

**Capitolo V**  
**L'ipotesi della quasi collisione.**

**1. L'analisi dell'ipotesi nella perizia tecnico-scