertezza sulla ipotesi di esplosione stessa. A parere dello scrivente, ben diversa potrebbe essere la situazione se, in aggiunta a quanto desumibile dai risultati delle predette indagini e per altre vie, potesse essere accertata la presenza di velivoli nel cielo dell'incidente. In questo caso, a causa dei predetti motivi di incertezza che a parere dello scrivente caratterizzano l'ipotesi esplosione, tale ipotesi andrebbe riconsiderata, non potendosi, a questo punto, escludere una possibile correlazione fra incidente e presenza di velivoli.

Escludendo sempre l'abbattimento mediante missili o la collisione diretta, per i motivi ampiamente discussi in perizia e che qui vengono riconfermati, lo scrivente ritiene che l'esempio portato nel Cap.6 della precedente Parte IX potrebbe essere una possibile chiave interpretativa dell'evento, anche se non unica". (v. relazione peritale, depositata in data 23.07.94).

In premessa il CP afferma di non aver rigorosamente seguito gli schemi raccomandati dalla International Civil Aviation Organization (ICAO) a causa della particolare natura della relazione da redigere.

La relazione che il CP è tenuto a redigere è una relazione di indubbio contenuto tecnico, ma diretta ai soggetti processuali e da ultimo destinata anche alla pubblica conoscenza. Viene pertanto redatta in una forma più estesa di quella richiesta dalle norme ICAO ed è organizzata in forma tale da evidenziare i particolari aspetti tecnici alla base della formulazione delle risposte ai quesiti posti da questa AG.

Infine, tenendo conto che l'incidente al DC9 è accaduto da oltre dieci anni rispetto alla data di assegnazione dell'incarico, nell'ambito delle indagini tecniche che il CP stesso ha compiuto, e quindi nella conseguente relazione, si è tenuto conto anche di tutti i lavori precedenti che hanno dato origine a relazioni ed ipotesi sull'incidente stesso.

Sulla base di queste osservazioni, il CP ha suddiviso la relazione in opportune parti, come di seguito specificato.

Nella prima parte, e questo in accordo alle norme ICAO, sono state riportate le informazioni generali relative all'ultimo volo effettuato dal velivolo ed alla storia tecnica e manutentiva del velivolo stesso.

Sono state riportate anche le principali caratteristiche tecniche del velivolo utilizzate nelle successive analisi ed è stata effettuata una sintesi delle operazioni di recupero compiute nei giorni immediatamente successivi all'incidente, i risultati delle quali hanno potuto fornire alcune prime informazioni di massima sulla natura dell'incidente stesso.

Nella seconda parte è stata effettuata una sintesi ed una analisi critica delle relazioni svolte dalle commissioni peritali che, a vario titolo, si sono interessate all'evento negli anni precedenti.

Lo scopo principale di queste è stato di effettuare un censimento di tutto il materiale tecnico disponibile sull'argomento allo scopo di valutare la sua consistenza e programmare, di conseguenza, ulteriori indagini tecniche per completare od incrementare le informazioni da esso desumibili.

Dalle analisi effettuate nella precedente parte seconda, come sarà dettagliatamente esposto, è particolarmente emersa la scarsità dei reperti disponibili per formulare una qualsiasi ipotesi sull'accaduto.

Nella parte terza della relazione sono state pertanto riportate le analisi che hanno portato il CP e l'AG a decidere di effettuare una ulteriore campagna di recupero di parti del relitto, in aggiunta a quella effettuata dal precedente CP negli anni 87-88, e sono stati riportati i criteri di scelta della Compagnia incaricata del recupero stesso.

Sono stati infine riportati i risultati del recupero ed è stata descritta la ricostruzione del relitto effettuata con i frammenti recuperati.

Nella parte quarta sono state riportate tutte le indagini tecniche effettuate sia dal CP sia da colleghi peritali specialistici nominati in aggiunta dall'AG e ne sono stati presentati i risultati, senza effettuare su di essi particolare analisi critica.

Nella parte quinta è stata effettuata una analisi dei dati radar del sito di Fiumicino allo scopo di valutare la posizione spaziale del DC9 al momento dell'incidente ed interpretare la successione dei plots registrati dopo l'incidente stesso. Anche queste analisi hanno avuto lo scopo di contribuire alla definizione del predetto quadro, con particolare riferimento alla possibilità che nel cielo dell'incidente fossero presenti o meno altri velivoli, oltre al DC9.

Nelle parti sesta e settima sono state effettuate simili analisi relativamente ai siti radar di Marsala, Poggio Ballone, Potenza Picena e Licola allo scopo di rispondere agli specifici quesiti formulati dall'AG relativamente a questi siti.

Nella parte ottava sono stati analizzati criticamente i risultati delle indagini tecniche presentati nelle precedenti parti e sono stati evidenziati sia gli elementi oggettivi che potranno costituire un quadro di riferimento per la formulazione delle ipotesi sulle cause dell'incidente, sia i risultati che per la loro accettazione ed inserimento nel predetto quadro avevano bisogno di ulteriori specifiche indagini.

Nella parte nona sono state discusse le ipotesi sulle possibili cause dell'incidente, riportando anche i risultati delle predette indagini specifiche effettuate per la convalida o l'esclusione di ogni singola ipotesi.

Nella parte decima, infine, sulla base dei risultati di tutte le analisi espletate, sono state fornite le risposte ai quesiti formulati al CP dall'AG.

#### Volume primo.

Il volume primo, come detto, è dedicato nella Parte Prima alle informazioni generali. Descrive la storia del volo; quella dell'aeromobile; la composizione dell'equipaggio; le condizioni meteorologiche; gli aiuti alla navigazione e il sistema aeroportuale; l'elenco dei passeggeri e delle salme recuperate; i primi ritrovamento; il velivolo e i mezzi teorici d'indagine – caratteristiche dimensionali ed allestimento interno, caratteristiche ponderali ed inerziali, caratteristiche aeromeccaniche, mezzi teorici d'indagine –. La maggior parte dei dati qui riportati è ripresa dai lavori di precedenti collegi e commissioni.

Così il CP conclude, peraltro aderendo a conclusioni della Luzzatti e della Blasi:

a. il velivolo era in regola con le prescrizioni di aeronavigabilità relative ad ogni suo componente (struttura, motori, impianti, avionica, ecc.);

b. il personale navigante era in possesso dei necessari requisiti e brevetti;

c. le ispezioni di transito presso l'aeroporto di Bologna si erano svolte come prescritto dalle norme, secondo quanto riportato in precedenti perizie;

d. il volo, fino al momento dell'incidente, si è svolto con regolarità, mantenendo regolari contatti con gli organi di controllo e secondo la rotta programmata;

e. l'analisi delle posizioni di ritrovamento delle salme consente di ipotizzare che, al momento dell'incidente, si sia verificato un grave danneggiamento della struttura, tale da determinare la fuoriuscita in volo di un certo numero di corpi dei passeggeri.

La parte seconda è dedicata all'analisi dei lavori precedenti. Sono prese in considerazione le relazioni della commissione Luzzatti, della

commissione Pratis, quelle del collegio Blasi, definite 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> (le risposte ai quesiti supplementari) e 3<sup>a</sup> (le risposte ai quesiti a chiarimento), della Commissione Pisano. Più volte di queste opere s'è parlato nei capitoli che precedono. Non è quindi necessario riportare le sintesi compiute dal collegio Misiti. Appare opportuno invece riferirne le valutazioni conclusive.

Sulla Luzzatti: la valutazione che il CP ha dato del documento esaminato è che si tratta ovviamente di un elaborato assai incompleto, a causa della scarsità delle informazioni oggettive possedute all'epoca. In ogni caso esso è stato estremamente utile in quanto ha reso possibile reperire informazioni derivanti da valutazioni effettuate nell'immediatezza dell'incidente che, a così grande distanza di tempo, sarebbe stato impossibile raccogliere e verificare. Naturalmente, invece, molte delle conclusioni specifiche non hanno potuto essere accolte, perchè superate dalle nuove indagini e dai ritrovamenti in mare.

Sulla Pratis: le azioni della commissione si basano quasi esclusivamente sulla documentazione ottenuta. Il contenuto della relazione si presenta peraltro di notevole interesse, come corollario ad azioni svolte da altre commissioni ed enti, e, soprattutto, per le indagini relative a condizioni al contorno della inchiesta, quali lo stato della sicurezza dell'aeroporto di Bologna, il coinvolgimento delle FF.AA. italiane e straniere, le implicazioni internazionali, il coinvolgimento del MiG libico.

Sulla Blasi 1: va premesso che la relazione Blasi 1 è assai più ampia di quanto sia stato riassunto. Ulteriori argomenti trattati riguardano le questioni radaristiche, i ritrovamenti nella campagna Ifremer, che saranno richiamati e commentati nelle successive pertinenti parti di questa perizia. Occorre principalmente osservare che molte delle conclusioni tratte risentono della limitatezza dei ritrovamenti effettuati all'epoca della stesura della relazione e, alcune di esse, hanno subito modifiche nel corso di questa perizia, mano a mano che si rendevano disponibili nuovi reperti, a seguito delle campagne di recupero 92-93.

Sulla Blasi 2: nell'ultima parte della relazione i periti BC si preoccupano di illustrare i motivi che li hanno indotti a modificare il loro punto di vista rispetto alla prima relazione, e a differenziarsi così dagli altri colleghi della Commissione. Dopo aver richiamato le argomentazioni che portarono alla prima versione, e alle evidenze in esse rappresentate, vengono discussi i nuovi elementi scaturiti dalle indagini del supplemento di istruttoria. Il gruppo di argomentazioni che riguardano l'esplosione esterna viene suddiviso in due sottogruppi caratterizzanti l'esplosione generica e l'esplosione esterna. Di queste ultime, secondo i periti BC, alcune delle evidenze venivano a mancare, altre non potevano essere

considerate tali, altre ancora risultavano dubbie. Infine sussistevano nuovi elementi di certezza raccolti con le successive indagini. Tra questi, particolare importanza veniva attribuita alle due simulazioni di volo (1985, v.Biasi 1, e 1989, v.Pratis), la seconda delle quali avrebbe dimostrato che il radar di Marsala aveva visto tutte le manovre dell'aviogetto all'attacco del DC9. Altri elementi nascevano dall'esame del relitto: oggetti dell'aeromobile che avrebbero "visto" l'esplosione, esistenza di frammenti causati dalla esplosione, analisi di teste di guerra. I periti BC ribadirono quindi la loro convinzione che la causa del disastro dovesse essere ricercata in una esplosione interna.

I periti ILM continuarono a dichiararsi in favore della esplosione esterna, ribadendo la validità delle prove a suo tempo addotte, salvo qualche modifica minore. Per quanto riguarda la natura e il tipo di missile, venne indicato un missile a medio raggio a guida semiattiva, o a raggi infrarossi di tipo avanzato.

La relazione Biasi 2 costituisce certamente una notevole fonte di informazione, per il materiale che vi è contenuto. Forse meno significative sono le ragioni addotte per giustificare le due tesi sostenute dall'uno e dall'altro gruppo di periti.

Sulla Biasi 3: la formulazione dei quesiti posti era mirata a fornire elementi di giudizio e spunti di lavoro all'attuale CP. Sotto questo aspetto l'esame minuzioso del documento ha spesso orientato l'azione in seno al CP. Va peraltro rilevato che molte delle risposte ricalcano, talvolta con qualche maggiore dettaglio, quelle contenute nella relazione Biasi 2, e risentono, forse in qualche caso, della contrapposizione tra i due gruppi di periti. Si hanno, cioè, spesso deduzioni anziché informazioni fattuali.

Sulla Pisano: la relazione non introduce sostanzialmente nuovi elementi rispetto a quelli già noti all'epoca. Alcune considerazioni, che appaiono soprattutto deduttive, possono rivestire un certo interesse per la loro originalità, mentre altre ripetono, o precedono, considerazioni analoghe riportate in altre relazioni.

La parte terza è dedicata alle operazioni di recupero e ricostruzione del relitto.

Il CP prese visione delle parti recuperate nel mese di settembre 90 presso l'aeroporto di Capodichino e, nello stesso mese, i pezzi su disposizione dell'AG furono trasportati nell'hangar Buttler presso l'aeroporto di Pratica di Mare.

In questa parte della relazione sono riportate le valutazioni effettuate dal CP per formulare risposta al quesito 2.11. e sono esposti criteri che

hanno portato il CP ad effettuare la scelta della Compagnia incaricata del recupero.

Vi sono poi descritte le operazioni di recupero e quelle effettuate per la ricostruzione finale del relitto con conseguente valutazione globale delle parti recuperate.

Tale tipo di ricostruzione, sebbene approssimativa, consentì tuttavia di evidenziare e misurare le parti recuperate in modo da poter fornire risposta al quesito 2.11. come sarà di seguito riportato.

Le parti recuperate nelle campagne della Blasi, sono indicate, avendo preso come riferimento la superficie bagnata del velivolo integro ovvero la superficie esterna, nella seguente tabella:

Particolare	Vel.Integro	Relitto	Mancante
Fusoliera	270.0m <sup>2</sup>	83.0 m <sup>2</sup> 30%	180.0m <sup>2</sup> 70%
Semiala dx	77.0m <sup>2</sup>	37.0 m <sup>2</sup> 48%	40.0m <sup>2</sup> 52%
Semiala sx	77.0m <sup>2</sup>	61.0 m <sup>2</sup> 79%	16.0m <sup>2</sup> 21%
Sup.vert.coda	44.0m <sup>2</sup>	33.0 m <sup>2</sup> 75%	11.0m <sup>2</sup> 25%
Sup.oriz.coda	51.5m <sup>2</sup>	39.0 m <sup>2</sup> 76%	12.5m <sup>2</sup> 24%
Navicella	24.0m <sup>2</sup>	9.0 m <sup>2</sup> 37%	15.0m <sup>2</sup> 63%
Motore dex.	(con racc.)		
Navicella	24.1 m <sup>2</sup>	6.0m <sup>2</sup> 25%	18.0m <sup>2</sup> 75%
Motore sin	(con racc.)		
Totali	567.5 m <sup>2</sup>	268.0m <sup>2</sup> 47%	300.0m <sup>2</sup> 53%

La superficie bagnata del velivolo integro, è stata valutata approssimando i vari elementi a figure geometriche semplici: i risultati ottenuti debbono pertanto intendersi come valori di prima approssimazione. Anche i valori della superficie bagnata dei pezzi recuperati debbono intendersi come valori approssimati, a causa delle deformazioni subite e della forma generalmente irregolare dei pezzi stessi.

Alle superfici indicate nella precedente tabella, occorre aggiungere le superfici di parti interne fra le quali le più significative sono certamente il pavimento della fusoliera e la paratia di pressurizzazione posteriore.

Il confronto fra tali superfici interne del velivolo integro con quelle recuperate, tenendo conto delle solite approssimazioni, è riportato nella successiva tabella:

Particolare	Veliv. Integro	Relitto	Mancante
Pavimento fusoliera	47.4 m <sup>2</sup>	2.0 m <sup>2</sup> 4.2%	45.4m <sup>2</sup> 95.8%
Paratia Posteriore	12.0 m <sup>2</sup>	0.5 m <sup>2</sup> 4%	11.5m <sup>2</sup> 96%

Totali                    59.4 m<sup>2</sup>                    2.0m<sup>2</sup> 3.4%                    57.4m<sup>2</sup> 96.6%

Dall'esame dello schema di fig.111-6 e dei dati riportati nelle precedenti tabelle, si può osservare che, in linea di massima, al termine della campagna di recupero 1987÷88 potevano considerarsi non recuperati gran parte degli elementi di fusoliera, del pavimento di cabina e della paratia posteriore di pressurizzazione ai quali potevano aggiungersi frammenti di minore importanza, appartenenti alle rimanenti parti del velivolo.

D'altra parte, dall'esame delle video-cassette contenenti la documentazione relativa alle parti del relitto individuate e non ancora recuperate, effettuata da alcuni membri del collegio peritale in data 29.09.90, risultò che tali parti erano di modeste dimensioni e certamente, per quantità e forma, non tali da rappresentare le parti di velivolo mancanti.

Dalla testimonianza del sig.Roux, si poté inoltre appurare che: "...Dalle video-cassette registrate al termine delle operazioni, non risulta l'intero campo interessato dalle ricerche, ma esclusivamente la zona in cui era concentrato il maggior numero di grossi pezzi. Di conseguenza, non tutto ciò che è rimasto sul fondo è rappresentato nelle registrazioni.

Ciò che non è stato ripreso dalle telecamere, tuttavia, è di piccole dimensioni e si trova a Nord dei ritrovamenti indicati in mappa come a e b (b e c nella mappa di fig.III-5) interessanti un'area di mt600x200".

Il sig.Roux precisò inoltre che: "...Tutto ciò che è stato visto dagli operatori del sottomarino, è stato registrato; il sonar, tuttavia, ha indicato la presenza di oggetti nell'area a Nord delle parti indicate come a e b (b e c nella mappa di fig.III-5), che non sono state direttamente viste e, di conseguenza, non sono state registrate".

Pertanto, sulla base di queste informazioni, il CP ritenne che, al termine delle operazioni dell'Ifremer, non fosse stata ancora individuata la posizione sul fondo del mare di alcune principali parti mancanti del relitto, tra le quali era certamente compresa la parte mancante della fusoliera.

In termini di superfici, risultò recuperato circa il 47% del velivolo.

Fra gli elementi mancanti, rivestivano particolare importanza il 70% in superficie bagnata della fusoliera, la paratia di pressurizzazione ed il flight data recorder.

L'esame delle video-cassette contenenti la documentazione relativa alle parti del relitto non recuperate, consentì di stabilire, con ragionevole certezza, che i predetti elementi non erano compresi fra di esse.

In base a tali elementi il CP ritenne opportuno procedere ad una ulteriore campagna di esplorazione sottomarina sia sull'area a Nord delle

zone B e C di cui al precedente capitolo, sia su un'area opportunamente estesa nell'intorno dei relitti recuperati e non esplorata nelle precedenti campagne del 1987÷88, allo scopo di rilevare la eventuale presenza di relitti di più grandi dimensioni.

Il CP si riservò di decidere l'opportunità del recupero sulla base dell'entità delle parti eventualmente individuate ed opportunamente fotografate.

Di conseguenza prospettò l'opportunità di una ulteriore campagna di esplorazione sottomarina allo scopo di rilevare la eventuale presenza di importanti parti del velivolo, quali gran parte della fusoliera ed il flight data recorder, all'epoca non ancora individuati.

Fu pertanto stabilito di procedere alla scelta della più adatta compagnia che potesse procedere all'esplorazione sottomarina ed all'eventuale recupero.

Allo scopo di avere una plausibile indicazione delle zone dove effettuare le ricerche, il CP ha ritenuto opportuno effettuare una analisi teorica sulle probabili aree di impatto di frammenti del velivolo, nella ipotesi che si fosse verificata una completa rottura in volo del velivolo stesso. A tale scopo è stata usata una metodologia messa a punto presso il Cranfield Aviation Safety Centre riportata nella pubblicazione "The effect of Wind on the Wreckage Trail following In-Flight Break-up", utilizzata con successo nel caso dell'incidente di Lockerbie. Sulla base di tali informazioni, il CP ha messo a punto un programma di calcolo con il quale è possibile valutare le traiettorie di caduta di corpi aventi prefissate caratteristiche di peso ed aerodinamiche, a partire da prefissate condizioni iniziali e caratteristiche di vento al variare della quota.

Utilizzando questo programma, si sono quindi valutate le traiettorie ed il punto di impatto di frammenti caratterizzati da  $r$  variabile fra 10000 e 5, utilizzando, per le analisi, le condizioni iniziali di quota, velocità ed orientamento del velivolo I-Tigi e le condizioni di vento innanzi specificate. Come indicato in fig.III-7 (allegata alla relazione), le uscite del programma possono essere sotto forma di tabulati o di grafici. I risultati della simulazione di caduta sotto forma grafica sono riportati nella fig.III-8 (anch'essa allegata alla relazione) nella quale sono anche evidenziate le aree dei ritrovamento effettuati nella campagna di recupero 1987÷88. Nella figura si può osservare come, nella ipotesi di una completa rottura del velivolo in volo al momento dell'incidente, la probabile area di dispersione dei frammenti avrebbe dovuto interessare sia le zone già esplorate nella predetta campagna, sia zone spostate verso est, rispetto alla posizione dei relitti già recuperati, a seconda delle caratteristiche dei frammenti stessi. Sulla base di questi risultati, il CP ritenne opportuno iniziare le operazioni

di esplorazione del fondale a partire da una zona poco a Sud dei precedenti ritrovamento per verificare la eventuale presenza di frammenti a valori elevati di R, determinando così l'inizio della traccia, e seguire poi l'andamento della fascia di dispersione riportata in fig.III-8, controllando ancora le zone A, B, C e, successivamente, la fascia posta ad Est di esse.

Sulla base di queste informazioni, le operazioni di ricerca iniziarono in data 25.03.91 e si conclusero a dicembre 91. Ripresero, in una seconda campagna, nella prima decade di maggio 92 ed ebbero termine definitivo nel settembre 92.

Le operazioni di esplorazione della zona posta a Sud dei precedenti ritrovamento non dettero risultati significativi per cui le operazioni di ricerca si spostarono lungo la fascia evidenziata in fig.III-8, passando sopra le aree B e C in corrispondenza di queste aree, ed in particolare dell'area C, probabilmente a causa dei più sofisticati mezzi di esplorazione utilizzati dalla Soc.Wimpol, fu individuata una quantità di relitti notevolmente superiore a quanto rilevato dalla Ifremer. Fu individuato, ad esempio, il flight data recorder in posizione 39°42'39"lat.Nord, 13°03'01"long.Est in precedenza non rilevato.

Considerando il grande numero di relitti individuato e la notevole dimensione di alcuni di essi, il CP ritenne conveniente interrompere le operazioni di esplorazione del fondale ed iniziare le operazioni di recupero. A quel punto della situazione, infatti, alcuni membri del CP non ritenevano infondata l'ipotesi che il velivolo avesse potuto impattare con la superficie del mare in condizioni pressoché integre e che nella zona C di conseguenza, si trovasse la quasi totalità dei relitti ad esclusione, ovviamente, del tronco di coda rinvenuto in zona A. Se tale ipotesi fosse risultata verificata, non sarebbe stato necessario effettuare l'esplorazione di ulteriori zone di mare. Le operazioni di recupero iniziarono nel mese di luglio 91 e si protrassero fino alla fine dell'autunno, epoca in cui furono interrotte a causa dell'approssimarsi della stagione invernale e di precedenti impegni assunti dalla Wimpol.

Come sarà esposto con maggiori dettagli nei successivi paragrafi, parallelamente alle operazioni di recupero iniziarono le operazioni di riconoscimento e catalogazione dei pezzi e le operazioni di ricostruzione del relitto, a mano a mano che i pezzi stessi venivano trasportati presso l'aeroporto di Pratica di Mare. Durante queste operazioni, che si protrassero per l'inverno e la primavera del 92, si poté constatare che tutti i frammenti recuperati appartenevano alle zone del velivolo adiacenti ai motori (zona di recupero B) ed alle parti di fusoliera schematicamente indicate in fig.III-9 (zona di recupero C). In altre parole, era completamente mancante la parte di fusoliera al di sopra del pavimento e compresa, approssimativamente, fra

l'attacco posteriore delle ali ed il tronco di coda a suo tempo già recuperato (parte 4 di fig.III-9). Mancavano inoltre l'estremità della semiala sinistra per circa 1/3 della sua apertura, la paratia di pressurizzazione posteriore della fusoliera, la scala posteriore di accesso al velivolo e tutte le tubazioni di pressurizzazione e condizionamento della parte posteriore del velivolo. Queste parti mancanti non poterono essere riconosciute nei pochi frammenti di ridotte dimensioni ancora presenti nell'area C e non ancora recuperati.

Il CP ritenne di attribuire la totale mancanza nella zona C di questa parte della fusoliera e dei principali elementi del velivolo interni ad essa ad un distacco e possibile frammentazione in volo della parte stessa, con probabile dispersione dei frammenti lungo la fascia riportata in fig.III-8. Il recupero di questa parte mancante avrebbe potuto fornire, quindi, significative informazioni sulla natura dell'evento alla base dell'incidente. Di conseguenza, il CP decise di proseguire nelle operazioni di esplorazione secondo il piano a suo tempo prestabilito, allo scopo di ricercare tali importanti parti del velivolo ancora mancanti.

All'inizio dell'estate 92, non appena la Wimpol dette la sua disponibilità, furono riprese le operazioni di esplorazione. Le zone di mare che in totale furono esplorate, sono schematicamente riportate in fig.III-10. (allegate alla relazione).

Nella zona A furono ritrovate essenzialmente le parti mancanti delle superfici orizzontali di coda. Nelle zone F ed E, congruentemente alle ipotesi formulate, furono trovati i principali frammenti della parte mancante della fusoliera ai quali si è in precedenza accennato, nonché l'estremità mancante della semiala sinistra. Nella zona D fu rinvenuto il relitto di un serbatoio sganciabile di carburante del tipo montato sotto le ali dei velivoli militari, in dettaglio analizzato nelle successive parti della relazione. La zona G fu esplorata in quanto in essa furono rilevati importanti echi sonar che, ad una successiva esplorazione con le telecamere, fu rilevato essere determinati da una particolare conformazione rocciosa del fondale. In definitiva, i relitti appartenenti al velivolo sono stati ritrovati principalmente nelle zone A, B, C, E, F, secondo lo schema riportato in fig.III-11; tali zone, con buona approssimazione, si trovano disposte lungo la fascia di dispersione prevista teoricamente ed evidenziata nella precedente fig.III-8.

Le operazioni di recupero furono sospese al termine dell'autunno 92.

Riconoscimento e catalogazione dei pezzi recuperati.

Le operazioni di riconoscimento e catalogazione dei pezzi iniziarono contemporaneamente alle operazioni di recupero e procedettero parallelamente ad esse.

Tali operazioni sono state effettuate da personale tecnico Alitalia, nominato ausiliario del CP, utilizzando il materiale tecnico relativo ai velivoli DC9, messo a disposizione dall'Alitalia stessa. Si fa osservare che i frammenti recuperati durante la campagna del 1991÷92 sono stati circa 2000, appartenenti sia alla superficie esterna del velivolo sia alle parti interne. Oltre a questi, è stato effettuato il riconoscimento e la catalogazione di frammenti recuperati nella campagna 1987÷88, di minori dimensioni e non riconosciuti nell'ambito della perizia Blasi. Per alcuni pezzi di grandi dimensioni il riconoscimento è stato molto semplice mentre più complesse sono risultate le operazioni di riconoscimento per pezzi di più piccole dimensioni.

#### Ricostruzione finale del relitto.

I recuperi effettuati durante la campagna 1991÷92 resero disponibile una maggiore quantità di reperti appartenenti, in particolare, alla fusoliera del velivolo e, di conseguenza, il CP ritenne conveniente procedere ad una completa ricostruzione in tre dimensioni del velivolo stesso, predisponendo un simulacro di fusoliera.

Questo simulacro è essenzialmente costituito da una serie di ordinate in tubo di acciaio aventi approssimativamente la forma delle vere ordinate di fusoliera del velivolo collegate da correnti longitudinali, anch'essi realizzati in tubo di acciaio. Su tale struttura è stata applicata una rete simulante il rivestimento del velivolo sulla quale, internamente od esternamente, è possibile vincolare, realizzando opportuni irrigidimenti locali, elementi della struttura del velivolo e del rivestimento esterno. La struttura così realizzata, è stata vincolata al pavimento dell'hangar mediante una serie di opportuni appoggi. All'interno della struttura è stata ricavata una passerella praticabile in legno, simulante il pavimento della fusoliera, che consente l'esame del relitto anche dalla parte interna.

Una stima complessiva delle parti recuperate nelle due campagne del 1987÷88 e del 1991÷92, in termini di superficie bagnata come innanzi specificato, è riportata nella seguente tabella:

Particolare	Vel.Integro	Relitto
Fusoliera	270.0 mq	212.0mq 78.5%
Semiala destra	77.0 mq	77.0mq 100%
Semiala sinistra	77.0 mq	77.0mq 100%
Sup. vert. coda	44.0 mq	33.0mq 75%

Sup. oriz. coda	51.5 mq	51.5mq 100%
Navicella mot.dex	24.0 mq	18.0mq 75%
Navicella mot.six.	24.0 mq	17.0mq 70%
Totali	567.5 mq	485.5mq 85.5%

Confrontando questi valori con quelli della analoga tabella riportata nel par.3.2 e relativa all'entità delle parti recuperate dopo la prima campagna di recupero, si può osservare che la seconda campagna ha determinato un incremento di circa il 38% della quantità recuperata, portandone l'entità totale a valori superiori all'85% della superficie bagnata del velivolo.

A tutti questi elementi occorre anche aggiungere le parti interne del velivolo che, ovviamente, non hanno contribuito alla stima delle parti recuperate, in termini di superficie bagnata.

Di particolare importanza possono considerarsi:

- A) il 50% della paratia posteriore di pressurizzazione;
- B) parte del pavimento della fusoliera di superficie difficilmente valutabile a causa della frammentazione e distorsione dei pezzi;
- C) il 75 % del rivestimento del pavimento;
- D) frammenti dell'ordinata di attacco anteriore dei motori;
- E) la scala di accesso posteriore;
- F) elementi appartenenti alla struttura ed agli arredi della toilette;
- G) il galley posteriore nella sua forma modificata, come indicato nel par.9.1 della precedente parte I;
- H) tubazioni dell'impianto di pressurizzazione e condizionamento della parte posteriore della fusoliera.

Queste le osservazioni conclusive:

Le operazioni di recupero effettuate durante la campagna 1991÷92 hanno consentito di recuperare circa 2000 frammenti del velivolo. Tenendo conto dei soli frammenti appartenenti alla struttura principale ed al rivestimento del velivolo si può ritenere di aver recuperato circa il 40% della superficie bagnata del velivolo che, sommato a circa il 45% recuperato durante la campagna 1987÷88, ha consentito di ottenere valori dell'ordine dell'85% della superficie bagnata totale. Questi frammenti hanno pertanto consentito di ottenere una ricostruzione tridimensionale del velivolo quasi completa. Tenendo conto anche di tutte le parti interne recuperate e visibili sia sul simulacro che negli appositi box di raccolta, il CP ritenne che ulteriori operazioni di ricerca e recupero avrebbero portato contributi marginali rispetto a quanto già disponibile. Di conseguenza, su sollecitazione dell'AG, il CP, nell'autunno 92, ritenne concluse le operazioni di ricerca e recupero.

Seguono nella perizia figure di difficile riproduzione in questa motivazione, e per le quali pertanto si rinvia all'originale in atti:

Fig. I-1 foglio di carico;

Fig. I-2 mappa dei primi ritrovamenti;

Fig. I-3 dimensioni principali del velivolo;

Fig. I-4 tipico allestimento interno del velivolo;

Fig. I-5 velivolo I-Tigi;

Fig. I-6 schema di funzionamento del simulatore di volo dip. Ingegneria Aerospaziale Università di Pisa;

Fig. I-7 simulazione Mc Donnell Douglas risposta a variazioni a gradino di angolo di incidenza;

Fig. I-8 simulazione effettuata dal collegio peritale risposta a variazioni a gradino di angolo di incidenza;

Fig. III-1 operaz. Soc. Ifremer - area di ricerca;

Fig. III-2 operaz. Soc. Ifremer - area esplorata;

Fig. III-3 operaz. Soc. Ifremer - posizione area di ritrovamento relitti;

Fig. III-4 operaz. Soc. Ifremer - area di ricerca durante la campagna 1982;

Fig. III-5 operaz. Soc. Ifremer - posizione zone A-B-C;

Fig. III-6 operaz. Soc. Ifremer - schema delle parti recuperate nella campagna 1987-88;

Fig. III-7 metodologia di valutazione traiettorie di caduta di gravi in presenza di vento;

Fig. III-8 fasce di possibile dispersione di frammenti;

Fig. III-9 parti recuperate al termine della fase di recupero;

Fig. III-10 principali aree esplorate nella campagna 1991-92;

Fig. III-12 schema del sistema di riferimento velivolo stazioni di fusoliera numerazione correntini di fusoliera; schema del sistema di riferimento velivolo stazioni dell'ala;

Fig. III-13 sviluppo della fusoliera e stazioni di riferimento;

Fig. III-14 schema costruttivo del simulacro di fusoliera;

Fig. III-15 relitto ricostruito;

Fig. III-16 mappa delle aree di collocazione dei frammenti all'interno dell'hangar;

Fig. III-17 mappa dei frammenti collocati sul simulacro della fusoliera;

Fig. III-18 mappa frammenti installati sul simulacro (solo ala).

Nella parte quarta le indagini tecniche. Questa l'introduzione alla parte.

“L'esame dei relitti del velivolo non ha dato una immediata indicazione sulla natura dell'evento che potesse aver causato la perdita del velivolo, almeno nel senso di seguito specificato. Nel caso dell'incidente di

Lockerbie, ad esempio, poco dopo aver iniziato le operazioni di recupero dei relitti, fu ritrovato il timer usato nella bomba con la quale fu effettuato l'attentato. Analogamente, nel caso della caduta del velivolo DC10 della UTA nel deserto del Tenerè, fu ritrovata una valigia con parte dell'esplosivo inserito, sotto forma di foglia, all'interno della fodera della valigia stessa. Di conseguenza, nel caso di questi incidenti - di entrambi l'ufficio con delegazione del collegio aveva preso visione dei relitti ed acquisito relazioni e studi - che, in un certo senso, possono avere avuto una analogia con quello in esame, in quanto avvenuti improvvisamente durante il volo di crociera o, comunque, non in fase di decollo od atterraggio, le indagini furono immediatamente indirizzate verso un preciso evento individuato subito dopo l'incidente.

Nel caso del DC9 Itavia, al termine del recupero, e quindi nella fase iniziale delle indagini sul relitto, non si è trovata alcuna prova nè del tipo al quale si è accennato, nè di altro tipo che, in qualche modo, potesse indirizzare subito le indagini verso uno specifico evento, come in precedenza riportato. Plausibili ipotesi sulle cause dell'incidente sono state quindi formulate sulla base di risultati di approfondite indagini tecniche effettuate su tutto il materiale reso disponibile dalle diverse operazioni di recupero.

Le indagini tecniche effettuate possono classificarsi in due livelli. Al primo livello appartengono indagini di tipo "macroscopico", i risultati delle quali possono fornire informazioni oggettive relative alla sequenza di eventi verificatisi, con plausibile certezza, a bordo del velivolo al momento dell'incidente, senza nulla indicare nei riguardi delle cause che possono averli provocati. Alcune di queste indagini tecniche sono state effettuate direttamente dal CP, altre da collegi peritali specialistici, nominati dall'AG per affiancare i lavori del CP stesso, altre ancora sono state riprese da precedenti perizie. Alcune indagini tecniche, come ad esempio quelle effettuate sui dati radar, sono risultate particolarmente ampie ed articolate per cui il CP ha ritenuto opportuno esporne i risultati nelle successive Parti V, VI, VII, ad esse specificatamente dedicate.

L'insieme di tutte le informazioni oggettive ottenibili da queste indagini tecniche di primo livello, sono state poi utilizzate per determinare un quadro generale di riferimento sia in relazione alla sequenza degli eventi che, al momento dell'incidente, possono avere plausibilmente interessato le varie componenti del velivolo (struttura, impianti, ecc.), sia in relazione all'ambiente esterno e, cioè, alla presenza o meno di altri velivoli nel cielo dell'incidente.

Oltre alle indagini di primo livello, sono state fatte anche indagini di secondo livello. Tali indagini hanno avuto un carattere più specifico delle

precedenti, potendosi definire come indagini di dettaglio volte a chiarire particolari aspetti, il più delle volte connessi con particolari ipotesi relative alla causa dell'incidente. Per chiarezza di esposizione tutte le indagini di primo livello e le evidenze da esse deducibili sono state riportate in questa parte IV. Le indagini di secondo livello e relative evidenze sono state invece dettagliatamente discusse nella successiva, Parte VIII della relazione, quando verranno discusse le varie ipotesi sulle cause dell'incidente che hanno reso necessarie le indagini stesse.

#### Indagini sul Cockpit Voice Recorder.

Il Cockpit Voice Recorder (CVR) installato a bordo dell'I-Tigi, era del tipo Sundstrand Model V557 e fu recuperato nel corso della campagna del 1987 nella zona C di Fig.III-5.

Il CVR ha interrotto la registrazione, come risulta incontroverso, al momento dell'incidente, a causa dell'interruzione dell'alimentazione elettrica. Nella parte finale del nastro registrato, e cioè in corrispondenza degli ultimi secondi di volo prima dell'incidente, da precedenti perizie sono state rilevate tracce di eventi fonici ed acustici, l'interpretazione dei quali è stata certamente in grado di fornire utili indicazioni sugli eventi accaduti sul velivolo al momento dell'incidente. In particolare, l'ultima parte del nastro contiene dei suoni emessi da uno dei due piloti, e, successivamente, una serie di due impulsi ravvicinati registrati sul nastro immediatamente prima dell'arresto.

Allo scopo di interpretare questi segnali presenti sul nastro, questa AG aveva affidato due incarichi peritali, che nella perizia tecnico-scientifica sono denominati "Indagine Acustica" e "Indagine Fonica" dei quali il primo ebbe come obiettivo l'identificazione della natura dei due impulsi ravvicinati ed il secondo l'interpretazione dei suoni registrati.

#### Indagine acustica.

L'obiettivo dell'indagine acustica, è stato inizialmente di accertare la natura e la attribuzione degli impulsi di rumori fra loro ravvicinati presenti nella parte finale del nastro (1° quesito formulato dall'AG) e, successivamente, qualora uno, od anche più, di tali impulsi fosse riconducibile a quello di rumore generato da uno scoppio, di valutare se quest'ultimo si fosse verificato all'interno od all'esterno del velivolo (2° quesito).

Furono quindi compiute analisi degli impulsi e formulate ipotesi sulla generazione degli stessi.

Le osservazioni a conclusione furono le seguenti:

- a. i due impulsi ravvicinati con cui termina la registrazione sul Voice Recorder, sono da ritenersi di natura elettrica e non acustica, originati cioè da scariche sui circuiti comuni di alimentazione delle testine.
- b. Al momento dell'incidente, si è avuta interruzione di alimentazione al Voice Recorder che ha arrestato lo scorrimento del nastro ed ha interrotto il funzionamento delle testine determinando i predetti impulsi.
- c. L'interruzione di alimentazione non è stata istantanea, ma è avvenuta attraverso uno "scintillamento" che ha causato una prima interruzione, un successivo riattacco ed una definitiva interruzione, il tutto nell'arco di circa 260ms (Fig.IV-7).

#### Indagine fonica.

Gli obiettivi dell'indagine fonica, sono stati di fornire l'interpretazione fonetica del monosillabo registrato sul Voice Recorder immediatamente prima del suo arresto (1° quesito posto dall'AG), di verificare, ove possibile, se detto monosillabo fosse attribuibile al comandante od al copilota del velivolo (2° quesito posto dall'AG) ed infine, di esaminare ed interpretare parole e rumori registrati precedentemente all'ultimo fonema (3° quesito posto dall'AG).

Compiute l'interpretazione fonetica del monosillabo, la sua attribuzione e l'analisi dei segnali prima e dopo di esso, si giungeva a tali osservazioni conclusive:

- a. il fonema può essere interpretato, con forte probabilità, come "gua" o "qua".
- b. Esso può ritenersi pronunciato dal comandante, con una probabilità del 98.5%.
- c. Non sono stati registrati eventi acustici prima e dopo l'emissione del fonema, ma solo rumore di fondo presente in cabina fino al termine della registrazione.

Da tali indagini si deducevano le seguenti evidenze.

- a. Al verificarsi dell'evento, si è avuta interruzione dell'energia elettrica al sistema CVR, con possibile "scintillamento", probabilmente causato da un iniziale distacco della corrente seguito da un riattacco, dopo circa 200ms, della durata di circa 10ms e dal definitivo distacco. (Al Cap.6, dove saranno riportati i risultati delle indagini tecniche sull'impianto elettrico, le possibili cause di questa serie di eventi).
- b. Il sistema CVR, negli ultimi istanti di funzionamento, non ha registrato alcun evento acustico, ad esclusione del fonema "gua" o "qua", pur continuando a registrare regolarmente il rumore di fondo presente in cabina, fino all'interruzione.

c. Nella ipotesi che il fonema esaminato possa interpretarsi come l'inizio della parola "guarda" che il comandante intendeva pronunciare, la sua interruzione starebbe ad indicare un evento che ha impedito al comandante di concludere la parola iniziata, ma che non ha immediatamente causato l'interruzione dei segnali al CVR, il quale ha continuato a registrare il rumore di fondo per circa 1.2sec.

Indagini sul Flight Data Recorder.

Il Flight Data Recorder (FDR) installato a bordo del velivolo I-Tigi, era del tipo Sundstrand Model No Fa 54 2m-Part Number 1006401-1-SERIAL NO 3891 ed è stato recuperato durante la campagna del 91 in data 10 luglio, nel punto di coordinate 39°42'39"lat.Nord, 13°03'01"log.Est, in corrispondenza della zona di recupero C. In data 22.07.91, l'FDR è stato trasportato dall'ufficio, a cura del CP, in Gran Bretagna presso Aib Accident Investigation Branch di Farnborough, che ne ha curato la decodificazione.

Caratteristiche del flight data recorder.

Il Flight Data Recorder del tipo indicato, consente di registrare su nastro metallico in iconel i valori di quota, velocità indicata, rotta magnetica ed accelerazione verticale in funzione del tempo, per un durata di circa 300 ore di volo per ogni faccia del nastro, secondo lo schema riportato in Fig.IV-11. Sono anche registrati un segnale binario (On/Off) per la selezione Nord/Sud dei dati di rotta, una linea di riferimento per le letture ed una linea di marcatura dei tempi. Il nastro si svolge dal rullo contenitore al rullo ricevente con una velocità di 6 inches/ora, passando attraverso ad una finestra, lungo la quale sono posizionati gli elementi scriventi. Tali elementi sono costituiti da bracci portanti all'estremità una punta di diamante, che si spostano lungo la finestra, pilotati dal segnale da registrare, e sono pressati alternativamente contro il nastro, vincendo l'azione di una molla antagonista, da una camma rotante, imprimendo così sul nastro delle tracce che, ingrandite al microscopio, hanno l'aspetto riportato in Fig.IV-12. (allegata alla relazione).

Il Flight Data Recorder, è azionato automaticamente non appena viene data energia al radio bus di sinistra. Le precisioni di lettura dei parametri sono:

quota	da	±100ft a ±700ft
velocità indicata		±10kts
prua magnetica		±2 gradi
accelerazione normale		±0.2g
tempo		±1% su 8 ore

Analisi delle tracce registrate dopo l'incidente.

Come in precedenza riportato, al momento dell'incidente, e cioè per  $t=3540$ sec dall'inizio della registrazione, si è avuta la contemporanea interruzione di tutte le tracce registrate, certamente imputabile all'arresto dello scorrimento del nastro per interruzione di alimentazione elettrica all'FDR.

Dall'esame delle Figg.IV-23÷IV-26, si può comunque osservare che sul nastro esistono anche delle tracce discontinue, allineate lungo la finestra di scrittura, lasciate dagli elementi scriventi con nastro evidentemente fermo, e quindi dopo il verificarsi dell'incidente.

Nel documento redatto dall'ente inglese, è riportato che queste tracce possono derivare da oscillazioni causali degli elementi scriventi, indotte dalle accelerazioni alle quali può essere stato sottoposto l'aeromobile durante la caduta e pertanto, da tali tracce, non possono trarsi attendibili informazioni.

Dopo aver compiuto analisi delle tracce registrate prima e dopo l'incidente queste le evidenze deducibili.

a) Il volo si è svolto regolarmente fino al momento dell'incidente. La traiettoria di volo ricavata dai dati dell'FDR, è in accordo con la rotta che doveva seguire il velivolo ed i parametri di volo registrati, ed in particolare quelli registrati negli ultimi 30sec, sono in accordo con le condizioni di volo di crociera del velivolo.

b) Al momento dell'incidente, si è avuta interruzione di energia elettrica all'FDR che ha causato l'arresto del sistema di trascinamento del nastro e, quindi, interruzione di tutte le tracce utili.

c) Le tracce registrate dopo l'incidente, non consentono di trarre informazioni praticamente utilizzabili.

Indagini sull'impianto di erogazione dell'ossigeno per i passeggeri.

Durante le campagne di recupero del 1987/88 e del 1991/92, sono stati recuperati nr.30 contenitori delle maschere per ossigeno del compartimento passeggeri, pari al 78% di quelle disponibili. In particolare, nr.13 contenitori, caratterizzati da 3 bocchette di immissione aria, appartengono alla fila di destra (3 posti) pari al 68% del totale della fila e nr.15 caratterizzati da 2 bocchette di immissione aria, appartengono alla fila di sinistra (2 posti) pari al 79% del totale della fila. Per nr.2 contenitori, non è stato possibile identificare la fila di appartenenza, in quanto troppo danneggiati.

Indagini tecniche effettuate su tali relitti, hanno consentito di individuare delle anomalie di funzionamento del sistema di erogazione dell'ossigeno negli istanti successivi all'incidente che possono fornire indizi sulla possibile localizzazione del danno sul velivolo.

Dopo aver descritto lo schema di funzionamento dell'impianto il collegio procede alla analisi sui relitti dei contenitori delle maschere per ossigeno dei passeggeri.

L'esame dei relitti dei contenitori delle maschere, ha consentito di verificare che le maschere dell'ossigeno non sono state usate dai passeggeri negli istanti successivi all'incidente. Infatti, nella quasi totalità dei contenitori recuperati che non presentano gravi danneggiamenti, le maschere si trovano ancora inserite nei loro supporti nella posizione indicata nello schema della precedente figura, come può osservarsi, a titolo di esempio, nella fotografia di Fig.IV-29.

Se ne può dedurre che il sistema automatico di apertura dei portelli non si è attivato in seguito all'incidente e quindi, per questo motivo, le maschere non si sono rese disponibili per i passeggeri. Tenendo conto dello schema di funzionamento del sistema in precedenza descritto, la mancata apertura dei portelli di accesso alle maschere può essere ragionevolmente attribuita alle seguenti fondamentali cause:

- a. assenza di depressurizzazione della fusoliera;
- b. avarie preesistenti al sistema di erogazione automatica dell'ossigeno;
- c. danneggiamento del sistema di valvole e regolatori posti sopra la bombola;
- d. danneggiamento dei condotti di alimentazione dell'ossigeno.

È ragionevole ipotizzare che, al momento dell'incidente, qualunque ne sia stata l'origine, il velivolo debba pur aver subito qualche danno e, pertanto, non risulta logicamente sostenibile l'ipotesi di cui al punto a). Inoltre, l'ipotesi di cui al punto b) può essere ragionevolmente scartata in quanto, se necessario, il sistema di erogazione dell'ossigeno, compresa l'apertura dei portelli dei contenitori delle maschere, può essere fatta manualmente. Dall'esame dei relitti, per quanto in precedenza osservato, non sembra che tale operazione sia stata effettuata (maschere non utilizzate dai passeggeri).

Le ipotesi di cui ai punti c) e d) sono, invece, entrambe sostenibili. La bombola dell'ossigeno è stata infatti recuperata e risulta priva del sistema valvola-regolatore. Non è facile stabilire se tale danneggiamento si sia verificato al momento dell'incidente od al momento dell'impatto con la superficie del mare ma, certamente, questo tipo di danno, se verificatosi in volo, avrebbe impedito il funzionamento automatico e manuale del sistema di erogazione dell'ossigeno, determinando il rapido svuotamento della bombola. D'altra parte, anche un danneggiamento ai condotti di alimentazione, tale da non renderne possibile la pressurizzazione ai richiesti valori di pressione, avrebbe ugualmente impedito l'apertura automatica dei portelli.

Nel primo caso, il danno causato dall'evento sarebbe localizzabile in cabina di pilotaggio, alle spalle del copilota, nel secondo caso, in qualunque punto della cabina di pilotaggio o del compartimento passeggeri interessato dal passaggio dei condotti dell'ossigeno, secondo lo schema di fig.IV-28.

In sintesi queste le evidenze deducibili.

- a) al verificarsi dell'evento, non si sono aperti i portelli di chiusura dei contenitori delle maschere.
- b) possibili cause di questa anomalia di funzionamento, potendosi ragionevolmente ipotizzare una depressurizzazione del velivolo al momento dell'incidente, possono essere stati i danni causati dall'evento direttamente alla bombola dell'ossigeno od al sistema di tubazione di distribuzione.
- c) la prima ipotesi localizzerebbe l'evento nella zona della cabina di pilotaggio, la seconda in una qualunque zona della cabina di pilotaggio o del compartimento passeggeri, interessata dal passaggio della tubazione dell'ossigeno.

Indagini sui relitti della strumentazione di volo.

Durante le campagne del 1987÷88 e 1991÷92, sono stati recuperati molti frammenti che hanno consentito una ricostruzione quasi completa del cruscotto del cockpit con relativa strumentazione. Su alcuni degli strumenti recuperati è stato ancora possibile leggere i valori dei parametri di volo segnati ed il CP ha ritenuto di dover procedere ad un dettagliato esame di questi strumenti per verificare se da tali valori potessero essere dedotte utili informazioni sugli eventi succedutisi sul velivolo al momento dell'incidente o negli istanti immediatamente successivi.

Gli strumenti sui quali è stato possibile effettuare la lettura dei parametri di volo, sono:

- Altimetro barometrico.
- Orizzonte artificiale giroscopio.
- Indicatore di rotta.
- Indicatori di pressure ratio.
- Flight Director del Comandante.
- Flight Director del Copilota.

Compite le dovute indagini su tutti questi strumenti, queste le evidenze deducibili.

Le indagini tecniche sulla strumentazione di bordo non hanno dato informazioni aggiuntive rispetto a quelle in precedenza dedotte dall'esame del CVR e dell'FDR. Le indicazioni degli strumenti hanno però confermato che:

- a) il volo si è svolto regolarmente fino al momento dell'incidente a valori di quota e velocità congruenti con quanto rilevato dai dati dell'FDR;
- b) al momento dell'incidente si è avuta interruzione di energia elettrica anche alla strumentazione di volo.

Indagini sull'impianto elettrico.

Dalle indagini effettuate nei precedenti capitoli era risultato che, con ragionevole certezza, al momento dell'incidente si è avuta immediata interruzione di energia elettrica a bordo. Il CP ha ritenuto pertanto utile effettuare approfondite indagini sull'impianto elettrico del velivolo e sulle sue protezioni nei riguardi di possibili avarie per cercare di localizzare il possibile danno causato dall'evento.

In primo luogo il CP si è premurato di descrivere lo schema di funzionamento dell'impianto.

L'impianto elettrico principale del velivolo è costituito da generatori di potenza a 115/200 volt in corrente alternata a 400Hz trifase e da un sistema di distribuzione della potenza. Per i sistemi che richiedono una alimentazione in corrente continua, la potenza in corrente alternata viene trasformata in potenza in corrente continua a 28 volt mediante trasformatori-raddrizzatori. Per l'alimentazione degli strumenti la tensione a 115 volt in corrente alternata viene trasformata in tensione a 28 volt, sempre in corrente alternata. Un inverter, alimentato da batterie, fornisce potenza a 115 volt in corrente alternata a 400Hz in condizioni di emergenza, quando ogni altra sorgente di energia è fuori uso.

La potenza elettrica è generata da tre generatori montati rispettivamente sul motore destro, sul motore sinistro e sull'APU. In condizioni di volo normali, e cioè in assenza di avarie all'impianto elettrico, il generatore di destra alimenta la barra di alimentazione destra ed il generatore di sinistra la barra di alimentazione sinistra essendo inattivo l'APU e, quindi, il generatore ad esso collegato. Le due barre sono collegate ai rispettivi generatori attraverso due reti di alimentazione (bus) che operano indipendentemente e, ciascuna barra, alimenta opportune utenze. In caso di avaria ad un generatore, un relay (crosstie relay) provvede a collegare automaticamente le due barre ad una unica sorgente di potenza.

La potenza elettrica in corrente continua è ottenuta attraverso due coppie di trasformatori-raddrizzatori che, anche in questo caso, alimentano due distinte reti di distribuzione le quali, in condizioni di volo normali, operano indipendentemente. Un ulteriore crosstie relay provvede a collegare le due reti ad un unico sistema di trasformatori-raddrizzatori in caso di avaria ad uno di essi. Questo relay differisce dal precedente in

quanto non interviene automaticamente in caso di avaria,, ma deve essere attivato manualmente.

In caso di avaria in volo ad entrambi i generatori elettrici, il sistema di batterie provvede a fornire sia la potenza in corrente continua sia la potenza in corrente alternata, attraverso inverter di emergenza. L'inserimento in emergenza delle batterie non è automatico, ma deve essere fatto manualmente attraverso opportuno switch (Fig.IV-38).

In secondo luogo il CP descrive lo schema della rete di distribuzione.

In seguito compiuta un'accurata analisi del relitto della centrale elettrica, accerta che all'interno di essa e sul crosstie relay non si rinvenivano evidenze di eccessivi sovraccarichi termici e/o di situazioni di corto-circuito. Di conseguenza, gli annerimenti rinvenuti sull'etichetta rossa conseguenti a riscaldamento, non possono ragionevolmente essere attribuiti a sovraccarichi termici causati da corto-circuiti all'interno della centrale ma debbono ritenersi o preesistenti all'incidente o derivanti da altra causa.

Queste le evidenze deducibili dalle indagini.

Le indagini effettuate sull'impianto elettrico, consentono di effettuare una plausibile ipotesi sulla localizzazione del danno all'impianto stesso.

Come ormai più volte riportato, al momento dell'incidente si è avuta una interruzione di energia elettrica a bordo che, quanto meno, ha interessato tutti i sistemi che è stato possibile esaminare attraverso i rispettivi relitti (CVR, FDR, Strumentazione di volo compreso il transponder).

In particolare, l'esame del CVR ha consentito di individuare una possibile sequenza temporale di questa interruzione caratterizzata da:

- a) una prima interruzione di alimentazione elettrica;
- b) un ripristino di alimentazione elettrica dopo un tempo di circa 200ms, compatibile con l'intervento del crosstie relay;
- c) una seconda e definitiva interruzione di alimentazione elettrica dopo circa 10ms.

Questa sequenza di eventi porterebbe ad escludere che il danno abbia potuto interessare le linee di alimentazione e di segnale che dalla centrale elettrica vanno verso le utenze in quanto una interruzione di esse avrebbe determinato una unica interruzione, senza possibilità di successivo riattacco.

Gli esami effettuati sulla centrale elettrica portano inoltre ad escludere danneggiamenti della centrale derivanti da sovraccarichi e/o corto circuiti i quali, peraltro, se presenti, avrebbero dato una caratteristica di interruzione simile alla precedente. L'interruzione di alimentazione

determinata dall'intervento dei breakers può essere eliminata, infatti, solo con intervento manuale sui breakers stessi.

Tenendo conto che il CVR, in condizioni normali di volo, è alimentato dalla barra destra, una plausibile ipotesi è che, al momento dell'incidente, si sia verificato un danno che abbia interessato il bus di destra (generatore e/o cavi di alimentazione), determinando una situazione "a barra morta" con conseguente immediato intervento del crosstie relay che ha commutato la barra destra sul bus di sinistra.

Un immediatamente successivo danno al bus di sinistra avrebbe poi causato la definitiva interruzione dell'energia elettrica.

I danni su entrambi i bus possono aver coinvolto sia i generatori sia i cavi stessi di trasporto dell'energia.

Il primo danno deve comunque essere stato tale da generare una situazione di "barra morta" per determinare l'immediato intervento del crosstie relay.

Indagini sulle schegge.

L'esame delle schegge di plastica, di legno e di metallo, rinvenute nei cuscini ha consentito di rilevarne le caratteristiche di penetrazione e, per molte di esse, la relativa provenienza. Sulla base dei risultati dell'indagine, è stato possibile formulare l'ipotesi che le schegge si siano originate – contrariamente a quanto sostenuto in precedenza e cioè che esse fossero (quelle di piccole dimensioni penetrate nei cuscini e negli schienali) indicative di una esplosione causata da esplosivo ad alto potenziale – al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare e che siano penetrate all'interno dei cuscini attraverso squarci e danneggiamenti, causati dall'evento catastrofico, trascinate dall'acqua, satura di detriti, a sua volta penetrata all'interno della fusoliera. Considerata la rilevanza di questa nuova ipotesi che annulla le precedenti e potrebbe essere più che rilevante nella determinazione delle cause dell'incidente, appare necessario riferire i motivi alla base di essa:

a) se si eccettuano alcune forme di penetrazione sulle quali non si possono fare considerazioni in quanto o manca la parte del cuscino interessata o, addirittura, il cuscino stesso, la quasi totalità delle schegge rinvenute, non ha effettuato alcun tipo di "sfondamento" sul cuscino. Esse si trovano, infatti, o fra fodera e cuscino con fodera fortemente danneggiata, o fra elementi del cuscino quando questi elementi risultano scollati fra di loro, od all'interno di squarci e cavità presenti negli elementi del cuscino stesso. Un tipico esempio di queste caratteristiche di penetrazione è riportato in Fig.IV-48b) relativa al cuscino nr.11. In essa si può osservare che la scheggia di plastica risulta conficcata nella gommapiuma senza peraltro

aver effettuato alcuna penetrazione attraverso il cuscino. A causa delle loro notevoli dimensioni, i danneggiamenti presenti nei cuscini non possono ragionevolmente essere attribuiti all'azione delle schegge, generalmente piccole, ma possono ritenersi causati da azioni meccaniche al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare, con successivo disfacimento della struttura.

b) Negli squarci e nei danneggiamenti sui cuscini, si sono generalmente rinvenuti numerosi frammenti fra di loro eterogenei (plastica, legno, metallo, vernice, vetro ecc.). Risulta difficile ipotizzare che tali frammenti, diversi fra loro per composizione, forma e peso, provenienti da differenti elementi del velivolo, sia pure fra loro adiacenti, se originati da un'esplosione, possano aver percorso traiettorie tali da ritrovarsi tutti addensati negli stessi squarci o danneggiamenti del cuscino interessato. Questo fenomeno non sarebbe da ritenersi casuale ma sistematico, in quanto, come può osservarsi in doc.IV-4, quasi tutte le schegge penetrate si trovano raggruppate all'interno dei predetti squarci o danneggiamenti.

c) La presenza nei cuscini di alcuni frammenti provenienti dai finestrini esterni, rende poco sostenibile l'ipotesi di una esplosione interna. In questo caso, infatti, in caso di rottura dei finestrini stessi, i frammenti avrebbero dovuto essere proiettati verso l'esterno sia per effetto della pressione generata dall'esplosione, sia per effetto della maggiore pressione esistente all'interno della fusoliera rispetto all'esterno, dovuta alla pressurizzazione della fusoliera stessa.

d) Per lo stesso motivo del punto precedente, non è giustificabile con l'ipotesi di esplosione interna la presenza nei cuscini di frammenti provenienti dall'esterno della zona pressurizzata della fusoliera (frammenti di rivetti esterni, frammenti provenienti dal fairing ala-fusoliera).

e) Molti frammenti "penetrati", provengono da zone adiacenti ai cuscini interessati come braccioli del sedile, maniglia del tavolino, struttura del sedile: se tali frammentazioni fossero dovute ad una esplosione, specialmente se interna, di questa, verosimilmente, dovrebbe esserne rimasta traccia visibile sui cuscini stessi che, logicamente, avrebbero dovuto trovarsi in prossimità dell'esplosione stessa.

f) I cuscini interessati dalla penetrazione di schegge esaminati presso i laboratori AM, sono stati, come in precedenza ricordato, in numero di 20. Esami visivi effettuati hanno evidenziato la presenza di frammenti di plastica, legno e vernice in ulteriori cuscini dei quali il nr.11 è un esempio: tali intrusioni hanno le caratteristiche di penetrazione di cui ai precedenti punti a) e b) e, probabilmente, avendo tali frammenti bassa visibilità nelle radiografie, sono sfuggiti agli esami effettuati presso i laboratori AM. Di conseguenza, almeno una trentina di cuscini, fra quelli trovati, sono stati

interessati dalla penetrazione di schegge. Poiché, come osservato nel precedente punto e), è ragionevole ipotizzare che la maggior parte dei frammenti provenga da zone adiacenti ai sedili, ne consegue che l'ipotizzata esplosione dovrebbe aver interessato almeno sei file di sedili ( $6 \times 5 = 30$  cuscini), per una lunghezza dell'ordine di 4-5 metri, pari a circa  $1/3$  della lunghezza della parte abitata della fusoliera. Tenendo conto che l'intensità dell'onda di pressione generata dall'esplosione decade rapidamente dopo distanze dell'ordine di una decina di diametri della carica, da quanto precede consegue che una carica, avente un diametro dell'ordine di 40-50cm, dovrebbe essere esplosa in una zona adiacente ai sedili. Di questa esplosione dovrebbe essere rimasta traccia, ad esempio, sulle moquettes laterali che ricoprono il pavimento del velivolo, recuperate per intero, che, viceversa, risultano integre, come sarà evidenziato da successive indagini.

Indagini sul rivestimento del pavimento.

I fori ed i danneggiamenti presenti sui frammenti di tappeto non mostrano evidenti segni di attraversamento di schegge ad alta velocità del tipo prodotto da esplosioni sia interne che esterne. Sulla superficie dei tappeti recuperati non si sono osservate evidenze di esplosione. Si possono ragionevolmente escludere evidenze di fenomeni esplosivi che abbiano interessato la cabina passeggeri o il vano bagagli. E ciò in adesione anche alla relazione finale del DRA, che aveva escluso evidenze di esplosione nella cabina passeggeri o in zona del vano portabagagli ad esso sottostante.

Indagini sui relitti dei motori.

Queste le evidenze deducibili dalle indagini compiute sui relitti dei motori. Al momento dell'impatto con la superficie del mare entrambi i motori erano fermi. I motori non hanno ingerito in modo severo corpi estranei. Tutti i corpi estranei ritrovati all'interno dei motori appartengono alla struttura di elementi dei velivolo. Non sono state rinvenute tracce di incendio o sovratemperature nei diversi componenti di entrambi i motori. I motori funzionavano regolarmente prima dell'incidente.

Le indagini avevano tenuto conto in primo luogo della relazione della Fiat Avio, cui era stato richiesto di accertare: a. le condizioni di funzionamento dei due motori al momento dell'impatto; b. il posizionamento delle valvole di shut-off dei regolatori di afflusso del combustibile; c. le cause che potessero aver determinato un eventuale spegnimento dei motori; d. l'eventuale presenza di corpi estranei all'interno dei motori.

Indagini sui bagagli.

Le indagini sui bagagli non hanno dato alcuna utile informazione ai fini delle indagini, se non quella che su di essi non vi sono segni di penetrazione di corpi esterni. I vari reperti erano stati sottoposti ad esame ai raggi x, effettuati presso i laboratori AM di Pratica di Mare, sotto la sorveglianza di membri del CP. Solo cinque valigie mostrarono presenza di corpi visibili ai raggi x. Sottoposti ad esame visivo della Polizia Scientifica era emerso che si trattava di oggetti attribuibili ai contenuti delle valigie.

Indagini sulle caratteristiche di ritrovamento dei relitti.

L'obiettivo delle indagini sulle caratteristiche di ritrovamento dei relitti è di determinare la plausibile posizione del punto di inizio della frammentazione della struttura del velivolo.

Le diverse parti costituenti il relitto del velivolo sono state recuperate nelle zone A, B, C, E, F, riportate nella mappa allegata alla perizia. Attraverso l'esame delle caratteristiche di ritrovamento dei principali frammenti e l'esame del relitto ricostruito è possibile formulare plausibili ipotesi sulla sequenza di rottura dei vari elementi strutturali del velivolo che possono dare utili indicazioni sulla natura dell'evento iniziale.

L'ipotesi che il velivolo avesse potuto impattare con la superficie del mare in condizioni, integre, ritenuta plausibile da alcuni membri del CP al termine delle operazioni di recupero del 91 e giustificabile dall'essere molto vicine le zone di recupero dei frammenti fino ad allora rinvenuti, è stata successivamente scartata a seguito della ricostruzione del relitto, che ha evidenziato la completa mancanza della parte superiore del tronco posteriore della fusoliera e del ritrovamento di questa parte nelle zone E ed F, notevolmente distante dalle zone A, B, C stesse.

È stata pertanto ritenuta plausibile l'ipotesi che tale parte del velivolo si fosse staccata volo.

Inoltre, in zona E sono stati ritrovati i frammenti dell'ordinata di attacco anteriore dei motori. Ne consegue, pertanto, che anche i due motori debbono essersi staccati in volo, in quanto privati del loro vincolo con la fusoliera.

La perdita della parte superiore della fusoliera rende inoltre plausibile l'ipotesi che anche il tronco di coda, rinvenuto in zona A, si sia, staccato in volo, con sequenza temporale da determinarsi, in quanto privato di gran parte del sistema di vincolo con la fusoliera stessa.

Seguono paragrafi dettagliatissimi sulle modalità di collasso del relitto principale, fusoliera e semiali; dei motori, con analisi delle possibili azioni dinamiche sui relitti dei motori al momento dell'impatto; del tronco di coda; di distacco e frammentazione della parte posteriore di fusoliera, con ipotesi di, distacco dei frammenti.

Da queste complesse e particolareggiate indagini si deducevano le seguenti evidenze.

Indagini sulle modalità di collasso del velivolo.

- Il primo principale evento, che si è verificato a bordo e che ha determinato l'inizio del collasso della struttura, è stato il cedimento dell'attacco anteriore del motore destro, in corrispondenza del vincolo con l'ordinata 786. A seguito di questo evento, si è avuto il distacco del motore destro con parte della fiancata adiacente all'attacco posteriore (recuperata in zona B) e, plausibilmente, anche con parte della fiancata adiacente all'attacco anteriore (di cui sono stati recuperati soltanto i frammenti AZ498 e AZ574).

Tali eventi hanno determinato una prima interruzione di energia elettrica al bus di destra, registrata sul CVR, con intervento del crosstie relay che ha trasferito l'alimentazione delle utenze sul bus di sinistra e la depressurizzazione immediata della toilette e della cabina passeggeri, con onda di depressione proveniente da destra, in accordo ai risultati delle analisi medico-legali che saranno successivamente discussi.

Immediatamente dopo si è avuto il distacco del motore sinistro per cedimento completo dell'ordinata di attacco 786 ed il cedimento dell'ordinata di forza 642, con distacco della fiancata sinistra contenente i finestrini (frammento n.529) che, deflessa dal flusso di aria in senso contrario al moto, ha urtato contro la presa d'aria del motore stesso.

I danni intervenuti nelle vicinanze del motore sinistro hanno provocato la definitiva interruzione di energia elettrica, registrata anch'essa sul CVR.

Poichè l'intervallo di tempo fra le due interruzioni rilevabile dal CVR è dell'ordine del centinaio di millisecondi, pari al tempo d'intervento del crosstie relay, si deve concludere che il cedimento dei collegamenti elettrici è stato pressochè contemporaneo.

Questo è in accordo al fatto che i due motori sono stati recuperati nella stessa zona B con il sinistro più a Sud nella fascia dei ritrovamento e che parte della fiancata sinistra è stata recuperata in prossimità del limite Nord della fascia dei ritrovamento.

Il cedimento dell'ordinata di forza 642 ha determinato, in rapida sequenza, il distacco, in corrispondenza di essa, della parte posteriore della fusoliera e la sua distruzione anche per effetto di "pelatura" in direzione contraria al moto del velivolo determinata dalla pressione dinamica esercitata dal flusso di aria. Tale distruzione ha determinato la dispersione dei frammenti nelle zone di ritrovamento F ed E.

Subito dopo questi eventi si è avuto il distacco dell'estremità della semiala sinistra e del tronco di coda. L'effetto della "petalatura" sopra descritto, e in particolare quello visibile sugli elementi del fianco sinistro del velivolo, può essere avvenuto solo se la struttura della parte della fusoliera ad essi retrostante fosse stata in grado di fornire un sufficientemente elevato grado di vincolo. Di conseguenza il distacco del tronco di coda può essere avvenuto in istanti immediatamente successivi al cedimento dell'ordinata, al massimo contemporaneamente ad essa. Questo è dimostrato anche dalla presenza dei segni rossi visibili sul bordo di attacco delle superfici orizzontali, ragionevolmente attribuibili ad impatto di frammenti di fusoliera colorati in rosso.

Il resto del relitto non ha subito ulteriori frammentazioni durante la caduta e si è distrutto al momento dell'impatto con la superficie del mare in corrispondenza della zona di recupero.

#### Indagini frattografiche.

Le indagini frattografiche condotte dal collegio peritale metallografico-frattografico, sono state riportate in perizia. Da esse era emerso che non erano stati rinvenuti segni di rotture per fatica e che le modalità di rottura dei principali frammenti sono congruenti con la sequenza e le modalità dei distacchi.

#### Indagini esplosivistiche effettuate in precedenti perizie.

In precedenti perizie - indagini effettuate dall'AM per la Procura, e nella perizia Blasi - l'evento esplosivo fu ipotizzato sulla base di analisi morfologiche ed analisi chimiche, e, per quanto concerne la predetta Blasi, anche in considerazione della presenza di schegge all'interno dei cuscini e degli schienali dei sedili.

Le analisi morfologiche mostrano Rolled Edges, Gas Washing, Pitting su alcune schegge (AM e Rarde), fibre globularizzate su fodere di cuscini ed involucri di valigie (AM e Rarde), superficie a buccia d'arancia su di un disco metallico (Rarde) e fusioni su vestito della bambola (Rarde).

Le analisi chimiche mostrano tracce di esplosivo su schegge estratte da cuscini (AM-T4) e su un gancio estratto da uno schienale di un seggiolino (CNR-TNT e T4).

#### Indagini chimiche.

Il collegio ha proceduto in proprio – oltre quelle affidate da questo GI ad altro autonomo collegio – ad indagini chimiche sul noto gancio estratto dallo schienale del sedile n.2 rosso, sugli annerimenti visibili sulla centrale elettrica, su un pacco di documenti a bordo e sul bordo di un pacco

di schedule doganali. Vi ha proceduto compiendo analisi in gascromatografia-spettrometria di massa presso le Università di Firenze e di Pisa. Ha tenuto poi in considerazione le indagini compiute dal collegio Chimico.

Queste le evidenze deducibili.

a. Nell'intorno del foro di alloggiamento del gancio dello schienale del sedile n.12 rosso, sopra il quale furono trovate tracce di TNT e T4, non è stata rinvenuta alcuna traccia di tali esplosivi.

b. Le tracce di TNT e T4 rinvenute sul gancio non possono ragionevolmente essere attribuite ad interferenti derivanti da sostanze con le quali il gancio stesso era sicuramente venuto a contatto.

c. Il solco annerito, trovato sul pacco delle schede doganali conservate a bordo del velivolo, è stato originato, con ragionevole certezza, dal contatto con materiale riscaldato ad alta temperatura.

d. Le tracce di vernice rossa sul serbatoio, rinvenuto in prossimità dei relitti del DC9, non corrispondono né alla vernice rossa utilizzata per le scritte e per la livrea del velivolo, né alla vernice rossa con la quale era verniciato il ponte della nave che ha effettuato il recupero (Sea Mussel).

e. Le schegge indicate come 6-4M e 52-1M nella relazione DRA (ex Rarde), sulle quali sono state rinvenute particolari segnature attribuibili a possibile fenomeno esplosivo (Rolled-edges e parziale Melting), in realtà non sono le schegge 6-4M e 52-1M rinvenute dai laboratori AM ed inviate al DRA stesso, sulle quali tali fenomeni sono assenti, ma due diverse schegge, che non sono parte delle precedenti (in modo certo per quanto riguarda il frammento della bustina 6-4M, con qualche riserva per quanto riguarda il frammento contenuto nella bustina 52-1M) e non risultano, almeno dai controlli effettuati a diversi anni di distanza, fra i reperti catalogati dai laboratori AM. In considerazione della rilevanza di tali affermazioni appare opportuno riportare integralmente la storia di queste schegge quale compiuta in perizia.

La storia della scheggia 6-4M.

Per ben seguire la logica degli argomenti che saranno esposti in questo paragrafo e per giustificare la particolare cura che il CP ha messo nelle indagini relative alla scheggia in oggetto, occorre preventivamente anticipare alcuni risultati delle indagini che saranno poi estesamente esposti e discussi nella successiva parte IX della perizia.

In modo estremamente sintetico, si può anticipare che alcuni indizi rilevati sul relitto hanno portato il CP a formulare, insieme alle altre che saranno opportunamente discusse nella predetta parte IX, l'ipotesi di una possibile esplosione all'interno della toilette del velivolo e ad escludere,

con ragionevole certezza, la possibilità di esplosioni in altra parte del velivolo (compartimento passeggeri, stive, vani carrello, ecc).

Nella relazione trasmessa dal Rarde alla commissione Blasi, era riportato che sulla scheggia 6-4M (sic) erano visibili le tracce di evento esplosivo descritte nel precedente capitolo 14 [tenendo conto che nella relazione Rarde si è sempre fatto riferimento alla scheggia 6-4M, nella fase delle indagini che ha preceduto questi controlli, il CP ha sempre ritenuto che il frammento 6-4M(ii) fosse tratto dal grosso frammento 6-4M, a sua volta etichettato come 6-4M(i)]. Di conseguenza, in accordo alla precedente ipotesi, l'elemento strutturale dal quale la scheggia poteva provenire, doveva necessariamente essere adiacente alla zona toilette. D'altra parte, le analisi di composizione effettuate dal Rarde, sempre sul frammento indicato come 6-4M, indicavano che tale scheggia era costituita da una lega prossima alla 2014.

Tenendo conto di questa informazione sul materiale costituente la scheggia e della particolare forma della scheggia stessa, il CP constatò, con ragionevole certezza, che essa non avrebbe potuto provenire dalla zona toilette. Infatti, gli unici elementi di questa zona costituiti da lega 2014 sono i "formers" delle ordinate, dai quali la scheggia non può provenire, come discende immediatamente da una ispezione visiva sulla scheggia e sui formers stessi.

Poiché i segni di rolled edges e parziale melting rilevati sulla scheggia, se attribuibili ad una esplosione, indicavano che il materiale doveva essersi trovato a diretto contatto con l'esplosivo (contenitore della bomba e/o strutture a diretto contatto con essa), da quanto sopra derivava una delle due seguenti possibilità: o i segni sulla scheggia non erano attribuibili ad esplosione, e quindi la possibilità di esplosione doveva essere ricercata con altri indizi, o l'esplosione non era avvenuta nella toilette e, pertanto, se ne dovevano cercare tracce altrove (che non si trovavano).

A questo punto il DRA (ex Rarde), al quale il CP espose questo problema, informò che, in realtà, le tracce di esplosione non erano state ritrovate sulla scheggia 6-4M, come invece riportato nella loro relazione, ma sulla scheggia etichettata come 6-4M(ii) che il CP aveva sempre ritenuto essere stata tratta dalla 6-4M. Contestualmente il DRA fornì la fotografia della scheggia 6-4M(ii), riportata in fig.IV-84 (dal DRA stesso sempre indicata come 6-4M), e gli appunti tratti dal loro brogliaccio di laboratorio, allegati anche alle note esplicative riportate in all.IV-6, dai quali emerge che nella bustina etichettata 6-4M erano compresi due frammenti e cioè il grosso frammento verde 6-4M riportato in fig.IV-83 ed etichettato presso il DRA come 6-4M(i) ed un piccolo frammento di 3x2mm riportato in fig.IV-84 ed etichettato presso il DRA come 6-4M(ii).

Dal confronto fra la fig.IV-83 e la fig.IV-84 si può osservare come le schegge classificate 6-4M dai laboratori AM e dal DRA siano completamente diverse fra loro.

Nel predetto allegato IV-6, i tecnici del DRA hanno anche dichiarato che, a loro parere, non era inusuale aver trovato più di frammento all'interno di una bustina e, a supporto di questa osservazione, hanno citato l'esempio della bustina 6-5M, all'interno della quale furono trovati tre frammenti metallici.

Il CP non ritiene di dover considerare valida tale giustificazione in quanto in ogni bustina sono contenuti tutti i frammenti metallici rinvenuti nella posizione indicata sulla bustina stessa e, in posizione 6-5 (cuscino nr.6, posizione 5), furono effettivamente trovati tre frammenti metallici: è quindi perfettamente logico che nella bustina 6-5M (contenente cioè tutti i frammenti, metallici rinvenuti in posizione 6-5) si trovassero tre reperti.

Invece, in posizione 6 (cuscino nr.6, posizione 4), fu trovato solo reperto metallico (grosso frammento verde ripiegato su se stesso) e quindi non è assolutamente usuale averne trovati due nella corrispondente bustina.

Le analisi successivamente effettuate dal collegio frattografico e dal collegio chimico sulla scheggia 6-4M(ii), in precedenza discusse, hanno poi confermato che essa non era un frammento tratto dalla 6-4M, come la classificazione poteva far supporre, ma era un frammento completamente diverso, praticamente andato distrutto nel corso delle analisi presso il DRA (è rimasta una inglobazione in matrice di plastica sulla quale possono solo effettuarsi controlli di composizione) e del quale non era possibile individuare la zona di provenienza.

Cadeva, a questo punto, ogni indicazione che poteva discendere dalla scheggia 6-4M: le ulteriori analisi di controllo su di essa effettuate sempre dal collegio frattografico e dal collegio chimico (da qui la necessità delle accurate indagini in precedenza riportate), hanno ulteriormente indicato che su di essa non vi era traccia di alcun evento particolare e che la sua composizione chimica non era corrispondente ad una lega 2014 ma ad una lega 7075, come in precedenza esposto.

In altre parole, una delle due schegge metalliche che secondo i laboratori DRA portavano segni attribuibili ad esplosione, è da considerarsi un reperto di incerta provenienza sul quale, da questo punto di vista, non si può più effettuare alcun controllo.

La storia della scheggia 52-1M.

Anche la scheggia 52-1M presenta una storia simile alla precedente.

L'esame iniziale della scheggia non ha consentito al CP di formulare alcuna valutazione critica dei risultati in quanto, nella bustina 52-1M

disponibile presso l'AG, era contenuta solamente una inglobazione su materiale plastico nero etichettata come 52-1M che, come al solito, il CP ha ritenuto essere la parte affiorante della 52-1M, completamente affogata nella matrice plastica. Da tale inglobazione non era ovviamente possibile trarre alcuna indicazione sulla possibile provenienza della scheggia, come invece fatto a proposito della 6-4M.

L'esame della predetta nota esplicativa inviata dal DRA e riportata in All.IV-6, ha fatto sorgere nel CP dubbi su questa scheggia simili a quelli espressi nel precedente capitolo.

Infatti, dalla copia del brogliaccio di laboratorio allegata al documento citato, risulta che nella bustina 52-1M il DRA ha rinvenuto due frammenti metallici dei quali uno di dimensioni di circa 5x2mm che non presentava alcun segno particolare e l'altro, di dimensioni di circa 3x2mm, sul quale furono rilevati segni di rolled edges, probabilmente derivanti da danno meccanico, di gas-wash e di parziale melting, attribuibili ad effetti di esplosione avvenuta nelle vicinanze della zona di origine del reperto.

Ora, dall'esame delle relazioni AM riportate in doc.IV-5, IV-6 e IV-7 nelle quali sono catalogate e fotografate tutte le schegge estratte dai cuscini, risulta che nel cuscino 52, in posizione 1 fu trovata una sola scheggia metallica (52-1M) descritta come "frammento di lamiera metallica con pittura verde chiaro" riportata nella fotografia nr.73 del doc.IV-5 insieme agli altri frammenti non metallici rinvenuti nella stessa posizione e, isolatamente, nella fotografia nr.35 del doc.IV-7 che, per comodità di consultazione, è stata riprodotta anche nella Fig.IV-85 di questa perizia.

Il confronto della fotografia di questa figura con la fotografia di Fig.IV-86 e la descrizione effettuata dal DRA (... "paint on it"...), consente di verificare con ragionevole certezza che questo frammento coincide con il frammento 5x2mm pervenuto al DRA stesso, sul quale non è stato trovato alcun segno particolare.

Le tracce di esplosione sono state trovate sul piccolo frammento 3x2mm che, ragionevolmente, deve considerarsi essere il frammento inglobato ed attualmente presente nella bustina 52-1M.

A questo punto occorre chiedersi da dove provenga il frammento 3x2mm, visto che in posizione 52-1 fu trovato il solo frammento 5x2mm

Una ipotesi è che esso sia un frammento staccatosi dal 5x2mm. Un controllo in questo senso, analogo a quanto fatto per il frammento 6-4M(ii), non può essere eseguito perchè, attualmente, nella bustina è presente un solo frammento inglobato, presumibilmente corrispondente al 3x2mm.

In ogni caso, tale ipotesi può considerarsi poco probabile in quanto, come in precedenza riportato, sul frammento 5x2mm non sono stati rinvenuti segni di esplosione: sarebbe molto singolare che i segni di

esplosione si fossero trovati solo sulla piccola superficie 3x2mm, casualmente staccatasi dalla 5x2mm.

L'altra ipotesi è che il frammento 3x2mm sia un frammento non proveniente dal 5x2mm, non catalogato dai laboratori AM e, quindi, di incerta provenienza.

Anche in questo caso, pertanto, come già verificatosi a proposito del frammento 6-4M, il secondo reperto contenuto nella bustina sul quale presso i laboratori del DRA sono stati trovati segni attribuibili ad esplosione, è da considerarsi come un reperto di incerta provenienza, sia pure con le riserve in precedenza formulate.

Infatti, tale ipotesi non può avere un assoluto grado di certezza come l'analogia formulata a proposito del precedente frammento 6-4M, in quanto, nel caso precedente, si è potuto operare su entrambi i reperti fisicamente presenti mentre, in questo caso, è disponibile un solo frammento, anziché i due originariamente contenuti nella bustina, sul quale possono farsi solo logiche congetture.

Su alcuni controlli effettuati dal CP.

Tenendo conto dell'importanza che le conclusioni riportate nei precedenti due capitoli potranno avere nell'ambito delle analisi critiche dei risultati delle indagini tecniche, il CP ha ritenuto opportuno effettuare più precisi controlli su tutte le schegge recuperate nei cuscini per verificare se le predette differenze fra schegge catalogate e schegge contenute nelle bustine potessero essere riscontrabili anche per altri reperti e potessero essere attribuite ad errori nella classificazione dei frammenti od a confusioni fra i reperti verificatesi durante le diverse manipolazioni che i reperti stessi hanno avuto nel corso del tempo.

A maggior chiarimento di quanto in precedenza esposto, è opportuno aggiungere che tutte le schegge estratte dai cuscini recuperati al momento dell'incidente, furono catalogate e fotografate presso i laboratori AM (doc.ti IV-4÷IV-8).

Le schegge metalliche furono inserite in bustine di plastica che portavano l'etichetta del nr. del cuscino e della posizione nel cuscino nella quale esse furono ritrovate, seguita dalla lettera M (metallica) o FCM (ritrovata tra fodera e cuscino-metallica).

Di seguito è riportato l'elenco delle bustine contenenti le schegge metalliche attualmente in possesso dell'AG, nel quale è anche indicato il nr. delle schegge metalliche contenute in ciascuna di esse, anche sotto forma di inglobazioni effettuate a scopo di analisi. In questo elenco, per ora, non sono comprese le bustine 6-4M e 52-1M per i motivi che saranno di seguito evidenziati.

2-1M	2 inglobazioni trasparenti di cui una relativa ad un rivetto e l'altra ad un frammento di lamiera.
3-FCM	1 frammento ribattino.
3-3M	1 frammento di lamiera.
5-FCM	1 frammento di rivetto.
6-FCM	1 frammento di ribattino.
6-5M	3 frammenti dei quali 2 parti di rivetto ed 1 frammento di lamiera.
6-6M	4 frammenti dei quali 1 parte di ribattino, 2 parti di rivetto, 1 frammento di lamiera. È presente anche una inglobazione, forse parte di uno dei frammenti.
10-FCM	1 frammento inglobato su matrice trasparente.
10-1(M)	1 chiodo.
10-3M	2 frammenti di lamiera dei quali uno molto piccolo.
10-4M	1 frammento di ribattino.
10-5M	1 frammento di lamiera.
10-7M	1 frammento di lamiera.
10-8M	1 frammento di rivetto.
19-1(M)	1 frammento di grosso ribattino inserito nella busta 19-1.
22-1M	1 frammento di rivetto.
22-2M	1 frammento di rivetto.
26-FCM	2 frammenti di lamiera verniciata di verde.
26-3M	1 frammento di rivetto.
27-1M	5 frammenti di lamiera di cui uno inglobato su matrice trasparente.
30-2/3M	1 frammento di ribattino.
31-1/2M	2 frammenti dei quali 1 parte di rivetto ed 1 punto metallico.
35-1M	1 groviglio di fili metallici.
35-3M	1 anellino inglobato in matrice trasparente.
36-5M	1 frammento di rivetto.
36-6M	1 vite inglobata in materiale trasparente.
45-1M	1 frammento di rivetto molto piccolo nella busta 1.
45-2M	1 grosso rivetto.
48-1M	1 testa di rivetto.
48-3M	1 frammento di lamiera verde.
50-FCM	1 frammento di, lamiera verde.
50-1M	1 frammento di lamiera.
10-25-50-M	1 frammento di lamiera verde (caduto durante il maneggiamento dei tre cuscini).

Dal precedente elenco si può osservare che nelle bustine considerate, escluse cioè le bustine 6-4M e 52-1M, sono complessivamente presenti, nr.46 frammenti metallici.

Esaminando i documenti prodotti dall'AM, escludendo anche in questo caso i frammenti metallici ritrovati nelle posizioni 6-4 e 52-1, si può rilevare che tutte le schegge metalliche estratte dai cuscini esaminati e catalogate, sono in numero di 42.

La differenza fra questo numero e quello rilevabile dai contenuti delle bustine, deriva dalla bustina nr.27-1M nella quale sono presenti 5 frammenti metallici mentre dalla classificazione effettuata, dai laboratori AM ne risulterebbe 1.

Un più attento controllo effettuato attraverso la fotografia nr.28 di doc.IV-7 ha consentito di verificare che l'unica scheggia metallica rinvenuta in questa posizione, è stata suddivisa in 5 frammenti dei quali uno inglobato in matrice trasparente.

Pertanto, escludendo le bustine 6-4M e 52-1M, si può riscontrare una completa corrispondenza fra schegge metalliche contenute in ciascuna bustina e schegge metalliche rinvenute nei cuscini nelle corrispondenti posizioni indicate sulle bustine stesse e catalogate dai laboratori AM al momento dell'estrazione dai cuscini stessi.

Sono quindi da escludere errori di catalogazione o di inserimento nelle bustine.

Le uniche differenze fra contenuti delle bustine e quantità di schegge rinvenute nelle posizioni indicate sulle bustine stesse, si hanno quindi solo a proposito delle bustine 6-4M e 52-1M ciascuna delle quali, quando pervenuta ai laboratori DRA, conteneva due frammenti metallici mentre, secondo quanto ritrovato nelle posizioni 6-4 e 52-1, ne avrebbe dovuto contenere solo uno.

Un controllo effettuato sul numero totale dei frammenti rinvenuti nelle posizioni 6-4 e 52-1, fotografati nel doc.IV-5 e classificati nel doc.IV-6, ha confermato che in ognuna delle predette posizioni era presente un solo frammento metallico.

Infatti dalle fotografie e dalla classificazione si rileva che in posizione 6-4 furono trovati nr.19 frammenti dei quali nr.18 non metallici ed in posizione 52-1 nr.9 frammenti dei quali nr.8 non metallici corrispondenti, per entrambe le posizioni, a quelli contenuti nelle rispettive bustine. Di conseguenza, per far tornare il numero totale dei reperti per ciascuna delle due posizioni, i frammenti metallici non possono essere stati che uno per bustina.

D'altra parte non si può neppure ipotizzare che i due piccoli frammenti rinvenuti all'interno delle bustine siano derivati dai frammenti

più grossi (come nel caso del frammento 27-1M) per i motivi discussi nei precedenti capitoli 15.4 e 15.5, sia pure con le opportune riserve per quanto riguarda il frammento 52-1M.

L'esame delle fotografie nr.9 e nr.35 di doc.IV-7 consente poi di verificare che i due frammenti metallici catalogati corrispondono ai due frammenti più grandi esaminati dal DRA e sui quali non è stata ritrovata alcuna particolare segnatura.

Le segnature indicanti gli effetti di esplosione sono state ritrovate nei due frammenti più piccoli contenuti in ciascuna bustina, entrambi di dimensioni dell'ordine di 3x2mm ed entrambi costituiti da scaglie di clad, non catalogate nei documenti AM.

Questo tipo di controllo effettuato ha consentito quindi di escludere in modo ragionevolmente certo possibili errori nella classificazione e nella conservazione dei reperti, ma non ha consentito di formulare ragionevoli ipotesi sulla provenienza dei due reperti aggiuntivi rispetto a quelli catalogati, sui quali sono state individuate le tracce di una possibile esplosione.

Indagini medico legali.

Sulla base di tutte le analisi medico-legali ed in particolare della relazione Giusti, il collegio afferma che i dati di ordine biologico appaiono compatibili con la ipotesi di una depressurizzazione della fusoliera con onda di depressurizzazione proveniente da destra. La morte dei passeggeri i cui corpi sono stati recuperati, può farsi risalire alle lesioni derivanti dall'impatto del velivolo con la superficie del mare. È esclusa la morte per annegamento. Non vi sono dati di ordine biologico che confermino l'ipotesi di una esplosione interna ma, solo su questa base, tale ipotesi non può essere esclusa. La letteratura e la casistica mostrano che a bordo di un velivolo possono verificarsi esplosioni se a che i cadaveri ne rechino visibili tracce (Lockerbie).

Indagini sul serbatoio di velivolo militare recuperato in zona D.

Il più importante problema – riferisce il collegio – associato all'interpretazione dei plots successivi all'incidente è stato di stabilire se essi fossero associabili a frammenti del velivolo in caduta o ad altri velivoli presenti nella zona dell'incidente.

Durante la campagna di recupero del 1991÷92 effettuata dal CP, fu formulata già ipotesi di tentativo che una delle tracce identificabili attraverso tali plots fosse relativa ad un grosso frammento del velivolo e, di conseguenza, una volta completato il recupero dei frammenti in zona C, furono effettuate ricerche nella zona di mare verso la quale la traccia sembrava dirigersi. In questa zona, dicata come zona D Fig.III-10, posta a

circa 6NM ad Est del punto dell'incidente, non furono trovati gli ipotizzati frammenti del velivolo I-Tigi, ma frammenti di serbatoio di carburante sub-alare di tipo sganciabile in volo, sicuramente appartenente ad un velivolo militare.

Pur riservandosi di fare successivamente gli ulteriori ed approfonditi controlli nella Parte V della perizia, a questo punto al CP non è sembrato fuori di logica ipotizzare che la possibile traccia individuata attraverso i predetti plots potesse essere relativa al velivolo al quale il serbatoio apparteneva e dal quale poteva essere stato sganciato. Per verificare questa possibilità l'AG ed il CP hanno compiuto opportune indagini giudiziarie e tecniche su questo serbatoio, i cui risultati sono di seguito indicati.

Dopo aver redatto storia e descrizione di tale serbatoio, il CP analizza approfonditamente le sue possibili traiettorie di volo dopo lo sgancio; indaga quindi sulle modalità della sua rottura. Trae da questi studi le seguenti evidenze:

- a. tenendo conto della configurazione delle alette posteriori, il serbatoio può essere appartenuto ad un velivolo A-4-Skyhawk, prodotto in USA dalla Mc Donnell-Douglas, o ad un velivolo A-7-Corsair, prodotto sempre in USA dalla Vought. Tali velivoli sono in dotazione alle forze aeree di diversi Paesi, ivi comprese le forze aeree della Marina degli USA.
- b. Le rotture osservabili sul relitto sono congruenti con un impatto ventrale del serbatoio con la superficie del mare, probabilmente con ancora notevole quantità di carburante nel suo interno.
- c. Tenendo conto che da calcoli di prima approssimazione l'assetto del serbatoio durante la caduta può risultare fortemente picchiato, l'impatto ventrale può essere giustificato o come evento casuale determinato dai complessi moti di tombolamento ai quali il serbatoio può essere andato soggetto a causa della sua instabilità latero-direzionale, o come evento derivante dallo sgancio del serbatoio a quota molto bassa.

Possibile successione e concatenazione degli eventi.

Dall'esame critico delle evidenze derivanti dalle indagini sull'intero relitto e in particolare dalle indagini sulle modalità di collasso, frattografiche, e sui principali relitti degli impianti e dei sistemi derivano plausibili ipotesi sulla successione e possibile concatenazione degli eventi a bordo nonché sulle cause di tali eventi.

- Fino al momento dell'incidente o, più precisamente, fino all'istante dell'ultima risposta del radar secondario, il volo si è svolto regolarmente, secondo quanto emerge dall'analisi dei dati del Flight Data Recorder. Non si rilevano eventi specifici, quali presenza di turbolenza, forti variazioni di fattore di carico od altro, che, in qualche modo, possano correlarsi con l'incidente.

- Nell'intervallo di tempo di circa 5-6sec, intercorrente fra l'ultima risposta del radar secondario e la prima risposta del solo radar primario, si è verificato l'evento o la serie di eventi che hanno causato l'incidente; quindi nell'intervallo di tempo compreso fra le ore 20.59.45 e le ore 20.59.51 locali.
- A seguito dell'evento che ha causato l'incidente, si è avuto il distacco e la frammentazione in volo della parte posteriore della fusoliera, in massima parte sovrastante il pavimento, compresa approssimativamente fra le stazioni 642 e 877, il distacco di entrambi i motori, del tronco di coda e dell'estremità della semiala sinistra. Il cedimento ed il distacco di questi elementi è avvenuto nell'arco di 4-5 secondi successivi.
- Nell'arco di questo tempo, uno dei primi eventi è stato il cedimento del vincolo anteriore con la fusoliera del motore destro che ha determinato il distacco del motore stesso con parte della fiancata destra del velivolo ad esso adiacente. Tenendo conto che in condizioni normali di volo, il CVR è alimentato dalla barra destra e, quindi, dal generatore posto sul motore destro, questa ipotesi di distacco è congruente con la prima interruzione di corrente registrata dal CVR stesso, determinata dal distacco del motore destro.
- Il distacco del motore, e di conseguenza il tranciamento dei cavi di potenza del bus di destra, potrebbe aver determinato una situazione a "barra morta" che ha causato l'immediato intervento del Crosstie Relay il quale, nell'arco di qualche centinaio di millisecondi, ha collegato sulla barra di sinistra le utenze normalmente alimentate dalla barra destra. Questa ipotesi è quindi in accordo con il riattacco di corrente registrato dal CVR dopo la prima interruzione.
- Il distacco del motore destro con parte della fiancata potrebbe aver depressurizzato il vano toilette con quasi contemporanea distruzione ed espulsione all'esterno degli arredi e con sfondamento verso l'esterno del velivolo della porta di accesso della toilette, per effetto della maggiore pressione esistente all'interno del velivolo, con deformazione del battente della parte stesso verso l'esterno del velivolo (verso l'interno del vano toilette)... . Comunque questo non è consistente con altre conclusioni.
- Praticamente nello stesso istante o, più precisamente, dopo il predetto intervallo, dell'ordine del centinaio di millesecodi che ha reso possibile l'intervento del Crosstie Relay e il momentaneo ripristino dell'energia, si è avuta la definitiva interruzione di energia elettrica, ragionevolmente dovuta al danneggiamento del bus di sinistra a sua volta causato dall'inizio del distacco del motore sinistro, sempre per cedimento del vincolo anteriore con la fusoliera.

- Sempre nello stesso istante si è avuto il cedimento dell'ordinata di forza 642 in corrispondenza della quale vi è il collegamento del tronco posteriore con il tronco centrale della fusoliera e l'immediato distacco, a partire da essa, della fiancata sinistra, contenente i 4 finestrini che, deflessa verso la parte posteriore del velivolo dalle azioni fluidodinamiche generate dal flusso d'aria, ha urtato il motore di sinistra che, al momento, non si era ancora completamente distaccato, improntando di rosso la presa d'aria.
- Pertanto il distacco del motore destro con parte della fiancata adiacente, il cedimento dell'ordinata di forza della fusoliera, il distacco della fiancata sinistra ed il distacco del motore sinistro debbono plausibilmente ritenersi come eventi verificatisi in una successione di tempo rapida, non superiore ai 4 secondi. Questa ipotesi è in accordo con le caratteristiche di ritrovamento dei due motori nella stessa zona, a distanza circa 1000 metri l'uno dall'altro (misurati secondo la direzione del moto iniziale), e della fiancata sinistra, a sua volta rinvenuta in prossimità della fascia Nord dei ritrovamento.
- Il cedimento dell'ordinata di forza 642 potrebbe aver causato, in rapida successione compresa nel predetto intervallo di tempo, in corrispondenza ad essa, della parte posteriore della fusoliera sovrastante il pavimento e la sua distribuzione, principalmente per effetto di "pelatura" in direzione contraria al moto del velivolo, determinata dal flusso di aria. Tale distruzione ha determinato la dispersione dei frammenti nelle zone di ritrovamento F ed E.
- Questa ipotesi di rottura è in accordo con la mancata attivazione del sistema di erogazione dell'ossigeno che, a seguito della depressurizzazione della fusoliera, doveva necessariamente determinare l'apertura dei portelli dei contenitori delle maschere. Infatti, lo scollamento della parte posteriore dal tronco centrale della fusoliera ha certamente causato il tranciamento delle condotte dell'ossigeno che passano sul lato destro e sinistro del cielo della cabina passeggeri.
- Contemporaneamente a questi eventi, si è avuto il distacco del tronco di coda sul quale sono visibili alcuni forti danneggiamenti, plausibilmente attribuibili all'impatto con la superficie del mare. Gli effetti di pelatura riscontrabili sugli elementi di struttura che sono posizionati anteriormente al tronco di coda stesso e la presenza delle tracce rosse sul bordo di attacco delle superfici orizzontali di coda, derivanti con molta probabilità dall'impatto con frammenti della fiancata del velivolo, rendono plausibile l'ipotesi che il suo distacco dal relitto principale si sia verificato dopo il cedimento dell'ordinata 642 e delle fiancate stesse del velivolo.

Le modalità di cedimento dell'estremità della semiala sinistra meritano alcune considerazioni particolari che saranno successivamente effettuate.

Il relitto principale, costituito dalla restante parte della fusoliera, da parte della semiala e dall'intera semiala destra, ha impattato con la superficie del mare, in zona C, seguendo una traiettoria di caduta difficilmente ricostruibile a causa della mancanza di ogni superficie di stabilizzazione e controllo e della forte asimmetria geometrica delle due semiali. L'impatto con la superficie del mare è comunque avvenuto in corrispondenza del fianco destro del relitto.

Considerazioni sul cedimento dell'estremità della semiala sinistra.

Il cedimento dell'estremità della semiala sinistra è avvenuto attraverso una vistosa deformazione verso il basso, plausibilmente attribuibile all'azione di un momento flettente agente, ovviamente, nella stessa direzione, di intensità superiore a circa 10ton.x.m.

Il tipo di deformazione rilevato esclude in modo certo che il distacco dell'estremità della semiala possa essere avvenuto per cedimento spontaneo della struttura. Può, pertanto, essere dovuto solo a condizioni di carico anomale che possono essersi verificate sulla semiala sinistra.

A tal proposito due ipotesi sono possibili: la prima è che il cedimento dell'estremità della semiala possa essere stato il primo evento che si è verificato sul velivolo. In questo caso, la causa dell'incidente andrebbe ricercata in un evento esterno al velivolo. La seconda ipotesi è che la rottura dell'estremità della semiala sia stata dovuta a condizioni di carico anomale susseguenti ad un diverso evento verificatosi, vuoi all'interno del velivolo vuoi all'esterno. In questo caso la rottura dell'estremità della semiala dovrebbe considerarsi non causa ma conseguenza dell'evento che avrebbe causato l'incidente.

L'esame della posizione di ritrovamento del frammento della semiala potrebbe far pensare che il distacco di tale frammento non sia avvenuto immediatamente al momento dell'incidente. Però, il frammento di semiala può essere andato soggetto a non trascurabili azioni aerodinamiche, che ne possono aver alterato sensibilmente la traiettoria di caduta sia in aria che in acqua. Il frammento, essendo un corpo cavo e, plausibilmente, svuotato del carburante inizialmente contenuto, ha potuto galleggiare per qualche tempo e spostarsi verso Sud plausibilmente per effetto del vento e/o della corrente.

La posizione di ritrovamento del frammento della semiala, pertanto, non fornisce un criterio certo per privilegiare una delle due precedenti ipotesi. Esse, quindi, sono ritenute egualmente possibili. Possibili cause degli eventi descritti.

Al verificarsi dell'incidente, si è avuto il pressochè contemporaneo cedimento degli attacchi anteriori dei motori alla fusoliera, con leggero anticipo del cedimento dell'attacco destro rispetto a quello sinistro.

In altre parole, se un velivolo viene sottoposto a condizioni di carico derivanti dal superamento del massimo valore del fattore di carico a causa di effetti combinati di manovra e raffica, su di esso agiscono accelerazioni e, quindi, carichi inerziali che, in aggiunta a quelli di esercizio, possono essere tali da determinare il cedimento della struttura del velivolo in corrispondenza dei predetti, elementi critici.

Nell'ambito dell'ipotesi di superamento del massimo valore del fattore di carico, le cause dell'incidente andrebbero quindi ricercate in un evento interno od esterno al velivolo in grado di causare su di esso le condizioni di carico descritte.

Le ipotesi tecniche non forniscono elementi certi per operare una motivata scelta fra queste due ipotesi possibili.

Analisi delle evidenze derivanti da precedenti indagini.

Le indagini tecniche effettuate hanno consentito di formulare plausibili ipotesi sulla sequenza e concatenazione degli eventi, ma non hanno fornito elementi per individuare la possibile causa interna od esterna al velivolo, che possa aver innescato la sequenza stessa degli eventi.

Altre indagini hanno, invece, fornito alcuni indizi che potrebbero orientare verso la formulazione di ipotesi di esplosione interna al velivolo (bomba) od esterna (abbattimento mediante missile).

I principali indizi verso l'ipotesi di esplosione possono sintetizzarsi nelle segnature lasciate sulle due schegge 6-4M(ii) e 52-1M, nelle fibre globularizzate sugli involucri di alcuni bagagli, sulle fodere di alcuni cuscini e su un frammento di tessuto, nelle particolari segnature sul vestito della bambola, nella pelle a buccia di arancia su un particolare reperto metallico rinvenuto all'interno di una valigia, nelle tracce di esplosivo su vari reperti e, infine, nella formazione stessa di schegge.

La presenza di uno o più dei predetti indizi dovrebbe ritenersi come prova plausibilmente certa di un evento esplosivo.

A parere del CP, le cose possono non stare in questi semplici termini in quanto i predetti indizi di esplosione non sono esenti da alcuni elementi di contrasto fra loro.

Su una evidenza fondamentale derivante dell'esame del relitto.

Le indagini effettuate sul rivestimento del pavimento hanno consentito di escludere, in modo plausibilmente certo, che possa essersi verificato un evento esplosivo nella cabina occupata dai passeggeri, ivi compresa la cabina di pilotaggio, o nei vani del bagagliaio anteriore o posteriore.

Segnature sui frammenti metallici.

Per quanto concerne le schegge 6-4M e 52-1M individuati, com'è noto, dal DRA e già interpretate come indici di esplosione avvenuta in prossimità di esse, il CP afferma che l'aver trovato segni di esplosione non sui frammenti catalogati dai laboratori AM al momento della loro estrazione dai cuscini, ma su un frammento di incerta provenienza, rende particolarmente delicato questo tipo di indizio di esplosione. Esso CP non è in grado di risalire alla provenienza dei due frammenti per verificarne l'appartenenza al relitto del velivolo.

Allo stato attuale delle indagini tecniche, il CP non può che accettare questi due reperti con le relative segnature come un indizio di esplosione, riservandosi di ritornare sull'argomento qualora questo risultasse il solo indizio dell'esplosione.

Le segnature sui frammenti in oggetto dovrebbero interpretarsi come indizi di esplosione interna al velivolo. I segni rilevati, ed in particolare i segni di gas-washing e di partial melting, possono prodursi su frammenti che si sono trovati a stretto contatto con l'ordigno esplosivo. Sui manuali tecnici (Manuale ICAO redatto dal Rarde per quanto riguarda i segni di esplosione) è sempre riportato che, nella generalità dei casi, tali frammenti appartengono al contenitore dell'esplosivo o, quanto meno, a strutture metalliche a diretto contatto con l'esplosione. È, pertanto, tecnicamente impossibile che tali segni siano stati generati da una esplosione esterna al velivolo.

Data la loro composizione, è poi da escludere che essi possano provenire dalla testa di guerra di un missile.

Occorre aggiungere che sui frammenti 6-4M e 52-1M i laboratori stessi dell'AM non rinvennero i caratteristici segni di vicinanza a fonti esplosive quali ricristallizzazioni e geminazione dei cristalli, derivanti da elevati valori di velocità di deformazione.

Fibre globularizzate.

Fibre globularizzate sono state rinvenute su campioni tratti da alcuni involucri delle valigie e da alcune fodere dei cuscini. Inoltre, altre fibre globularizzate sono state trovate dal CP su uno spezzone di panno verde recuperato in zona E che, non appartenendo agli arredi del DC9, può ragionevolmente considerarsi come un frammento di tessuto appartenente alle fodere delle valigie o contenuto nelle valigie stesse. Poiché esso è stato rinvenuto isolato, non è neppure da escludere che esso non appartenga al DC9 stesso. In ogni caso, le fibre globularizzate sono state rinvenute su reperti provenienti sia dalla cabina passeggeri sia dai vani del bagagliaio del velivolo e, all'interno di queste zone del velivolo, è stato escluso che si sia verificato qualsiasi evento esplosivo.

Occorre rammentare che la globularizzazione delle fibre è dovuta ad un effetto termico provocato o direttamente dall'esplosione o dall'attraversamento e conseguente tranciamento delle fibre del tessuto da parte di frammenti, generalmente metallici, originatisi dall'esplosione stessa. Inoltre, la globularizzazione di fibre di tessuto può avvenire solo se il reperto si trova sufficientemente vicino al punto dell'esplosione e della formazione di schegge.

Poiché, al momento dell'incidente, i cuscini si trovavano certamente all'interno della cabina dei passeggeri e le valigie potevano essere sia all'interno della cabina passeggeri (sotto i sedili) sia all'interno dei bagagliai e poiché in queste zone è molto improbabile che si sia verificato un fenomeno esplosivo, è necessario procedere ad un riesame critico di questi fenomeni di globularizzazione per meglio verificare il tipo di informazione che da essi si può trarre.

Per quanto riguarda le globularizzazioni sugli involucri delle valigie, nella perizia Blasi è riportata la relazione DRA, secondo cui i rigonfiamenti delle estremità delle fibre non sono da ritenersi classiche globularizzazioni, che non sono stati rinvenuti effetti di esplosione sulla superficie esterna o sulle fodere interne delle valigie stesse e che, di conseguenza, i reperti esaminati non debbono ritenersi direttamente interessati da una esplosione ma solo da passaggio di schegge. Pertanto, all'interno dei cuscini e degli involucri dei bagagli "globularizzati" dovrebbero trovarsi schegge che portano i segni dell'esplosione o, nel caso di completo attraversamento, dovrebbero essere individuabili i fori di ingresso e di uscita e la traccia del percorso all'interno della valigia, facilmente riscontrabili attraverso le tipiche segnature sui vari elementi del contenuto.

All'interno delle valigie "globularizzate" (n.2,3,5,8,9) invece non sono state trovate schegge metalliche di alcun genere, ad eccezione di un disco rinvenuto in un non meglio specificato bagaglio, né sono state individuate tracce probabili di attraversamento, generalmente consistenti in carbonizzazioni.

Le fibre globularizzate sulle fodere dei cuscini (5,6,22,31,43) sono state trovate dal DRA; quelle rinvenute dai laboratori AM su differenti cuscini sono state giudicate dai laboratori AM stessi come poche e poco probanti.

Solo nel cuscino n.6 è stata ritrovata una scheggia che porta i segni di esplosione ma la scheggia 6-4M rinvenuta all'interno del cuscino non è quella sulla quale il DRA ha rinvenuto i segni di esplosione. Inoltre, la scheggia 6-4M è stata trovata in posizione 4 insieme ad altre 18 schegge di natura non metallica (plastica, stoffa) e non ha effettuato nessuna penetrazione nel cuscino, essendo stata trovata tra espanso e gommapiuma,

fra loro scollati, e con ingresso laterale, mentre le fibre globularizzate sono state trovate in corrispondenza di strappi sulla fodera superiore del cuscino stesso.

In nessun cuscino sono state trovate tracce di carbonizzazione al di sotto degli strappi delle fodere che presentano segni di globularizzazione. Nessun frammento rinvenuto all'interno dei cuscini e dei bagagli porta segni di tali da farlo ritenere proveniente da zone vicine all'esplosione. L'ipotesi alternativa, che nessuna scheggia che ha effettuato le globularizzazioni sia penetrata nei reperti esaminati, almeno da un punto di vista statistico, non è plausibilmente sostenibile.

Le caratteristiche di globularizzazione rinvenute sui bagagli e sui cuscini presentano quindi non poche singolarità, che debbono far considerare con molta prudenza questi indizi di esplosione, tenendo soprattutto presente che esse non sono perfettamente compatibili con possibili esplosioni che possono essersi verificate al di fuori della cabina passeggeri o dei vani dei bagagliai.

Segnature sul vestito della bambola.

La bambola è stata rinvenuta fra i rottami della parte anteriore della cabina. È molto probabile che essa sia appartenuta alla bambina Giuliana Superchi. Questa, infatti, a differenza delle altre quattro bambine, viaggiava sola ed è usuale che il minore non accompagnato sia fatto accomodare nei primi posti adiacenti alla cabina, di pilotaggio. Nella ipotesi che il vestito fosse appartenuto ad una bambola di questa bambina, il suo ritrovamento fra i rottami della parte anteriore della cabina sarebbe congruente con la posizione da essa quasi certamente occupata. Su tale reperto sono presenti due tipi di danneggiamento:

-il primo tipo è rilevabile sulla manica sinistra e consiste in due piccoli strappi sul tessuto, visibili, all'ingrandimento, nell'intorno dei quali il DRA ha rinvenuto alcune fibre spezzate con estremità rigonfiate. Tale rigonfiamento è stato attribuito al passaggio di frammenti, ad alta velocità derivanti da una esplosione.

-Il secondo tipo di danneggiamento è rilevabile su entrambe le maniche e consiste in due segni di bruciatura solo superficiale, visibili negli ingrandimenti. All'apparenza, sembrano prodotti da un filo caldo appoggiatosi al tessuto. In prossimità di una di queste zone è presente una intrusione di fibre di tessuto rosso (forse appartenente al tessuto del sedile), ritenuta indice della violenza dell'esplosione e della sua vicinanza al reperto, in quanto tali fibre, a causa della loro bassa densità, non possono percorrere elevate distanze ad alta velocità.

Poiché il vestito della bambola è stato rinvenuto tra i rottami della parte anteriore della fusoliera, i precedenti risultati sembrano non concordare con l'evidenza più volte richiamata che all'interno della cabina dei passeggeri, ivi compresa la cabina di pilotaggio, non vi sono tracce di eventi esplosivi.

Il CP ricorda che comunque analoghe intrusioni di fibre colorate in punti del rivestimento del pavimento, inizialmente ritenute indici di esplosione, sono state successivamente attribuite ad effetti di compressione e sfregamento originatisi al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare. I segni di bruciatura rinvenuti sul vestito della bambola sono comunque evidenze che dovranno trovare una spiegazione, insieme agli analoghi segni di bruciatura sui contenitori portadocumenti, che dovevano anch'essi trovarsi in prossimità della cabina di pilotaggio.

Pelle a buccia di arancia su un reperto metallico.

Su entrambe le facce di ognuno dei tre pezzi in cui si è rotto durante la pulitura il disco rinvenuto in un non meglio specificato bagaglio è stata rilevata una forma di rugosità superficiale, definita a "buccia di arancia", alla quale il DRA ha attribuito una importanza determinante, ritenendola una testimonianza di fenomeno esplosivo. Una faccia è risultata rivestita di nichel con sopra riportata una sottile pellicola di oro ma è stato escluso che potesse trattarsi di un quadrante di orologio in quanto mancava il foro centrale per il passaggio del fermo delle lancette. L'ipotesi plausibile è che si potesse trattare di un pezzo di "bigiotteria" contenuto nel bagaglio stesso.

Poiché nessuno dei bagagli recuperati porta tracce di esplosione, per questo reperto si presenta nuovamente la stessa anomala situazione del gancio estratto dallo schienale del sedile 2 rosso. Anche in questo caso, si avrebbero tracce di esplosione su un reperto rinvenuto all'interno di un contenitore senza che di essa se ne vedano tracce sul contenitore stesso. L'ipotesi alternativa potrebbe essere la penetrazione successiva del frammento nella valigia, e cioè al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare: ipotesi plausibile ma non controllabile, in quanto non si conosce la valigia all'interno della quale il frammento è stato rinvenuto e, di conseguenza, non si conosce il suo grado di danneggiamento. Inoltre, tenendo conto della natura del frammento, che lo fa ritenere essere un oggetto personale, si può ragionevolmente ipotizzare che esso dovesse essere contenuto all'interno di una valigia o di una borsa. Se questa ipotesi risultasse corretta, occorrerebbe accettare la possibilità che il frammento sia fuoriuscito da un bagaglio che avrebbe dovuto trovarsi vicino al centro dell'esplosione e che, successivamente, esso frammento sia potuto penetrare in altro bagaglio, lontano dal centro dell'esplosione, in quanto su

di esso non ne esistono tracce, senza subire danneggiamenti o distorsioni. Sebbene si ritenga improbabile l'esplosione nella cabina passeggeri o nel bagagliaio, questa possibilità non può essere completamente esclusa, né si può escludere che uno o due bagagli fossero nella parte posteriore della cabina.

Nella nota esplicativa della sua relazione, il DRA a proposito di questa segnatura dichiara di non aver mai rilevato simili effetti di esplosione (buccia d'arancia) e quindi di non avere esperienza diretta sulla interpretazione di essa. Il CP rinviene in una ricerca bibliografica una pubblicazione di ricercatori canadesi che hanno studiato un fenomeno simile.

Gli autori ipotizzano che il rippling, cioè questa una particolare segnatura, simile ad una ondulazione, possa essere causato dall'azione diretta di una intensa onda d'urto che si sposta obliquamente rispetto ad una superficie di non elevata durezza o da un impatto obliquo di un altro frammento, proveniente da altra superficie, scagliato ad alta velocità da un fenomeno esplosivo.

Questo tipo di spiegazione, a parere del CP, è perfettamente congruente con quanto osservato dagli autori e, cioè, con il fenomeno di rippling su una sola faccia del frammento, ma molto meno congruente con analogo fenomeno, se osservato su entrambe le facce del frammento, come nel caso in esame, a meno di non attribuire al fenomeno stesso una diversa origine. A parere del CP la segnatura in questione può essere attribuibile non solo a fenomeni esplosivi, ma anche a possibili differenti cause, tra le quali, ad esempio, i fenomeni di corrosione, del resto presenti sul reperto.

Tracce di esplosivo.

Tracce di esplosivo (T4) sono state rinvenute:

- nell'anno 82 dai laboratori AM su due schegge estratte dal cuscino n.3 e sugli involucri delle valigie n.11,14,15;
- nell'anno 86 dai laboratori CNR di Napoli sul gancio dello schienale n.2 rosso (TNT+T4);
- nell'anno 94 dal collegio Chimico, sempre sugli involucri delle due valigie n.11 e 14 (TNT+T4).

Il CP ha ritenuto che prove più attendibili di presenza di esplosivi debbano considerarsi quelle effettuate con gas cromatografia-spettrometria di massa effettuate dai laboratori CNR, nell'ambito della perizia Blasi, e dal collegio Chimico in quest'ultima fase dell'istruzione.

1) Gancio rinvenuto nello schienale del sedile rosso.

Il CP ha già effettuato una discussione sulla posizione occupata dal gancio a bordo del velivolo e su come, a causa di essa, sia estremamente poco probabile che particelle di esplosivo possano essersi depositate su tale gancio al momento dell'esplosione, di qualsivoglia natura essa possa essere stata. Sul velivolo, il gancio si trovava all'interno di un foro di piccole dimensioni, completamente sigillato da strati di tessuto rispetto all'esterno e, nell'intorno del foro stesso, non si sono trovate, utilizzando le stesse tecniche di analisi con le quali era stato trattato il gancio, tracce di esplosivo.

Il gancio originariamente era attaccato ad un tessuto di colore rosso ed era affogato all'interno di una imbottitura di colore giallo. Dopo l'incidente potrebbe essere stato inquinato dal carburante fuoriuscito dai serbatoi del velivolo. Sulla base dei risultati, nella relazione chimica è stata formulata una risposta negativa sulla presenza di eventuali interferenti con le risposte analitiche ottenute in precedenti simili analisi. Oltre a quanto esposto, è a conoscenza del CP che quantità di TNT e T4 nelle misure di quelle stimate presenti sul gancio, in analisi esplosivistiche non vengono generalmente prese in considerazione, in quanto esistono forti probabilità che esse derivino da inquinamenti.

In sintesi il CP ritiene di poter formulare le seguenti considerazioni critiche:

- a causa della posizione occupata dal gancio sul velivolo, è estremamente poco probabile, per non dire impossibile, che particelle di esplosivo incombusto abbiano potuto raggiungere il gancio stesso sia nel caso di esplosione interna che in quello di esplosione esterna, senza peraltro lasciare traccia nelle zone adiacenti;
- esistono alcune singolari coincidenze che hanno fatto sospettare al CP la possibile presenza di fenomeni di interferenza di sostanze inquinanti nelle analisi relative alla presenza di tracce di esplosivo ma, tali sospetti, non sono stati confermati dalle specifiche analisi chimiche effettuate;
- in ogni caso, la quantità di esplosivo rinvenuto rende non improbabile la presenza di un fenomeno di inquinamento, come del resto avvenuto in altri incidenti aerei.

Per i suddetti motivi il CP ritiene che la presenza di TNT+T4 sul gancio due rosso non possa ritenersi da sola come prova certa di esplosione interna o esterna al velivolo, ma che l'ipotesi di esplosione, per essere confermata, debba essere sostenuta anche da altri indizi.

## 2) Tracce di esplosivo sulle valigie 11 e 14.

Tenendo anche conto delle ridotte dimensioni di dette valigie, è ragionevole ipotizzare che esse facessero parte del bagaglio a mano dei passeggeri e fossero stivate sotto i sedili della cabina passeggeri. La valigia

14 porta una etichetta “Snamprogetti” e, logicamente, doveva appartenere ad uno dei tre dipendenti della Soc.Snamprogetti, imbarcati sul velivolo. Il CP afferma poi che in primo luogo si può ipotizzare che le particelle di esplosivo incombusto possano essersi depositate sulle valigie a seguito di una esplosione avvenuta esternamente od internamente al velivolo.

In prima ipotesi si può porre che la esplosione sia stata esterna al velivolo: quando si parla di esplosione esterna è evidente che ci si riferisce alla possibile esplosione di una testa di guerra di missile. L'ingresso nell'interno del velivolo di particelle di esplosivo appartenente alla testa di guerra può pertanto essere avvenuto o attraverso le schegge della testa stessa, od attraverso i gas dell'esplosione. La veicolazione di frammenti di esplosivo attraverso le schegge è impossibile in quanto esse, all'interno della testa di guerra, non sono a contatto con l'esplosivo ed inoltre, e principalmente, l'elevata velocità di traslazione e la conseguente azione dilavante del flusso di aria, nonché l'elevata temperatura delle schegge stesse, sono tali da eliminare ogni traccia di esplosivo che casualmente fosse presente su di esse.

La distanza raggiungibile dai residui di esplosivo indecomposto, per proiezione diretta dei medesimi, risulta molto limitata. Alla quota di circa 8000m, per una carica dell'ordine dei 10kg, eventuali particelle di esplosivo non potrebbero trovarsi a distanze troppo superiori ai 10m. In ogni caso, le tracce di esplosivo indecomposto dovrebbero trovarsi solamente sul rivestimento esterno del velivolo. La penetrazione all'interno della cabina passeggeri è estremamente poco probabile, in quanto essa dovrebbe essere avvenuta attraverso le perforazioni originate dalle schegge e le quantità di esplosivo che potrebbero in tal modo essere penetrate, già di per sé modeste per quanto in precedenza osservato, sarebbero state ulteriormente ridotte in modo tale da non poter essere individuate dai comuni mezzi analitici applicabili. Da quanto precede risulta, pertanto, estremamente poco probabile che le tracce di TNT e T4 rinvenute sui bagagli 11 e 14 possano provenire dall'esplosione di una testa di guerra di missile.

Altra ipotesi è che le tracce di esplosivo provengano da una esplosione avvenuta internamente al velivolo. Tale l'ipotesi è più plausibile della precedente in quanto questo tipo di esplosione andrebbe attribuita, con ragionevole certezza, ad attentato terroristico e, quindi, ad un ordigno confezionato artigianalmente, con conseguente possibilità di produzione di elevate quantità di particelle incombuste. Il CP a questo proposito formula le seguenti osservazioni:

- per quanto riguarda le possibilità di trasporto dei residui di esplosivo incombusto, anche nel caso di esplosione interna, valgono le modalità in precedenza discusse, relative all'esplosione esterna. Dal momento che le tracce di esplosivo sono state rinvenute diffuse sugli involucri delle valigie, è da ritenere più plausibile una possibile loro veicolazione attraverso la nube dei gas anziché attraverso le eventuali schegge, delle quali, tra l'altro, non è stata trovata traccia all'interno dei bagagli stessi né si sono identificate traiettorie di possibili attraversamenti;
- è ragionevolmente certo che tali bagagli si trovassero all'interno della cabina passeggeri e quindi, dal momento che in essa e nei sottostanti vani del bagagliaio non si sono verificate esplosioni, in posizione distante e schermata rispetto a possibili altre zone di esplosione.

La discussione sull'ipotesi di esplosione a bordo del velivolo, anche sulla base dei risultati delle indagini di secondo livello, dovrà pertanto essere tale da fornire una possibile interpretazione su come le valigie in esame possano essere state raggiunte da particelle di esplosivo combusto e come possa essere rimasta contaminata la parte inferiore della valigia 11, verosimilmente a contatto con il tappeto del pavimento, e la superficie interna della valigia 14, se, ovviamente, si esclude la possibilità di esplosione interna alla valigia stessa (non gravemente danneggiata) e la possibilità che le particelle ne abbiano attraversato il rivestimento al momento dell'esplosione.

#### Formazione di schegge.

Nelle precedenti perizie l'elevato numero di schegge, rinvenute particolarmente all'interno dei cuscini, è stato ritenuto indice di una esplosione avvenuta a bordo del velivolo. Ma è stata formulata anche l'ipotesi che le schegge si siano originate al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare e che siano penetrate all'interno di squarci e danneggiamenti dei cuscini, causati dall'evento catastrofico, trascinate dall'acqua, satura di detriti, penetrata all'interno della fusoliera.

In tutti i cuscini le schegge si sono addensate in squarci e danneggiamenti presenti mediamente su tutte le facce dei cuscini stessi, indicando quindi traiettorie di eventuale penetrazione del tutto caotiche. Al contrario, allorché schegge sono generate per effetto di esplosione, le traiettorie di esse generalmente si irradiano dal punto di esplosione verso l'esterno e quindi, nel caso in esame, avrebbero dovuto interessare solo le superfici dei cuscini esposte verso la zona di esplosione.

Altro punto da mettere in risalto, secondo il CP, è che nella perizia Blasi, la presenza di frammenti di carta all'interno dei cuscini veniva considerata un indice della violenza dell'esplosione. Il CP ritiene, invece,

che proprio tale caratteristica non può essere considerata come prova di esplosione, giacchè la presenza di carta incombusta è incompatibile con le elevate temperature associate sia all'esplosione sia all'eventuale sfondamento e parziale attraversamento del cuscino da parte del frammento stesso.

Osservazioni conclusive.

Gli indizi che possono orientare verso l'ipotesi di esplosione non possono perciò ritenersi assolutamente certi, giacchè presentano non trascurabili elementi di contrasto fra loro ed anche con alcune evidenze derivanti dall'esame del relitto. In ogni caso, tutti i precedenti indizi sarebbero congruenti, più che con altre, con una ipotesi di esplosione interna verificatasi nella cabina passeggeri o nei vani del bagagliaio, ma tale ipotesi contrasta con la chiara evidenza derivante dall'esame del relitto, che esclude ogni esplosione in queste zone. Tuttavia, gli elementi di dubbio evidenziati, asserisce il CP, non sono tali da far escludere del tutto la possibilità di un'esplosione.

Conclusioni sulle analisi dei risultati delle indagini tecniche.

Dall'insieme delle indagini è stato possibile, prosegue nelle sue affermazioni il CP, ricostruire, con plausibile certezza, la serie degli eventi che si sono verificati a bordo del velivolo e che hanno portato ad una sua parziale frammentazione in volo, ma da esse non è stato possibile trarre una altrettanto plausibile certezza sulle possibili cause dell'incidente.

Due ipotesi:

- la prima discende dall'osservazione che la frammentazione in volo del velivolo si sia originata per cedimento delle sezioni critiche del velivolo stesso, cedimento determinato, a sua volta, da superamento del massimo valore di fattore di carico da progetto. Nell'ambito di questa ipotesi, le cause dell'incidente andrebbero quindi ricercate in un evento interno od esterno al velivolo in grado di causare sul velivolo stesso le condizioni di carico descritte;
- la seconda è che il cedimento della struttura in corrispondenza degli elementi critici sia un evento del tutto fortuito; di conseguenza le cause dell'incidente dovrebbero essere ricercate in un evento interno od esterno al velivolo che abbia potuto danneggiare direttamente uno o più degli elementi strutturali in modo tale da innescare la stessa serie di rotture come nel caso precedente.

Il CP ha anche esaminato criticamente i risultati di indagini chimiche ed esplosivistiche effettuate principalmente da precedenti collegi peritali, dalle quali erano emersi indizi secondo cui possibili eventi esplosivi avrebbero potuto interessare il velivolo. Dalle analisi critiche effettuate

risulta, invece, che tali indizi presentano non trascurabili elementi di incertezza, ma che comunque non possono esser ritenuti tali da far scartare immediatamente e definitivamente l'ipotesi che una qualsivoglia forma di esplosione possa essere stata la causa dell'incidente.

#### Analisi dello scenario esterno.

In assenza di velivoli nel cielo dell'incidente, è evidente che le cause dell'incidente stesso dovrebbero necessariamente essere ricercate in eventi verificatisi all'interno dell'aereo, quali cedimenti strutturali, attentati terroristici od altro. La presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente potrebbe invece spingere a ricercare una possibile correlazione fra tali presenze e l'incidente stesso. E quindi, potrebbero rivestire particolare importanza le ipotesi di collisione o quasi collisione od attacco missilistico. L'assenza di velivoli certamente può escludere queste ultime ipotesi, ma non è da ritenersi vero il contrario. In altre parole, la presenza di velivoli nel cielo dell'incidente non può escludere, in linea di massima, che l'incidente al DC9 sia avvenuto indipendentemente da essa, per cause interne al velivolo stesso.

Per quanto concerne i due plots -17 e -12, registrati dal radar Marconi prima dell'incidente e la serie dei plots registrati dopo l'incidente stesso, il primo dubbio da sciogliere era evidentemente quello relativo alla possibilità che i due plots predetti potessero esser considerati falsi plots ed i successivi plots esser tutti attribuiti a frammenti in caduta del velivolo DC9, originatisi negli istanti immediatamente successivi all'evento. L'analisi teorica non ha consentito di poter effettuare una scelta fra le due ipotesi contrapposte (-17 e -12 veri o falsi/gli altri tutti plots dei resti dell'aereo) e, di conseguenza, nella formulazione e discussione delle probabili cause dell'incidente, esse dovranno essere ritenute entrambe possibili.

#### Ipotesi di assenza di velivoli nel cielo dell'incidente.

La possibilità che nel cielo dell'incidente non fossero presenti altri velivoli oltre al DC9, è basata sull'ipotesi che i plots -17 e -12 possano essere considerati falsi plots e che i plots registrati successivamente all'incidente possano essere tutti attribuiti a frammenti in caduta del velivolo. Sulla base di questa ipotesi di lavoro è stato possibile verificare che, supponendo successive frammentazioni del velivolo dopo l'evento iniziale, quasi tutti i plots registrati dopo l'incidente possono essere associati a frammenti in caduta. Poichè le indagini radar non escludono con certezza che parte dei predetti plots possano essere anche associati alla

presenza di velivoli a bassa cross-section, è necessario discutere anche dell'ipotesi di presenza di velivoli nel cielo dell'incidente.

Ipotesi di presenza di velivoli nel cielo dell'incidente.

La traiettoria 1 risulta individuata da congruo numero di plots mentre la traiettoria 2 risulta individuata dai soli plots -17, -12; quindi, la sua identificazione potrebbe essere ritenuta non del tutto giustificabile. Il CP ha, invece, ritenuto possibile identificare la traiettoria n.2 attraverso questi plots per i seguenti motivi:

- le missioni di volo di velivoli militari che prevedono il riconoscimento o l'intercettazione di bersagli, anche a scopo esercitativo, sono generalmente compiute da almeno due velivoli: a maggior ragione può essere previsto più di un velivolo qualora la missione fosse stata tale da richiedere l'abbattimento del bersaglio stesso, di qualunque natura esso fosse stato;
- lo scenario rappresentato dai tre plots in esame, non è dissimile dallo scenario in effetti presentatosi durante una prova di intercettazione, effettuata in data 30 aprile 85. Durante le manovre di intercettazione furono registrati dal solo secondario e dal solo primario del radar Marconi i plots relativi alle traiettorie percorse dai due velivoli. Durante il primo intercettamento, il primario ha registrato tre soli plots, sulla base dei quali è stata ricostruita la traiettoria 2. Il secondo intercettamento ha dato una successione di plots del primario simile a quella utilizzata per ricostruire la traiettoria 1.

A tutto questo occorre anche aggiungere considerazioni che possono discendere dal ritrovamento in zona D del serbatoio sganciabile di velivolo militare. Infatti, il serbatoio è stato ritrovato in una zona verso la quale sembrava dirigere una traiettoria individuabile attraverso opportuni plots radar. Tali plots corrispondono a quelli utilizzati per ricostruire la traiettoria 1. È evidente che la traiettoria individuata non può ragionevolmente essere attribuita al serbatoio in caduta, in quanto esso, a causa delle sue dimensioni e dalla sua forma, non sarebbe stato in grado di generare echi di ritorno sufficientemente intensi da essere rilevati dal radar, ma può essere attribuita al velivolo che si è trovato nella necessità di sganciare i serbatoi, uno dei quali recuperato. Non è da escludere che il velivolo potesse avere un solo serbatoio in posizione ventrale. Di conseguenza, la presenza del serbatoio può essere ritenuta come possibile indicazione della presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente. Per tali motivi, il CP non ha ritenuto illogico ipotizzare la presenza di due velivoli operanti nella zona. Le analisi teoriche effettuate su tali plots non hanno fornito elementi validi per escludere questa possibilità.

Osservazioni conclusive.

Gli indizi, che in precedenti perizie avevano orientato verso l'ipotesi di esplosione, interna od esterna che fosse, alla luce dei nuovi elementi derivanti dalla ricostruzione del relitto, hanno mostrato alcune contraddizioni che, senza nulla togliere alla possibilità che l'evento possa essersi realmente verificato, rendono necessarie ulteriori e più approfondite indagini per poterlo convalidare od escludere. Neppure le indagini radaristiche hanno potuto fornire, una indicazione univoca sulla possibile configurazione dello scenario esterno, lasciando aperto il campo ad ipotesi sia di assenza che di presenza di velivoli nel cielo dell'incidente. Ogni causa di incidente, che potrà essere plausibilmente ipotizzata, non dovrà contraddire le evidenze ragionevolmente certe, conseguite con le indagini di primo livello. In particolare, la causa dell'incidente dovrà essere consistente con la sequenza e la concatenazione degli eventi verificatisi a bordo del velivolo ed in precedenza discusse, le quali, a loro volta, discendono dalle predette evidenze.

Ipotesi sulle cause dell'incidente.

Nella introduzione della parte dedicata alle ipotesi sulle cause dell'incidente il CP afferma che può escludersi, così come avevano fatto tutte le commissioni che lo avevano preceduto, che l'incidente possa essere stato determinato da avaria ai sistemi di bordo o ad errori del personale di volo o di terra.

Le cause dell'incidente potrebbero essere quindi:

1. abbattimento mediante missile
2. cedimento strutturale
3. collisione
4. esplosione interna
5. quasi collisione.

1) Ipotesi di abbattimento mediante missile.

La commissione Luzzatti dette per certa l'esplosione, ma non fu in grado di stabilire se essa fosse stata interna od esterna. La commissione Pratis dette per certo che l'incidente fosse stato provocato da un oggetto esplosivo ma, pur tenendo conto che la perizia giudiziale (Blasi) identificava l'oggetto esplosivo in un missile, ritenne di non poter scartare l'ipotesi che tale oggetto fosse stato collocato a bordo dell'aereo. Nella relazione Pisano veniva esclusa l'ipotesi di una intercettazione del velivolo. La commissione Blasi, infine, si spaccò sul dilemma esplosione interna o esplosione esterna, per cui tre membri sostennero l'ipotesi del missile

(esplosione esterna) e due membri sostennero invece quella della bomba interna al velivolo.

1A) Alcune analisi critiche delle conclusioni raggiunte in precedenti lavori peritali.

È evidente che per poter sostenere l'ipotesi di abbattimento mediante missile, occorre preventivamente accettare l'ipotesi della presenza di tracce di uno o più velivoli nel cielo dell'incidente derivata dalla analisi dei plots radar. D'altra parte al momento dell'incidente non erano presenti a distanza utile navi lancia missili. L'esplicita conclusione che il DC9 fosse stato abbattuto da un missile è stata formulata solo da tre membri - si ricordi la spaccatura tra i due gruppi di periti: BC da una parte, ILM dall'altra - del collegio Blasi che, nella perizia aggiuntiva "Supplemento di Indagini" del maggio 1990, hanno basato questa loro ipotesi principalmente sui seguenti elementi:

- a) presenza di almeno un velivolo nell'intorno del DC9;
- b) tracce di TNT e T4 su alcuni reperti del velivolo;
- c) presenza di due fori con petalatura verso l'interno sul portello del bagagliaio anteriore;
- d) presenza di schegge e segnature su di esse.

a- Presenza di velivoli intorno al DC9.

Non può essere ragionevolmente esclusa. Tale evento, del resto, non può ritenersi inusuale. Questo indizio mantiene quindi la sua validità, anche se la presenza di altri velivoli non significa necessariamente che siano stati lanciati missili.

b- Tracce di TNT e T4 su alcuni reperti del velivolo.

La presenza del TNT nei residui di esplosivo individuati sul gancio appartenente allo schienale due rosso, è stato uno dei principali elementi discriminatori che ha portato a formulare l'ipotesi di esplosione esterna. È stato sostenuto, infatti, che tale componente caratterizza principalmente le miscele esplosive di tipo militare e, di conseguenza, il suo ritrovamento è stato associato all'esplosione di una testa di guerra di missile. Ma è pur vero che esistono ditte specializzate nel recupero di esplosivo TNT e T4 da armi obsolete, alienate dalla Amministrazione Difesa, esplosivo che viene poi utilizzato per la preparazione di esplosivi per uso civile. La presenza delle predette componenti di esplosivo a bordo del velivolo non può, pertanto, ritenersi una prova univoca di esplosione di testa di guerra. Il tipo di esplosivo in esame potrebbe essere stato utilizzato, allo stato granulare, per la confezione di ordigni esplosivi artigianali per uso terroristico. Il CP ritiene che la presenza di tracce estremamente piccole di TNT e T4 su alcuni reperti appartenenti al DC9 non possa essere ritenuta come indice di abbattimento del velivolo mediante missile.

c- Presenza di due fori con petalatura verso l'interno sul portello del bagagliaio anteriore.

Sul portello del bagagliaio anteriore sono stati rinvenuti, come ben si ricorda, quattro fori. Ora, se in un elemento di limitata superficie esistono quattro fori adiacenti dei quali due sicuramente originatisi al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare, al CP sembra che sia completamente fuori da ogni logica attribuire gli altri due ad impatto con frammenti di struttura del missile, in assenza di ulteriori elementi di convalida. Si può quindi affermare, con plausibile certezza che i fori sono stati provocati al momento dell'impatto del velivolo con la superficie del mare da oggetti appartenenti alla struttura del velivolo stesso, verniciati con vernici tipiche, delle quali è rimasta traccia sui bordi dei fori stessi.

d- Presenza di schegge e segnature su di esse.

Il CP ha già in precedenza effettuato una analisi critica di questi indizi, dalla quale è emerso che la formazione di schegge, con ragionevole certezza, non può essere attribuita ad alcuna forma di esplosione sia interna che esterna ma, più razionalmente, può essere attribuita all'effetto dell'impatto in acqua del velivolo. Per quanto concerne le segnature sulle schegge 6-4M e 52-1M, ferme restando le riserve avanzate dal CP relativamente alla provenienza delle schegge stesse, tali segnature in ogni caso sarebbero maggiormente congruenti con una esplosione interna.

Il CP ritiene che l'unico indizio valido di possibilità di abbattimento mediante missile sia il non poter escludere che nel cielo dell'incidente fossero presenti anche altri velivoli, oltre al DC9, come, del resto, spesso avviene. Inoltre, l'impatto del missile dovrebbe essere consistente con i danni sul relitto non spiegabili attraverso l'impatto in acqua.

Il CP si ritiene perciò in dovere, come hanno già fatto altri collegi, di offrire cenni sul funzionamento del sistema missile aria-aria.

Premesso che l'ipotesi di abbattimento a seguito di azione di fuoco da cannoni, sulla base di più approfondite indagini, per mancanza di evidenze e per la repentinità dell'evento è assolutamente da scartare, appare necessario accennare al funzionamento del sistema missilistico aria-aria; l'unico che potrebbe essere stato utilizzato, se fosse valida l'ipotesi di abbattimento da missile.

Il missile aria-aria, spiega il CP, è costituito dai seguenti principali sottosistemi o sezioni:

- a) sezione di guida e controllo.
- b) sezione di armamento.
- c) sezione propulsiva.
- a) Sezione di guida e controllo.

Una volta lanciato dal velivolo vettore, il missile deve dirigersi verso il bersaglio, utilizzando opportuni sistemi di guida. Nel 1980 erano operativi missili che utilizzavano essenzialmente sistemi di rilevamento passivi e sistemi di rilevamento semi-attivi. Il sistema di rilevamento passivo è basato sull'impiego a bordo del missile di un opportuno sensore (seeker) in grado di rilevare direttamente la presenza del bersaglio attraverso forme di energia irradiata dal bersaglio stesso.

Il sistema di rilevamento semi-attivo (SA) è invece basato su un seeker in grado di rilevare la radiazione elettromagnetica riflessa dal bersaglio, quando esso è illuminato dal radar del velivolo lanciatore.

- Sistema di guida. Entrambe le categorie di missili, a guida passiva o a guida semiattiva, utilizzano lo stesso sistema di navigazione.

- Sistema di controllo. Il seeker, attraverso un proprio sistema di controllo, è in grado di mantenere la testa cercante allineata con il bersaglio, facendola opportunamente ruotare intorno ai suoi snodi.

b) Sezione di armamento.

La sezione di armamento di un missile aria-aria è costituita dalle tre componenti principali di seguito specificate:

- testa di guerra.
- spolette.
- unità di sicurezza.

b1) La testa di guerra è la componente del missile alla quale è devoluto il compito di arrecare il voluto danno al bersaglio. Tale danno può essere arrecato utilizzando, la grande energia sviluppata in tempi brevissimi dall'esplosione di opportuna carica, che, pertanto, costituisce uno degli elementi dei quali è costituita la testa di guerra. Una testa di guerra può agire sul bersaglio direttamente attraverso l'onda (Blast) generata in aria dalla detonazione dell'esplosivo in essa contenuto, creando un danneggiamento esteso in quanto l'onda di pressione "abbraccia" tutto il bersaglio, ovvero trasferire la sua energia a frammenti metallici (schegge che sono di grandezza ottimale, per avere maggiore probabilità di colpire il bersaglio. Si tratta, quindi, di frammentazione controllata, la cui potenzialità può essere aumentata anche attraverso la immissione di sfere o frammenti metallici di stesse dimensioni o ottenute attraverso scanalature dell'involucro) che, a loro volta andranno ad impattare il bersaglio stesso, creando danneggiamenti.

b2) Spolette. A bordo del missile deve essere presente un dispositivo che provochi la detonazione della testa di guerra quando la distanza fra missile e bersaglio è ai suoi valori minimi e con opportune costanti di tempo, affinché la traiettoria del bersaglio possa intersecare l'anello di schegge (spoletta di prossimità). Non può tuttavia essere trascurata la

possibilità che, per cause del tutto fortuite, il missile possa impattare contro il bersaglio. Per tale motivo, il missile è dotato anche di spoletta di impatto che può far detonare la testa al momento dell'impatto stesso, come un generico proiettile.

b3) Unità di sicurezza. Le unità di sicurezza sono necessarie per evitare che si attivi la carica esplosiva del detonatore, prima che il missile si trovi a distanza di sicurezza dal velivolo lanciatore. Il detonatore viene armato a distanze dal velivolo generalmente non superiori a 1000m, dopo un intervallo di tempo dallo sparo non superiore ai 2 secondi.

c) Sezione propulsiva. La sezione propulsiva dei missili aria-aria è generalmente costituita da motori a razzo a propellente solido.

Sulle principali tecniche d'attacco.

Il CP si sofferma anche su questo argomento, premettendo però che le relative nozioni provengono solo dalla pubblicistica. Le tecniche di attacco si differenziano a seconda del sistema di sensori presenti sul missile. Nel caso che il sistema del missile sia basato su sensore IR, la tecnica più conveniente appare quella di attacco dai settori di coda, giacché è in corrispondenza di essi che le radiazioni infrarosse generate dal sistema propulsivo sono in grado massimo. Nel caso invece di sistema di guida basata su sensori SA, è invece possibile effettuare attacchi, oltre che dal settore di coda, anche dai settori frontali e laterali. Per portarsi in posizione utile per il lancio, i velivoli devono percorrere opportune traiettorie di volo, diverse tra loro a seconda che l'intercettazione sia effettuata contro velivoli che provengano dai settori di prua o di poppa. Vengono poi descritte le tecniche di base "Decoy", "Bracket" e "Defensive Sprit". Il paragrafo si conclude con la considerazione secondo cui possono utilizzarsi anche differenti e più complesse tecniche di attacco, specialmente se sono presenti più velivoli, combinando opportunamente le predette tecniche di base.

Scenario esterno.

Nella ipotesi che i due velivoli 1 e 2 fossero stati presenti nel cielo dell'incidente, è necessario verificare se le due traiettorie da essi presumibilmente percorse fossero compatibili con una manovra di attacco e successivo lancio di uno o più missili.

Il CP ha ritenuto conveniente esaminare due differenti ipotesi, delle quali una relativa alla possibilità che l'attacco potesse essere diretto proprio contro il velivolo I-Tigi e, l'altra, che l'attacco potesse essere diretto contro un differente bersaglio.

a) Ipotesi di attacco diretto al DC9. È necessario presumere che i velivoli intercettori fossero armati con missili a guida SA. Qualunque traiettoria si fosse presunta il lancio da parte del velivolo 2 è da escludere,

con ragionevole certezza. La manovra effettuata, certamente con inusuale tecnica di attacco, è da ritenersi caratterizzata da un elevatissimo grado di precisione di esecuzione, in quanto, al termine della virata verso est, il velivolo intercettore si sarebbe trovato nella “esatta” posizione per effettuare l’illuminazione del bersaglio e lo sparo del missile, avendo a disposizione non molto di più di una decina di secondi per attivare l’intera sequenza di lancio. L’estrema precisione in termini di spazio-tempo conseguita, può stimarsi difficilmente compatibile anche con sia pure sofisticati sistemi di guida sia da terra che da altri velivoli.

b) Ipotesi di attacco ad un bersaglio diverso dal DC9. Alla base di questa ipotesi c’è ovviamente la necessità che nel cielo dell’incidente fosse presente il bersaglio oggetto dell’attacco. I radar in precedenza analizzati (vedi parte radaristica) non rilevano possibili presenze di altri velivoli al di fuori di quelle discusse e, di conseguenza, per sostenere l’ipotesi in esame, occorre preliminarmente verificare la possibilità che nel cielo dell’incidente fosse effettivamente presente un bersaglio diverso dal DC9 e la possibilità che tale bersaglio non abbia lasciato tracce radar.

Nella ipotesi che il velivolo non identificato fosse stato effettivamente presente, volando di conserva con il DC9 per sottrarsi alla vista dei radar, sarebbe logico ipotizzare che esso potesse essere stato l’oggetto dell’attacco, che sarebbe stato condotto dal velivolo 1. Questa ipotesi andrebbe soggetta alle stesse osservazioni critiche effettuate a proposito del precedente scenario di attacco diretto al DC9 (scenario poco realistico).

Una ipotesi alternativa potrebbe essere che i velivoli 1 e 2 stessero conducendo un attacco contro eventuali bersagli provenienti da Sud (a velocità alto-subsonica dell’ordine di  $M=0.8$ ). Il bersaglio (od i bersagli) proveniente da Sud potrebbe non aver lasciato tracce sul radar Marconi in quanto fuori dalla sua portata. Potrebbe non aver lasciato tracce neppure sul radar militare di Marsala, perché operante nella zona d’ombra di questo radar.

Già a partire da circa 60 secondi prima dell’incidente, il bersaglio 1 poteva essere entro la copertura radar dei due velivoli 1 e 2. A seguito dell’avvistamento del bersaglio, i velivoli 1 e 2 avrebbero effettuato la virata verso Est per effettuare l’intercettazione, mantenendo sempre il contatto radar con il bersaglio stesso. Il velivolo 2 avrebbe poi accelerato fino a  $M=1.2$  per portarsi a ridosso del bersaglio stesso, mantenendo sempre il contatto radar con esso e predisponendosi al lancio. Nell’ultima fase della traiettoria percorsa dal velivolo 2, anche il DC9 potrebbe essere entrato nel campo visivo del radar del velivolo, già impegnato nella fase finale dell’attacco.

Quando il velivolo era praticamente a ridosso del DC9, il velivolo 2 potrebbe aver effettuato il lancio del missile stesso. Il missile potrebbe aver impastato contro il DC9 che, casualmente, gli avrebbe attraversato la rotta, immediatamente dopo il lancio. L'impatto del missile si sarebbe potuto verificare subito dopo il lancio e, a questo riguardo, potrebbero farsi due ipotesi: la prima è che la testa di guerra del missile abbia regolarmente detonato, provocando sul velivolo danni tali da determinarne la caduta; la seconda è che il missile abbia impattato contro il DC9 prima che il dispositivo di sicurezza avesse armato il detonatore. In questo caso il missile si sarebbe comportato come corpo inerte.

c) Teoria di Mr. Robert Sewell. Queste le affermazioni di questo Consulente di Parte Civile, esperto militare statunitense in missilistica "Tutti gli elementi che ho potuto osservare durante le mie visite al relitto del DC9 conservato nell'hangar Buttler dell'aeroporto di Pratica di Mare indicano che la principale causa del danneggiamento del velivolo è stata la detonazione di una o forse due testate missilistiche di grande potenza, detonazione avvenuta davanti alla parte anteriore destra della fusoliera, e la perforazione della fusoliera stessa da parte del missile.

Nei relitti da me osservati non vi sono segni di impatto di schegge della testata sulla fusoliera. Simulazioni dell'attacco missilistico da me effettuate hanno mostrato che questo risultato è ottenibile con un opportuno orientamento del missile e della posizione della testata al momento della detonazione. La probabilità di impatto delle schegge sul bordo di attacco dell'ala destra è piccola ma finita; la probabilità di individuare i fori di queste schegge sul bordo fortemente danneggiato dell'ala è molto piccola.

La direzione di impatto del missile pare essere circa perpendicolare alla linea di volo del DC9 ed il punto di esplosione essere distante circa 5.5m dalla fusoliera.

Il danno prodotto dalla testata alla fusoliera dell'aereo dipende da vari fattori quali il tempo critico della superficie della fusoliera, l'angolo di incidenza dell'onda d'urto sulla fusoliera (onda di Mach) e la geometria della testata esplosiva. Anche la velocità dell'aereo influenza il danno subito dalle parti di aereo che si muovono direttamente verso la sorgente della detonazione.

Un attento esame della fusoliera permette di individuare sulla fusoliera i segni di penetrazione lasciati dalle alette di guida del missile; ulteriori segni sono individuati dalle lacerazioni subite dal tappetino.

L'aereo attaccante, in volo verso Sud su una rotta distante circa 20 miglia da quella del DC9 ed individuabile dalla traccia del radar di Fiumicino, vira verso Est ed effettua una manovra di lancio perfettamente

compatibile con le prestazioni degli aerei in servizio negli anni 80. La fattibilità di tale attacco è dimostrata dalle simulazioni da me effettuate.

Basandomi sui segni di impatto sulla fusoliera, sui danni che appaiono sul tappeto, sui plots radar, sulle simulazioni da me effettuate e sulla mia esperienza professionale, esprimo la meditata opinione che il DC9 Itavia è stato colpito da almeno un missile e forse due lanciati dall'emisfero destro anteriore; le testate missilistiche sono detonate all'esterno dall'aereo a pochi metri dalla fusoliera”.

L'ipotesi di Mr. Sewell porta come logica conseguenza che ad abbattere il DC9 dovrebbero essere stati due missili AA/6 che, sempre nel 1980, equipaggiavano i velivoli MiG-25-Foxbat.

d) Considerazioni sui possibili danni da ricercare sul velivolo. Nella ipotesi che il velivolo sia stato abbattuto da uno o più missili, sul relitto debbono ricercarsi le tipiche tracce che lasciano le schegge, ben note agli esperti, oppure, od anche in aggiunta ad esse, le tipiche tracce che può lasciare l'impatto con il corpo del missile. Per quanto riguarda il danneggiamento eventualmente derivante dall'impatto con il corpo del missile, sui rivestimenti esterni del relitto ricostruito dovrebbe essere possibile identificare tagli che per loro lunghezza e forma in qualche modo possano essere ritenuti congruenti con quanto in precedenza descritto.

e) Esame di secondo livello del relitto. Gli elementi del velivolo appartenenti al fianco sinistro e, cioè, il rivestimento della fusoliera, la semiala sinistra, la gondola del motore sinistro, il lato sinistro delle superfici di coda, sono stati recuperati e ricostruiti per intero e su di essi non è possibile identificare alcuno dei danni tipici da impatto da schegge o da impatto con l'intero missile e con parti di esso.

Le indagini si sono perciò concentrate sul fianco destro della fusoliera, perchè esso è costituito da molti frammenti intervallati da zone scoperte. Ma anche l'esame dettagliato di ciascun frammento e delle parti intere recuperate appartenenti a questo lato destro non ha consentito di individuare tracce di danneggiamento attribuibili ad effetti di schegge o di impatti con corpi di missile.

f) Esame della parte anteriore destra del velivolo. Le zone vuote della semi-fusoliera destra sono completamente contornate da frammenti che non presentano danni tipici da schegge. Escludendo la presenza di tracce di danno da schegge, l'impatto con il corpo del missile sarebbe congruente con lo scenario di mancata attivazione della spoletta. Il danno da ricercare dovrebbe essere un taglio approssimativamente longitudinale di opportuna lunghezza dalla quale sarebbe possibile ricavare la lunghezza del missile stesso ed il suo angolo di impatto. L'attenta osservazione delle zone

sospette ha consentito di evidenziare i seguenti principali aspetti caratteristici:

- le dimensioni dei pezzi mancanti, desumibili dalle zone vuote circoscritte dai frammenti montati sul relitto, sono del tutto simili a quelle dei pezzi recuperati adiacenti ad essi e, pertanto, la formazione di tali frammenti può essere attribuita agli stessi fenomeni originatisi al momento dell'impatto con la superficie del mare che hanno determinato i frammenti adiacenti stessi;

- un dettagliato esame qualitativo delle superfici di rottura che delimitano le zone vuote non ha evidenziato alcun aspetto particolare di esse, quali schiacciamenti in senso longitudinale, arricciolamenti, od altro che, in qualche modo, possa far sospettare una azione longitudinale di un corpo "non tagliente".

Particolare cura è stata posta nell'esame del "taglio" evidenziato da Mr. Sewell, osservabile sul fianco destro, attribuibile all'azione della aletta del missile. Mr. Sewell ha anche affermato che tale taglio è visibile solo sulla mappa, ma non risulta visibile sul relitto. La mappa è stata redatta "a mano" e non al computer, al solo scopo di avere una visione di insieme dei frammenti recuperati e dalla loro posizione sul relitto ricostruito. Le linee di rottura dei vari frammenti sono tracciate in modo assolutamente qualitativo, giacchè lo scopo della mappa non era quello di definire la forma geometrica di ogni frammento, ma di identificare il numero di classificazione e la posizione dei frammenti stessi del relitto. Pertanto, la discussione di ogni caratteristica dei tagli deve essere effettuata sulla base di osservazioni derivanti dall'esame del relitto. Di conseguenza, l'osservazione di Mr. Sewell che la "traccia" dell'impatto del missile può osservarsi "solo sulla mappa e non sul relitto" toglie ogni ragionevole validità a questo indizio.

g) Esame della parte posteriore del relitto. Nella ipotesi di esplosione di testa di guerra in prossimità della parte posteriore della fusoliera, il cono di schegge avrebbe intersecato anche altri elementi del velivolo quali le semiali, le superfici di coda e le gondole dei motori. Su tali elementi non sono stati rinvenuti danneggiamenti tipici da impatto di schegge. In altri casi i predetti elementi risultano non interessati dal cono letale delle schegge, ma risultano invece interessati elementi del velivolo appartenenti alle due fiancate contenenti i finestrini, sulle quali non sono visibili tracce di impatto delle schegge stesse. Risulta pertanto poco sostenibile l'ipotesi di detonazione di testa di guerra in prossimità della parte posteriore del velivolo ed impatto di schegge sulle parti mancanti di essa. Nel caso di impatto con corpo di missile senza esplosione della testata, l'impatto dovrebbe essere avvenuto senza detonazione della testa di guerra in quanto

negli elementi circostanti e nelle zone interne del relitto non sono rilevabili danneggiamenti per impatto di schegge e non è razionalmente ipotizzabile che le schegge abbiano potuto danneggiare solo gli elementi mancanti, risparmiando sistematicamente gli elementi adiacenti presenti sul relitto.

h) Conclusioni sulla ipotesi di abbattimento mediante missile. Nella ipotesi di attacco deliberato contro il DC9, la traiettoria di attacco del velivolo intercettore sarebbe stata del tutto inusuale e caratterizzata da una elevata probabilità di insuccesso. Lo scenario che considera un possibile casuale coinvolgimento del DC9 in un attacco diretto contro altri bersagli, potrebbe avere un maggior grado di realismo. Sui relitti del velivolo non esistono tracce di impatto di schegge di alcuna natura né è ragionevole ipotizzare che esse abbiano colpito solo le parti mancanti del relitto, evitando sistematicamente le parti ad esse adiacenti. L'ipotesi di abbattimento mediante impatto con il corpo del missile, o dei missili, derivante sia dalla possibilità di non attivazione del detonatore della stessa sia dalla modalità di impatto ipotizzate da Mr. Sewell, non ha un elevato grado di accettabilità in quanto sul relitto non sono evidenti danni attribuibili a questa causa e, in ogni caso, i plausibili danneggiamenti derivanti dell'eventuale impatto non avrebbero potuto determinare il collasso in volo della struttura. In particolare, non avrebbero potuto determinare il collasso secondo la sequenza degli eventi e la loro concatenazione in precedenza discusse e con la rapidità con la quale esso, in effetti, si è verificato.

L'ipotesi di Mr. Sewell, a parere del CP, è ulteriormente poco sostenibile in quanto prevederebbe impatto di due missili contro il bersaglio, mentre è da ritenersi già un evento del tutto eccezionale l'impatto di un solo missile contro il bersaglio. Altrettanto eccezionale, anche se non impossibile, deve ritenersi la possibilità di impatto casuale del missile contro il velivolo, prima dell'armamento del detonatore della testa di guerra. L'ipotesi di abbattimento attraverso l'impatto con missile inerte a causa della non attivazione del detonatore della testa di guerra, potrebbe spiegare la presenza e la modalità di ritrovamento del tracce di esplosivo all'interno del velivolo.

Per tutto quanto esposto, il CP stima che l'abbattimento del DC9 mediante missile sia da ritenersi una ipotesi ragionevolmente da escludere, anche se l'abbattimento mediante impatto con missile inerte potrebbe rendere ragione delle caratteristiche di ritrovamento di esplosivo incombusto su alcuni reperti.

## 2) Ipotesi di cedimento strutturale.

Nella perizia Luzzatti, in mancanza di ogni importante reperto appartenente al velivolo, a sostegno della argomentazione in esame sono

stati portati esempi di cedimento strutturale su velivolo DC9, che, per la maggior parte dei casi, avevano interessato la paratia posteriore, determinando la depressurizzazione del velivolo ed altri danni di minor conto, che non avevano comunque impedito al velivolo di raggiungere l'aeroporto e di atterrare.

Nella perizia Blasi, alle precedenti motivazioni si sono aggiunte anche quelle derivanti dalle analisi dei frammenti di relitto, recuperati nelle campagne del 1987-88. Sono state escluse ipotesi di cedimento delle superfici portanti e di stabilizzazione. È stato escluso anche il distacco in volo dei motori, per cui l'ipotesi di cedimento strutturale del velivolo è stata scartata, anche perché ogni altro cedimento non avrebbe potuto avere conseguenze così catastrofiche ed improvvise.

Il cedimento strutturale di un velivolo può avvenire o per cause spontanee o per cause esterne che possono produrre sovrasollecitazioni strutturali.

a) Ipotesi di cedimento strutturale spontaneo. Si tratta di cedimento che si verificò senza sottoposizioni del velivolo a condizioni anomale di carico. Questo tipo di cedimento è estremamente poco probabile, se viene rigorosamente rispettata la normativa in vigore. Un cedimento spontaneo della struttura può avvenire per ragioni statiche, per effetto di vibrazioni o di oscillazioni di natura aeroelastica o per effetto di fenomeno di fatica.

b) Ipotesi di cedimento strutturale per sollecitazione statica. Può avvenire quando il velivolo non è in grado di sopportare le condizioni di carico di progetto. Questo tipo di cedimento può avvenire durante la fase di esercizio solo se sul componente si sono verificati danneggiamenti accidentali non rilevanti o non riparati durante le operazioni di manutenzione. Il DC9 non aveva pendenti operazioni di manutenzione differita, tali da pregiudicare in alcun modo la sicurezza del volo stesso. Inoltre, poichè su di esso si è verificato un cedimento quasi contemporaneo di almeno tre elementi strutturali vitali per il velivolo e cioè l'ordinata di collegamento della parte posteriore della fusoliera con la parte centrale, l'ordinata di attacco anteriore dei motori ed il sistema di attacco delle superfici di coda, non è ragionevole ipotizzare che si sia verificato un cedimento spontaneo quasi simultaneo di tutte e tre gli elementi descritti. Il CP ritiene che un cedimento spontaneo per sollecitazioni statiche sia da escludere con ragionevole certezza.

c) Ipotesi di cedimento strutturale per sollecitazioni aeroelastiche.

La struttura di un velivolo, per ovvii motivi di leggerezza, è caratterizzata da non trascurabili valori di deformazione quando è sottoposta ai carichi di esercizio. In particolare, le superfici portanti (ali, superfici di coda) sono caratterizzate da sensibili valori di deformazioni

flessionali e torsionali che, a loro volta, modificando gli angoli di incidenza delle superfici stesse rispetto alla direzione della velocità, determinano, su di esse, altrettanto sensibili variazioni di carichi aerodinamici.

Per particolari valori di velocità di volo, indicate come velocità critiche di divergenza flessionale, torsionale o flesso-torsionale, le variazioni di carico aerodinamico associate alle deformazioni possono essere tali da mettere in oscillazione le superfici portanti, fino a determinarne la rottura per sovrasollecitazioni di natura dinamica.

Non esistono motivi tali da far sospettare un possibile cedimento strutturale per sovrasollecitazioni dinamiche derivanti dall'innescio da fenomeni aeroelastici. Tale ipotesi può, pertanto, essere scartata con ragionevole certezza.

d) Ipotesi di cedimento strutturale per fatica. La natura oscillante dei carichi applicati e gli elevati valori di sollecitazione del materiale determinano particolari forme di rottura, indicate come rotture per fatica, consistenti in fessurazioni del materiale che si originano nei punti più sollecitati dei componenti strutturali e, sotto l'azione dei carichi oscillanti, progrediscono nel tempo fino ad indebolire il componente stesso, determinandone il collasso, se non intervengono prima operazioni di riparazione o sostituzione del componente danneggiato. Il relitto del velivolo I-Tigi è stato sottoposto ad un accurato esame per verificare la possibilità di cedimento strutturale indotta dai predetti fenomeni di fatica. Le indagini, effettuate dal collegio frattografico, non hanno evidenziato presenza di rotture per fatica. Il CP ritiene di poter escludere, con ragionevole certezza, che sul velivolo I-Tigi possa essersi verificato un cedimento strutturale spontaneo per effetto di lesioni dovute a fenomeni di fatica.

e) Ipotesi di cedimento strutturale per cause esterne. L'esame della casistica di incidenti aerei avvenuti per cedimenti strutturali derivanti da superamento dei carichi di progetto mostra che essi, per la maggior parte dei casi, sono stati determinati da anomale situazioni di carico conseguenti ad eccezionali valori di turbolenza atmosferica presente nella zona attraversata dal velivolo accidentato. La presenza di forte turbolenza o di wind-shear è sicuramente da ritenersi una delle più importanti concause di incidenti aerei durante le fasi di decollo, di avvicinamento ed atterraggio in quanto ad esso sono generalmente associate possibili sensibili variazioni delle traiettorie di volo che possono portare all'incidente in quanto si manifestano a bassi valori di quota.

Il cedimento strutturale di un velivolo durante la fase di volo di crociera a causa delle sovrasollecitazioni indotte da turbolenza è invece una tipologia di incidente molto meno frequente della precedente (fra il 1959 ed

1972 si sono registrati solo 4 incidenti). L'incidente verificatosi nel '66 al velivolo BAC 1-11, appartenente alla società Braniff (USA), presenta una qualche analogia con quanto accaduto al velivolo I-Tigi. Infatti, anche in quel caso, si ebbe il distacco in volo del tronco di coda e la rottura dell'estremità della semiala destra per effetto di un carico invertito rispetto a quello normale di volo. C'è, però, da valutare che le condizioni meteo dei due voli sono state sensibilmente differenti.

f) Conclusioni. Le indagini tecniche relative alla storia manutentiva del velivolo ed alle condizioni di volo al momento dell'incidente, nonché le analisi effettuate sul relitto ricostruito, consentono di escludere con ragionevole certezza che sul velivolo si sia verificato un cedimento strutturale dovuto a sollecitazioni statiche, a sovrasollecitazioni dinamiche derivanti da fenomeni aeroelastici ed a rottura per fatica. Sulla base delle analisi di raffronto tra le condizioni meteo che hanno determinato l'incidente del BAC 1-11 avvenuto nel '66 e quelle al momento dell'incidente del DC9 Itavia, il CP ha ritenuto di poter plausibilmente escludere anche il cedimento strutturale per cause esterne, derivanti da valori estremi di turbolenza. Di conseguenza il CP ha ritenuto di poter escludere, con ragionevole certezza, l'ipotesi di cedimento strutturale nel suo complesso.

### 3) Ipotesi di collisione in volo.

È ragionevole formulare tale ipotesi, perchè lo scenario riportato nella figura VIII allegata alla relazione, non esclude la presenza di un velivolo che all'istante  $t=0$  e, cioè, al momento del verificarsi dell'incidente, incrocia la traiettoria del DC9.

L'esame della casistica relativa agli incidenti avvenuti per collisione in volo ha consentito di evidenziare danneggiamenti caratteristici sui relitti che, se correttamente interpretati, consentono anche di risalire alle traiettorie percorse dai velivoli coinvolti al momento dell'incidente stesso. Tali caratteristici danneggiamenti e le metodologie di interpretazione sono riportate sui manuali di investigazione.

Un attento controllo sul relitto ricostruito ha però consentito di escludere con ragionevole certezza che su di esso siano presenti tracce caratteristiche di impatto con altro velivolo.

“Un elemento sospetto potevano essere le tracce di vernice rossa rinvenute sul serbatoio di carburante sganciabile, recuperato nella zona dell'incidente e descritto nella precedente Parte IV di questa perizia.

Le analisi chimiche effettuate su tali tracce di vernice hanno escluso che esse potessero derivare da sfregamenti sulle parti rosse della livrea del velivolo I-Tigi, in quanto le due vernici sono di tipo diverso.”

#### 4) Ipotesi di esplosione interna.

Una analisi degli incidenti occorsi a velivoli adibiti a trasporto civile durante il volo in crociera ed aventi caratteristiche non dissimili da quelle dell'incidente in oggetto – durante il volo in crociera, con improvvisa perdita di energia che ha impedito il funzionamento degli strumenti di registrazione, senza precedenti motivi di allarme e con volo del tutto regolare sino all'istante dell'incidente stesso –, indica che, in questi casi, l'esplosione di un ordigno all'interno del velivolo è da ritenersi come la causa più probabile dell'incidente stesso. A queste considerazioni occorre anche aggiungere gli indizi costituiti da presenza di tracce di esplosivo su alcuni reperti, dall'imbozzamento verso l'esterno del frammento di struttura del lato sinistro della fusoliera compreso fra le stazioni 604 e 642, indizi che, sebbene di per sè non sufficienti a convalidare una ipotesi di esplosione interna, certamente rendono necessaria una indagine approfondita per giustificare la loro presenza e ricercare per altre vie la predetta eventuale convalida dell'ipotesi.

a) Individuazione della possibile zona dell'esplosione. Le indagini tecniche di primo livello hanno consentito di escludere, con ragionevole certezza, che l'esplosione possa essersi verificata all'interno della cabina passeggeri e dei vani del bagagliaio, così come all'interno dei vani carrello. L'unica parte che non ha fornito indicazioni sulla possibilità o meno di esplosione interna è la parte di fusoliera posteriore, sovrastante il pavimento, compresa approssimativamente fra le stazioni 642 e 877. Di essa, sono stati recuperati solo pochi frammenti. In particolare, non sono stati recuperati frammenti di significative dimensioni appartenenti al lato destro di questa sezione, in corrispondenza della quale era collocata la toilette del velivolo. In prossimità della parte anteriore di questa zona sono poi osservabili fenomeni di imbozzamento verso l'esterno della struttura (quilting). Sulla base di osservazioni statistiche e delle ispezioni sul relitto, il CP ha ritenuto plausibile ipotizzare che una esplosione interna, se verificatasi, avrebbe potuto interessare la parte posteriore della fusoliera ed in particolare il vano toilette. In questa zona le tracce macroscopiche dell'esplosione potrebbero non essere individuabili con indagini di primo livello, a causa dell'estesa frammentazione della zona stessa e della mancanza di molti frammenti ad essa appartenenti.

b) Osservazioni critiche sui risultati delle indagini di secondo livello. Dalle indagini di secondo livello effettuate nell'intorno della zona toilette, si può rilevare come un non trascurabile numero di frammenti da essa provenienti mostri deformazioni ed improntature ragionevolmente consistenti con sollecitazioni derivanti da elevati valori di pressione che

potrebbero aver agito su di essi. Alcune delle deformazioni e delle improntature, che sono visibili su elementi appartenenti al pilone destro e sulla gondola del motore destro, possono anche essere attribuibili ad effetti di sollecitazione derivanti da fenomeni esplosivi nelle loro adiacenze. Le deformazioni e le improntature di alcuni frammenti possono ritenersi consistenti con elevati valori di carichi dinamici e fluidodinamici oltre che con eventi derivanti da fenomeni esplosivi nelle loro vicinanze. Più consistenti con sollecitazioni derivanti da fenomeni esplosivi possono ritenersi le deformazioni e le improntature sui frammenti provenienti dall'interno e dalle pareti della toilette, nonché dalle travature del pavimento sottostanti alla toilette stessa, che non possono essere attribuite ad azioni fluidodinamiche al momento dell'impatto con la superficie del mare, in quanto i frammenti sono caduti separatamente, e che debbono necessariamente essersi determinate al momento del collasso della struttura, quando gli elementi improntati erano fra loro ancora in contatto. Occorre osservare che sui frammenti considerati e, generalmente, su tutta la zona circostante alla toilette non sono visibili segni tipici di esplosione quali segnature da schegge, pitting, pelature, fusioni od altro. L'esplosione della toilette può pertanto essere ipotizzata solo sulla base delle predette deformazioni ed improntature sui frammenti. L'incidente del DC9, se attribuibile all'esplosione di un ordigno, apparterebbe a quella categoria di incidenti per i quali le tracce macroscopiche dell'esplosione, generalmente limitate a zone non molto estese nell'intorno del centro esplosione stessa, potrebbero essere state completamente cancellate dal successivo disfacimento della struttura al momento dell'impatto finale.

c) Ipotesi sulla posizione e configurazione della carica. Le considerazioni sulla possibile posizione della carica all'interno della toilette debbono ragionevolmente basarsi almeno sui seguenti due presupposti essenziali:

- la posizione della carica e, quindi, gli effetti diretti dell'esplosione debbono essere consistenti con le sospette deformazioni ed improntature dei frammenti descritti nei precedenti paragrafi;
- la carica deve essere posizionata in una zona ovviamente accessibile dall'esterno ma, nello stesso tempo, tale da fornire un accettabile grado di occultamento.

I possibili posizionamenti della carica, tali da soddisfare i requisiti di cui al primo dei precedenti punti sono:

- 1) contenitore dei fazzoletti di carta posto superiormente alla WC;
- 2) contenitore dei copritazza del WC adiacente al precedente;
- 3) interno del serbatoio contenente gli scarichi della toilette, accessibile dal foro della tazza del WC;

- 4) contenitore degli asciugamani di carta;
- 5) contenitore rotoli di carta igienica;
- 6) mobiletto sottostante al lavandino ed aree accessibili.

Ispezioni effettuate dal CP a bordo di DC9 in manutenzione hanno consentito di verificare che su due di essi è possibile inserire nell'intercapedine oggetti di piccolo ingombro, forzando opportunamente il rivestimento in plastica della toilette, mentre per un altro, questo non è stato possibile.

In ogni caso, quando possibile, l'inserimento di una carica nell'intercapedine posizionerebbe la carica stessa fra le ordinate 786 e 817 (scavalcando l'ordinata 801) e, potendosi ragionevolmente ipotizzare un suo scivolamento verso il basso, in prossimità del pavimento del velivolo.

I vani 2,4,5, sono facilmente accessibili ma, a parere del CP, essi sono da ritenersi posizioni ad elevato rischio in quanto tali vani sono sistematicamente ispezionati dal personale di terra durante le soste del velivolo per rifornirli degli accessori contenuti. Di conseguenza, un ordigno esplosivo in essi presente potrebbe avere elevate probabilità di essere scoperto.

I vani 3 e 6 soddisfano alle condizioni di accessibilità e forniscono un sufficiente grado di occultamento. Di conseguenza possono ritenersi possibili posizioni della carica esplosiva.

I più probabili posizionamenti della carica, a parere del CP, potrebbero essere:

- l'intercapedine fra la toilette e il rivestimento fusoliera (se accessibile);
- il serbatoio contenente gli scarichi della toilette;
- il mobiletto sottostante il lavandino con le aree interne accessibili attraverso di esso.

L'accettabile grado di occultamento di queste posizioni avrebbe consentito di posizionare la carica con ampio anticipo rispetto all'istante di esplosione, essendo ridotti i rischi di possibile individuazione.

I predetti vani 2,4,5, non sono ovviamente da scartare (in uno fra i casi di esplosione all'interno della toilette, la bomba fu posta nel contenitore dei fazzoletti) ma, a causa dell'elevato rischio di individuazione, il loro utilizzo sarebbe consistente con una bomba posizionata con ridotto anticipo rispetto all'istante di esplosione (escludendo il caso che la bomba fosse portata da un passeggero).

D'altra parte, i risultati dell'esame dell'interno del pilone e delle zone ad esso circostanti in precedenza discussi, nonché la criticità di accesso alla zona stessa, farebbero ritenere poco probabile un inserimento della carica nell'intercapedine fra parete della toilette e rivestimento della fusoliera.

Il non elevato grado di deformazione e la completa mancanza di segni di esplosione sul relitto del contenitore dei fazzoletti (Fig.IX-49c), farebbero anche escludere un posizionamento della carica all'interno del contenitore stesso (posizione 1 di Fig.IX-58) e, di conseguenza, anche all'interno del contenitore dei copritazza del WC ad esso adiacente (posizione 2 di Fig.IX-58).

Di conseguenza, allo stato attuale delle indagini tecniche, nel caso di validità dell'ipotesi di esplosione all'interno della toilette, i possibili posizionamenti della carica potrebbero essere il serbatoio degli scarichi (posizione 3 di Fig.IX-58), l'interno del mobiletto sottostante al lavandino (posizione 6 di Fig.IX-58) e lo spazio esistente tra il rivestimento di fusoliera e la parete interna della toilette (se accessibile).

La completa assenza sia di schegge primarie sia di segnature da schegge nell'intorno della zona toilette rende poi plausibile l'ipotesi che la carica esplosiva potesse essere di tipo "nudo" e, cioè, non racchiusa in contenitore rigido di qualsivoglia materiale, ma probabilmente contenuta in sacchetto di carta o materiale simile, tale cioè da non generare schegge primarie (appartenenti al contenitore dell'esplosivo).

d) Osservazioni sulle indagini esplosivistiche. Le indagini esplosivistiche, ed in particolare le analisi sperimentali, ivi compresa la prova in "full-scale", hanno messo in evidenza che, al verificarsi di una esplosione, nelle zone limitrofe, poste anche a non diretto contatto della carica, sono sempre presenti alcuni principali effetti primari dell'esplosione stessa, costituiti essenzialmente da impronte di schegge secondarie e rotture con petalature di diverse dimensioni. Altri effetti primari, quali fusioni e pitting, sono visibili in zone più vicine alla carica stessa. L'esplosione all'interno della toilette ha inoltre determinato massicci danneggiamenti ed improntature di schegge sul rivestimento.

La assoluta mancanza dei predetti segni sul relitto del DC9, anche in zone estremamente vicine all'ipotizzata posizione della carica esplosiva all'interno del vano toilette, e la mancanza di danneggiamenti sul rivestimento del motore destro paragonabili a quelli ottenuti in prova, sono stati i principali motivi che hanno indotto il collegio balistico-esplosivistico a ritenere l'esplosione di un ordigno all'interno della toilette come un evento estremamente improbabile.

Tali conclusioni, a parere del CP, possono ritenersi corrette, se limitate alle specifiche analisi effettuate dal predetto collegio, ma devono essere invece nuovamente poste in discussione quando saranno – infra – esaminate alla luce delle altre evidenze derivanti dalle indagini tecniche di secondo livello nell'intorno della toilette e sopra riportate.

Le indagini tecniche di primo livello hanno consentito di definire la serie di eventi e la relativa concatenazione che plausibilmente possono essersi verificate a bordo del velivolo negli istanti immediatamente successivi all'incidente.

In sintesi è stato affermato che l'evento iniziale deve essere stato tale da determinare il cedimento delle sezioni critiche del velivolo e la conseguente frammentazione in volo. È stato poi ipotizzato che il cedimento delle sezioni critiche può essere stato determinato da sovraccarico strutturale o da differente evento che casualmente può aver cagionato tale tipo di cedimento. L'ipotesi in esame può appartenere a questo secondo tipo di eventi.

Infatti, l'esplosione all'interno della toilette può aver innescato, tra l'altro, la seguente serie di eventi:

- 1) distruzione della parte destra dell'ordinata 786, con conseguente distruzione del vincolo anteriore del motore destro con la fusoliera (sezione critica) e conseguente distacco.
- 2) indebolimento dell'intera ordinata 786 e, quindi, successivo cedimento del vincolo anteriore del motore sinistro con la fusoliera (sezione critica) e conseguente distacco.

Questi eventi possono rendere ragione dell'interruzione di energia elettrica.

- 3) Distruzione per sovrappressione interna della zona di fusoliera in corrispondenza della staz.642 e conseguente distacco della parte superiore della retrostante fusoliera. Questa causa di cedimento della sezione critica 642 sarebbe in accordo con il fenomeno di quilting osservato in prossimità di essa ed a suo tempo attribuito a sovrappressione interna dovuta ad azioni fluidodinamiche al momento dell'impatto in mare del relitto, o ad effetti di esplosione. In questo caso, ovviamente, sarebbe valida la seconda delle predette ipotesi.

Particolare significato rivestono le graffiature laterali e diagonali sul frammento AZ435, le quali mostrano come il pannello ad esso adiacente abbia ruotato, a velocità notevole, spostandosi inizialmente e per breve tratto in direzione ortogonale alla velocità di volo e, successivamente, trasversalmente e verso dietro.

L'inclinazione dei graffi mostra che la velocità di traslazione in senso ortogonale può stimarsi all'incirca pari alla metà di quella di avanzamento del velivolo e quindi, a causa del suo elevato valore, essa può essere attribuibile a effetto di sovrappressione interna, che ha causato il distacco del frammento.

La rottura della parte superiore della fusoliera in corrispondenza di questa sezione, renderebbe ragione anche della mancata fuoriuscita delle maschere dell'ossigeno per i motivi a suo tempo discussi.

4) I danni localizzati nella parte posteriore della fusoliera in corrispondenza dei vincoli del tronco di coda (sezione critica), possono aver determinato il distacco del tronco di coda stesso, secondo le modalità descritte.

5) Il distacco del tronco di coda, sempre secondo le modalità descritte, potrebbe aver determinato il successivo cedimento dell'estremità della semiala sinistra. In questa ipotesi, pertanto, il distacco della parte di semiala dovrebbe essere considerato come conseguenza dell'evento principale.

6) Non è escluso che ulteriori frammenti, in massima parte appartenenti agli arredi interni del velivolo, si siano distaccati durante la caduta del relitto principale. Questi frammenti, non individuati né recuperati, potrebbero aver originato una seconda linea di dispersione più a Sud di quella in precedenza discussa.

Pertanto si può ragionevolmente concludere che l'ipotesi di esplosione all'interno della toilette può essere consistente con le principali evidenze derivanti dalle indagini di primo livello, che hanno portato alla definizione della successione e concatenazione degli eventi in precedenza discusse.

Indagini chimiche, metallografiche e medico-legali di secondo livello.

Quanto alle indagini chimiche e metallografiche così il CP afferma:

“Per quanto riguarda i resti del lavandino, gli accurati esami ottici della regione hanno mostrato che non vi è alcuna prova evidente di esplosione in termini di gas-wash o formazioni di crateri in seguito ad impatto di frammenti ad alta velocità.

Uno studio accurato della forma e natura della corrosione presente sul reperto ha evidenziato che essa potrebbe essere dipesa da diversi fattori fra i quali i principali potrebbero essere le deformazioni meccaniche subite e lo scorrimento di prodotti di corrosione dalle zone primarie alle zone limitrofe. Viene anche riportato che le deformazioni meccaniche nelle zone di innesco della corrosione, potrebbero essere consistenti con effetti di onda d'urto e che i prodotti esplosivi, generalmente molto corrosivi, avrebbero potuto facilitare l'innesco della corrosione stessa.

Per quanto riguarda il tubo di lavaggio, nella relazione viene riportato che il tipo di deformazione osservata (“dumb-bell”) è diversa da quella generalmente associata ad un fenomeno esplosivo (“crescent shape”). Accurati esami ottici non hanno rivelato alcuna segnatura associabile ad evento esplosivo. La struttura cristallina dell'acciaio nella zona deformata ha mostrato caratteristiche di deformazione indotta, come presenza di martensite e fasce di scorrimento, associabili ad elevati valori

di deformazione a freddo consistenti con la deformazione del tubo, ma non necessariamente associabili ad effetti di onda d'urto da esplosione.

Questo risultato è pertanto in accordo con i risultati sperimentali che, in ogni prova effettuata, non hanno evidenziato schiacciamenti del tubo in esame.

Ulteriori indagini metallografiche specifiche sono state effettuate sui frammenti AZ498 (frammento di lamiera di copertura in titanio sovrastante l'ordinata 801 e prospiciente il pilone del motore destro) e AZ519 (frammento di ordinata 801 sottostante il precedente frammento) in precedenza descritti e riportati in Fig.IX-34.

Come in precedenza discusso, nel caso di validità della ipotesi di esplosione nella zona toilette, uno dei possibili posti dove potrebbe essere stata occultata la carica esplosiva potrebbe essere l'intercapedine fra parete della toilette e rivestimento esterno della fusoliera, accessibile dalla posizione 1 indicata in Fig.IX-58. In questa ipotesi di posizionamento della carica, i predetti frammenti si sarebbero trovati a contatto con la carica stessa o, quanto meno, estremamente vicini ad essa.

L'obiettivo delle indagini metallografiche effettuate su di essi, è stato, pertanto, di verificare se sui frammenti stessi fossero visibili segnature particolari associabili alla vicinanza alla fonte esplosiva ed indotte principalmente da elevate sovrappressioni od esposizione ad alta temperatura.

Per quanto riguarda il frammento AZ498 (lega di titanio), come riportato in dettaglio nella perizia frattografica, non è stata rilevata la presenza di microdeformazioni a livello cristallino associabili ad effetti di sovrappressioni.

Sul frammento AZ519 è stata rilevata la completa assenza di microdeformazioni a livello cristallino. L'assenza di segni di fusione incipiente a bordo grano esclude che si sia pervenuti a temperature prossime a quelle dell'inizio di formazione di liquido (circa 500°C) ed inoltre l'assenza di fenomeni visibili di ricristallizzazione porta ad ipotizzare che non si sia superata la temperatura di ricristallizzazione (200-220°C circa).

Anche queste indagini confermano, pertanto, che la posizione della carica all'interno dell'intercapedine fra parete della toilette e rivestimento della fusoliera possa ritenersi la meno probabile fra quelle ipotizzate.”

Quanto alle indagini frattografiche il CP così conclude: “Sugli ultimi due frammenti AZ498 e AZ519 di cui al capitolo precedente e per gli stessi motivi, sono state effettuate anche indagini specifiche di natura frattografica, anch'esse in dettaglio riportate nella perizia frattografica stessa.

Per quanto riguarda il frammento AZ498, l'osservazione accurata della superficie di frattura di provini da esso ricavati mediante microscopio elettronico a scansione, ha messo in evidenza numerosi casi di bordi ripiegati verso l'interno della superficie di frattura, più frequenti lungo il bordo prospiciente l'interno della fusoliera, ma tutti causati da azioni meccaniche di ribaditura e quindi non associabili a fenomeni di lambimento di gas ad alta temperatura.

L'osservazione macrografica delle altre superfici di frattura del reperto fa presumere che esse siano in massima parte duttili di modo I e/o di modo III.

L'osservazione macrografica delle superfici di frattura del frammento AZ519 ha mostrato modi di rottura prevalentemente di tipo III per le superfici terminali in alto ed in basso del reperto e per le superfici di frattura non complete ad andamento fronte-retro; inoltre sono stati individuati modi di rottura di tipo I, dovuti ad azioni di flessione con asse del momento flettente nel piano della lamiera, per le superfici di rottura ad andamento alto-basso.

Anche questo tipo di indagini non ha pertanto evidenziato particolari caratteristiche di frattura imputabili a fenomeni di esplosione nelle immediate vicinanze.

Oltre che sui predetti due frammenti che potevano essere stati quasi a contatto con la carica esplosiva, nella ipotesi che essa si fosse trovata nella predetta posizione I, sono state effettuate analisi frattografiche anche sui rimanenti frammenti appartenenti alla zona toilette.

Tali analisi ed i relativi risultati sono stati dettagliatamente descritti e discussi nell'ambito della perizia frattografica, alla quale si rimanda per più estese informazioni.

In estrema sintesi si può riportare che anche queste indagini tecniche di dettaglio non hanno evidenziato sui reperti fenomeni di rotture fragili od alterazioni della struttura cristallina in corrispondenza delle zone di frattura, tali da far supporre l'azione di eventi esplosivi nelle immediate vicinanze dei reperti stessi.”

Sulle indagini medico-legali il CP si sofferma in particolare sulla posizione occupata dal passeggero Calderone Vincenzo nella cabina passeggeri. Vengono perciò riesaminati, oltre la relazione autoptica, tutti i verbali di coloro che hanno reso dichiarazioni sulla vicenda. Ne traggono la conclusione, quei periti, che non vi è certezza sulla posizione di detta Calderone.

Analisi critica degli elementi acquisiti.

Questa analisi ha tre obiettivi.

“Il primo di essi è quello di discutere sinteticamente gli elementi che possono ritenersi consistenti con l’ipotesi di esplosione all’interno del vano toilette acquisiti sia durante le indagini tecniche di primo livello, i cui risultati sono stati presentati e discussi nelle precedenti Parti IV e VIII di questa perizia, sia durante le indagini teoriche di secondo livello, specifiche per questa ipotesi, i cui risultati sono stati presentati e discussi nei precedenti paragrafi di questo capitolo.

Il secondo obiettivo è quello di discutere alcuni elementi contrari all’ipotesi di esplosione, derivanti principalmente dalle analisi esplosivistiche, per verificare se esse possano ritenersi tali da indurre a rigettare l’ipotesi di esplosione stessa.

Il terzo obiettivo, infine, è quello di cercare di identificare, se possibile, una plausibile posizione dell’ordigno esplosivo fra quelle in precedenza descritte.”

La congruità dell’ipotesi con i risultati delle indagini tecniche di primo livello.

1) Osservazioni sulle evidenze favorevoli all’ipotesi di esplosione interna

Sulla base dei risultati delle indagini di secondo livello effettuate nella zona toilette, si può ragionevolmente ritenere che le principali evidenze di evento esplosivo discendono dall’esame del relitto e sono essenzialmente costituite da deformazioni, rotture ed improntature di particolari frammenti, tutti provenienti dalla zona toilette e non ugualmente rilevabili su frammenti provenienti dalle altre zone del relitto. In particolare è emerso che alcuni dei frammenti esaminati portano segnature che sono fortemente consistenti con un evento esplosivo e difficilmente possono essere interpretabili attraverso altri eventi.

Altri frammenti portano segnature che, pur essendo consistenti con evento esplosivo interno, possono essere anche interpretate come conseguenze di differenti eventi. In ogni caso, tutti i frammenti descritti, presi nel loro insieme, forniscono indicazioni tali da rendere plausibile la formulazione dell’ipotesi che l’esplosione di un ordigno all’interno della toilette sia da ritenersi come causa dell’incidente. Si può ragionevolmente concludere che le più significative evidenze dalle quali si può dedurre che a bordo del velivolo I-Tigi possa essersi verificato un evento esplosivo, discendono dall’esame del relitto e, in particolare, dall’esame dei frammenti provenienti dalla zona toilette.

Le altre evidenze non forniscono decisivi elementi a supporto dell’ipotesi, dal momento che sono criticabili sia in quanto possono essere difficilmente correlate con un evento esplosivo all’interno della toilette (né è possibile ipotizzare simili eventi in altre parti del velivolo), sia, e

soprattutto, in quanto esistono ragionevoli dubbi che esse possono derivare da fenomeni esplosivi.

## 2) Osservazioni sugli elementi contrari all'ipotesi di esplosione interna

I principali elementi contrari all'ipotesi di esplosione interna, derivano dalle conclusioni delle indagini condotte dal collegio balistico-esplosivistico e, in particolare, dalle conclusioni delle indagini sperimentali alle quali si è in precedenza accennato. Tra di essi, riveste particolare rilevanza la mancanza sui frammenti provenienti dal relitto dei segni tipici di esplosione, mentre essi risultano in gran parte presenti nei frammenti provenienti dalla prova in "Full-scale".

Principalmente, sulla base della mancanza di tali segni, il collegio balistico-esplosivistico ha ritenuto di poter considerare l'esplosione interna come evento estremamente improbabile. A questo punto delle indagini, il CP ha pertanto avuto a disposizione una serie informazioni fra loro contrastanti.

Da una parte erano disponibili le più volte ricordate oggettive informazioni desumibili dall'esame del relitto che portavano a ipotizzare la presenza di un fenomeno esplosivo all'interno della toilette, dall'altra erano disponibili le conclusioni del collegio balistico-esplosivistico che, sulla base dell'assenza di visibili segni tipici di esplosione nell'intorno della zona toilette, aveva logicamente dedotto quanto sopra riportato.

Da questo punto di vista, a parere del CP, assumono particolare rilevanza:

- la mancanza di improntature da schegge;
- la mancanza di rotture con petalature;
- la mancanza delle tipiche forme di rotture ai bordi dei frammenti.

La presenza di fusioni e pitting è da ritenersi prova certa di esplosione – questa appare la conclusione del CP –, ma la mancanza di esse non può escludere l'esplosione stessa; può solo fornire indicazioni che l'ordigno esplosivo poteva essere posto a sufficiente distanza od in posizione schermata rispetto ai reperti in esame.

Si può perciò formulare la ragionevole ipotesi che una carica di non eccessiva dimensione (sufficiente comunque a provocare il collasso della struttura secondo le note modalità), di opportuna configurazione ed opportunamente collocata abbia potuto determinare effetti primari principalmente concentrati sulle pareti esterne ed interne della toilette, in massima parte non recuperate.

## 3) Tentativo di identificazione di una possibile posizione della carica all'interno della toilette.

“Sulla base delle analisi delle deformazioni dei frammenti appartenenti alla zona toilette in precedenza descritti, il CP ha cercato di localizzare una possibile posizione della carica.

Suddividendo la zona toilette in opportune sezioni ed ipotizzando che tutte le deformazioni in precedenza descritte possano essere attribuite ad un fenomeno esplosivo, il CP ha effettuato le considerazioni che seguono.

a) - Sezione pavimento.

La torsione e deformazione delle travi del pavimento alle staz.ni 801 e 817, potrebbero indicare una posizione del centro di pressione tra le due stazioni e vicino al rivestimento di fusoliera. In particolare la trave 801 mostra evidenza di essere stata inflessa verso l'avanti e verso il basso, con sollecitazione sufficiente a determinarne la rottura per rotazione intorno al vincolo sinistro. Non è facile, comunque, valutare l'effetto sul serbatoio di scarico della toilette.

b) - Sezione interna alla toilette.

Le deformazioni dei frammenti della riquadratura della porta di ingresso posteriore al velivolo e delle lamiere adiacenti indicherebbero una posizione dell'onda di pressione vicino al livello del pavimento o, meno precisamente, nella parte posteriore della toilette. Comunque, a causa della complessità della struttura in questa zona, in particolare gli effetti dei tunnels e della curvatura della paratia di pressurizzazione posteriore e la irripetibilità degli effetti di esplosione, non permette di escludere che la sorgente esplosiva sia piuttosto più elevata e leggermente più avanti.

c) - Sezione pilone del motore.

L'incurvamento della parte inferiore del pilone favorisce una esplosione sotto il pilone, ossia sotto il corrente 16.

In realtà, non è stato recuperato molto del rivestimento in titanio che si trova anteriormente alla staz.817: comunque, il frammento AZ498 appare strappato e spostato in avanti con moto più o meno rettilineo, ma con una rotazione in avanti.

Il foro trovato nella lamiera inferiore del pilone potrebbe essere stato prodotto da un frammento viaggiante verso l'esterno e verso l'alto. La paratia parafiamma interna al pilone indicherebbe un centro di pressione tra le staz.ni 786 e 817, con il frammento AZ499 alla stazione 808-814 avvolto intorno al condotto dell'aria calda all'interno del pilone in modo da indicare un movimento all'indietro. Questo suggerisce che l'esplosione potrebbe essere avvenuta all'incirca a livello del pavimento. La deformazione delle ordinate di fusoliera suggerirebbe un centro di pressione non lontano dalla sez.801. Lo schiacciamento dei condotti di aria

calda dentro il pilone, potrebbero essere una evidenza della natura violenta dell'evento ma non aiuta nella determinazione della posizione della carica.

Il frammento AZ519, la parte di ordinata alla staz.801 tra i correnti 14 e 16 mostra, insieme ad una separazione dritta verso l'esterno, una deformazione che indicherebbe un centro di pressione leggermente dietro di essa. Il taglio in vicinanza della parte inferiore e superiore del pilone è una ulteriore evidenza che tale centro di pressione poteva trovarsi probabilmente fra i correnti 14 e 16.

d) - Sezione di supporto anteriore del motore.

Questo sembrerebbe indicare che l'esplosione sia stata vicino al rivestimento tanto più che sembra che la carica fosse piccola: però questo non aiuta a stabilire l'altezza della carica esplosiva.

e) - Sezione gondola motore.

Il danno sulla gondola appare centrato in un punto tra le staz.801 e 817 sebbene sia la parte superiore che inferiore appaiano danneggiate, c'è sensibilmente maggiori danneggiamenti: e questo suggerirebbe che il centro dell'esplosione potesse essere intorno alla lamiera inferiore del pilone cioè vicino alla sezione 16, ma a non troppa distanza.

f) - Sezione serbatoio degli scarichi della toilette.

Il frammento del tubo di lavaggio del serbatoio (AZ453), manca in vicinanza della lamiera esterna ma risulta appiattito dall'altra parte della staz.817; questo rafforza l'idea di una esplosione vicino alla lamiera ma non aiuta a localizzarla. Va notato che le prove esplosivistiche con cariche più indietro e interne non hanno appiattito il tubo.

g) - Sezione lavandino.

I risultati delle prove esplosivistiche suggerirebbero una posizione della carica favorisce una posizione infuori e leggermente sopra il lavandino: però questa non spiega altri danni. Perciò non è possibile escludere altre posizioni più basse.”

Il fattore comune alle varie sezioni sembra un centro di pressione tra le stazioni 801 e 817, a livello poco sopra il rivestimento inferiore del pilone. Questo coincide dentro la cabina con una posizione avanti al mobiletto della toilette e sopra il copritazza. Peraltro, gli effetti di una esplosione dentro uno spazio limitato di forma e struttura complicata non sono prevedibili. Non è quindi possibile pervenire ad una conclusione assolutamente sicura.

Se la predetta posizione è accettata come probabile, allora sembra che il mobiletto stesso appaia troppo lontano dalla parete anteriore essendo appena avanti alla staz.817; inoltre il bordo superiore del serbatoio degli scarichi della toilette sembra troppo basso rispetto al pilone. Sarebbe possibile attaccare con un adesivo un pacchetto di esplosivo alla parete del

mobiletto all'altezza giusta, e questo lo renderebbe naturalmente ancor più difficile da scoprire. Comunque:

- la posizione più probabile sembra tra la lamiera del velivolo e la parete della toilette tra le staz.804 e 806.

- L'accesso più probabile a questa area è attraverso il contenitore anteriore dei fazzoletti di carta, che dà accesso all'intercapedine e, siccome in alcuni casi esaminati la parete interna è molto flessibile, dà pure accesso ad una zona vicina e situata al di sotto.

Il CP, in presenza di notevoli dubbi ed obiezioni, non si sente in grado di indicare con precisione dove la carica esplosiva fosse nascosta, ma solo di dichiarare che si trovava nella toilette.

#### 4) Conclusioni sulla ipotesi di esplosione interna.

Da tutto quanto in precedenza esposto e discusso, sono emersi i seguenti aspetti principali del problema.

1) L'esame dettagliato del relitto ricostruito ha consentito di individuare delle prove oggettive, consistenti in particolari deformazioni ed improntature di frammenti tutti provenienti dalla zona toilette e certamente determinatesi al momento del collasso in volo della parte di struttura adiacente alla toilette, che possono spiegarsi solo con elevati valori di pressione generatasi nella zona in esame. Questo va ritenuto come un segno di esplosione assai importante e determinante per l'ipotesi in esame.

2) I risultati delle indagini chimiche, metallografiche e frattografiche di secondo livello, pur non fornendo convalide relativamente all'ipotesi di esplosione, hanno tuttavia fornito indicazioni che la possibile posizione dell'ordigno esplosivo all'interno della toilette doveva essere sufficientemente distante dai reperti esaminati.

3) Gli indizi che in precedenti perizie erano stati ritenuti come evidenze di esplosione (interna o esterna) presentano non trascurabili elementi di critica, che non consentono di assumerli come prove significative di eventi esplosivi.

4) Sui frammenti recuperati ed appartenenti alla zona toilette non sono presenti le tracce primarie di evento esplosivo costituite, in particolare, da segnature di schegge, pelature, fratture tipiche. Principalmente sulla base di queste mancanze, il collegio balistico-esplosivistico ha ritenuto come estremamente improbabile l'evento esplosivo.

5) Sul corpo della sig.ra Calderone non sono state trovate lesioni attribuibili ad esplosione. Questo aspetto può essere rilevante poiché la passeggera occupava il posto adiacente alla parete anteriore della toilette.

6) Nella ipotesi che il segnale registrato immediatamente a monte della prima interruzione della registrazione del CVR possa essere ritenuto di natura acustica, esso indicherebbe la presenza di un evento verificatosi in prossimità della sorgente di alimentazione.

Una approfondita discussione di questi aspetti ha consentito al CP di raggiungere le conclusioni di seguito esposte:

- esistono significative ed oggettive evidenze derivanti dall'esame del relitto ricostruito che fanno ritenere plausibile l'ipotesi che una esplosione all'interno della toilette possa ritenersi all'origine dell'incidente al velivolo I-Tigi. Tali evidenze sono quasi totalmente costituite da deformazioni ed improntature su frammenti provenienti dalla zona toilette;

- i risultati conseguiti nell'ambito della perizia balistico-esplosivistica sono coerenti con un esame strettamente legato agli effetti localizzati di esplosione conseguenti ad un particolare posizionamento e dimensionamento della carica. Essi possono assumere un diverso aspetto se inquadrati in un contesto più ampio che tenga conto anche delle evidenze derivanti da un esame specialistico del relitto, che il collegio non era tenuto ad effettuare, e della possibile diversa disposizione e dimensione della carica;

- i risultati derivanti dalle rimanenti indagini forniscono elementi da non ritenersi contrari all'ipotesi esplosione ed a loro volta utilizzabili per formulare ipotesi sulla posizione dell'ordigno esplosivo all'interno della toilette.

Sulla base di questi elementi, il CP ritiene che l'ipotesi di esplosione all'interno della toilette, possa essere caratterizzata da evidenze tali da farla ritenere tecnicamente sostenibile.

I risultati delle analisi delle deformazioni degli elementi appartenenti alla zona toilette, anche nella ipotesi che essi possano essere tutti unicamente attribuibili all'evento esplosivo, non hanno consentito di poter individuare con certezza, fra tutte quelle possibili, una plausibilmente certa posizione dell'ordigno.

5) Ipotesi di quasi collisione in volo.

Le indagini radaristiche hanno potuto escludere che nel cielo dell'incidente potessero essere presenti altri velivoli, oltre al DC9. Avendo scartata la possibilità di collisione diretta non resterebbe che ipotizzare una possibile situazione di quasi collisione, attribuendo un particolare significato a tale definizione. Nella pratica normale di volo, infatti, sono generalmente indicate come situazioni di quasi collisione particolari condizioni nelle quali due o più velivoli passano a distanze rispettive

inferiori a prefissati limiti di sicurezza, peraltro abbastanza elevate dell'ordine del migliaio di metri.

Nel caso in esame, in modo puramente convenzionale, per quasi collisione si è intesa la particolare condizione di volo che può aver portato i due velivoli a passare a distanze estremamente ridotte, dell'ordine del metro, l'uno dall'altro, senza peraltro venire a contatto. Situazioni di questo tipo possono determinare non trascurabili fenomeni di interferenza fra i campi aerodinamici che circondano i due velivoli, con conseguenti modifiche delle forze aerodinamiche su di essi agenti.

Per discutere questa ipotesi, è opportuno ricordare che dalle indagini tecniche di primo livello è emerso che, per quanto riguarda la rottura dell'estremità della semiala sinistra, era possibile considerare tale evento come primario e, cioè, all'origine dell'incidente, oppure come susseguente al cedimento e distacco del tronco di coda. Analogamente, il cedimento delle sezioni critiche del velivolo poteva essere attribuito a superamento dei massimi valori del fattore di carico o considerato come evento casuale. In altre parole, afferma il CP non può essere azzardato ipotizzare il seguente scenario:

a) prima dell'evento, il velivolo procedeva equilibrato nelle previste condizioni di volo, con autopilota inserito;

b) a seguito dell'evento e delle iniziali "cues" accelerometriche positive, i piloti sono stati allertati e possono aver assunto il controllo manuale del velivolo per azzerare le accelerazioni stesse;

c) al momento della rottura della semiala, le "cues" accelerometriche si sono immediatamente trasformate da positive in negative e l'intervento del pilota, inizialmente "previsto" a picchiare, si è trasformato in intervento a cabrare, per contrastare questo ultimo tipo di accelerazione.

L'ipotesi in esame risulta in accordo con i risultati delle indagini tecniche di primo livello dalle quali la predetta serie di eventi è stata dedotta.

a) Osservazioni sulla consistenza dell'ipotesi. Un fenomeno di interferenza del tipo descritto potrebbe aver causato la rottura dell'estremità della semiala sinistra. Tale rottura, in aggiunta a possibili manovre di evasione effettuate dal pilota, potrebbe aver successivamente innescato una serie di fenomeni aeromeccanici tali da portare il velivolo, così danneggiato, a superare i valori limiti del fattore di carico, con conseguente cedimento della struttura in corrispondenza delle sezioni critiche rispetto a tali condizioni. Poiché, al termine delle indagini di primo livello, si è concluso che la sequenza e la concatenazione degli eventi da esse desumibili potrebbero essere compatibili con il predetto tipo di cedimento,

ne deriva che l'ipotesi di incidente in esame sarebbe compatibile con le evidenze derivanti dalle predette indagini di primo livello.

Dalle indagini tecniche di secondo livello è stato poi possibile verificare come sul velivolo, ed in particolare nell'intorno della zona toilette, siano presenti particolari deformazioni ed improntature di frammenti che hanno consentito di formulare l'ipotesi di esplosione interna descritta nel precedente paragrafo. Poiché tali deformazioni ed improntature sono dati oggettivi, per poter accettare l'ipotesi in esame è necessario verificare se esse possano essere consistenti anche con l'ipotesi di incidente per condizioni di volo di quasi collisione. A tale proposito si può osservare che, nell'ambito delle osservazioni critiche sui risultati delle indagini di secondo livello effettuate nell'intorno della zona toilette, è stato rilevato che un certo numero di frammenti sono caratterizzati da deformazioni ed improntature che potrebbero derivare anche da eventi diversi dal fenomeno esplosivo.

Nell'ambito dell'ipotesi in esame tali caratteristiche potrebbero ragionevolmente essere associate alle elevate e complesse sollecitazioni che certamente hanno agito sulla parte di struttura considerata, al momento del suo collasso e frammentazione in volo. Altri frammenti presentano, invece, caratteristiche di deformazioni ed improntature specificamente consistenti con fenomeno esplosivo. La loro attribuzione a fenomeni diversi richiederebbe complesse motivazioni, forse possibili, ma certamente meno evidenti ed immediate.

Si può, pertanto, concludere che l'ipotesi di incidente per quasi collisione potrebbe ritenersi consistente con i risultati delle indagini di primo livello, mentre alcuni risultati di indagini di secondo livello non potrebbero con essa trovare immediata conferma.

b) Osservazioni conclusive sull'ipotesi di quasi collisione. Sulla base di tutto quanto in precedenza esposto, relativamente alla ipotesi di collisione possono trarsi le seguenti conclusioni:

- l'evento è tecnicamente possibile;
- l'ipotesi è consistente con i risultati delle indagini di primo livello;
- molti risultati delle indagini di secondo livello non risultano consistenti con tale ipotesi.

Allo scopo di valutare se tale ipotesi possa ritenersi accettabile, il CP ha fatto le ulteriori seguenti osservazioni:

- la non consistenza con i predetti principali risultati delle indagini di secondo livello può ritenersi come un assai forte elemento;
- è evidente (ed ovvio) che l'ipotesi di quasi collisione prevede la presenza di almeno un altro velivolo nel cielo dell'incidente. Sulla base delle indagini tecniche in precedenza discusse questa eventualità esiste solo

come possibile ipotesi. Il non poter avere elementi di ragionevole certezza su questo punto, introduce un ulteriore forte motivo di dubbio;

- l'evento ipotizzato è estremamente inusuale e, forse, unico nella storia degli incidenti aerei.

Per i motivi esposti, il CP ritiene che questa ipotesi di causa di incidente debba ragionevolmente ritenersi da escludere.

Osservazioni conclusive finali.

Così da ultimo, il CP conclude considerando: 1) le informazioni disponibili; 2) le evidenze raccolte; 3) la compatibilità con le caratteristiche dello scenario, in particolare radar, si sono raggiunte le seguenti conclusioni:

a) l'ipotesi dell'abbattimento mediante missile è rigettata;

b) l'ipotesi di collisione con altro aereo è rigettata;

c) l'ipotesi di danno strutturale è rigettata;

d) l'ipotesi di un'esplosione interna è stata considerata come "tecnicamente sostenibile";

e) l'ipotesi di quali collisione è stata rigettata.

Il CP propone al Giudice Istruttore di accettare la sua conclusione che la causa dell'incidente è stata un'esplosione interna.

Nota aggiuntiva.

In questa nota aggiuntiva il membro del CP prof. Carlo Casarosa, a titolo puramente personale, ha ritenuto doveroso formulare alcune osservazioni sul problema della correlazione fra esplosione interna e scenario esterno. A questa nota si è associato anche un secondo membro del collegio e cioè il prof. Manfred Held.

Nel contesto della Nota, per scenario esterno si è intesa la possibilità che nel cielo dell'incidente fossero presenti o meno altri velivoli. Le principali informazioni su queste due diverse possibilità possono derivare dalle analisi dei plots radar del sistema di controllo del traffico civile e da informazioni di tipo "esterno" rispetto alle analisi stesse.

A questo proposito, nell'ambito della perizia, sono state fatte due ipotesi:

- i plots radar successivi all'incidente sono attribuibili a frammenti del velivolo in caduta ed i plots precedenti l'incidente sono da considerare come falsi plots e, di conseguenza nel cielo non erano presenti altri velivoli;

- alcuni di tali plots possono essere correlati alla presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente.

Entrambe le ipotesi possono avere supporti "esterni" a loro sostegno.

Il supporto esterno alla prima ipotesi è ovviamente costituito dal fatto che, indubbiamente, il velivolo si è frammentato in volo e, di conseguenza, frammenti in caduta erano certamente presenti nel cielo dell'incidente.

Il supporto esterno alla seconda ipotesi è costituito dal fatto che al termine di una delle due tracce identificabili, nella possibilità che un certo numero di plots non fossero attribuibili a frammenti in caduta, è stato ritrovato un serbatoio sganciabile in volo, appartenente a tipi di velivoli che nel 1980 sicuramente operavano in Mediterraneo.

Tale supporto esterno è certamente più debole del precedente in quanto i frammenti in caduta certamente erano presenti mentre la presenza del serbatoio potrebbe anche essere di tipo casuale. In questa seconda eventualità occorrerebbe comunque accettare la casualità del ritrovamento al termine di una traccia radar ed in prossimità del relitto del DC9. Il comune buon senso potrebbe suggerire una certa prudenza nel ritenere casuale il ritrovamento stesso. Pertanto, le due differenti ipotesi possiedono entrambe un non trascurabile grado di "bilanciamento" sia nei riguardi dei risultati delle analisi tecniche, sia nei riguardi di possibili "supporti" esterni rispetto alle indagini.

È evidente ed anche ovvio, che l'ipotesi di esplosione interna assumerebbe particolare forza, tale da farla ritenere in modo assoluto come causa dell'incidente, nel caso che fosse da ritenersi valida l'ipotesi di assenza di velivoli nel cielo dell'incidente. Considerata la possibilità opposta e, cioè, che nel cielo dell'incidente fossero presenti altri velivoli con uno di essi in grado di intersecare la rotta del DC9 al momento dell'incidente, la verifica di compatibilità della ipotesi di esplosione interna risulterebbe più complessa, in quanto il comune buon senso spingerebbe a rifiutare la concomitanza perfetta dei due eventi, ma indurrebbe a ricercare una possibile correlazione fra presenza del velivolo ed incidente, a meno che l'ipotesi di esplosione non fosse caratterizzata da evidenze talmente irrefutabili da rendere accettabile la correlazione stessa.

Le indagini tecniche ed i supporti "esterni" relativi alla possibile presenza di altri velivoli nel cielo dell'incidente, discussi nell'ambito della perizia, non forniscono elementi di certezza tali da spingere ad analizzare a fondo il problema della correlazione fra esplosione interna e possibile presenza di velivoli, anche in presenza dei predetti motivi di incertezza sulla ipotesi di esplosione stessa. Ben diversa potrebbe essere la situazione se, in aggiunta a quanto desumibile dai risultati delle indagini e per altre vie, potesse essere accertata la presenza di velivoli nel cielo dell'incidente. In questo caso, a causa dei motivi di incertezza che caratterizzano l'ipotesi

esplosione, tale ipotesi andrebbe riconsiderata, non potendosi escludere una possibile correlazione fra incidente e presenza dei velivoli.

A questo punto appare necessario riportare quanto più analiticamente possibile il percorso compiuto dal collegio sull'esame dei dati radaristici.

\* \* \* \* \*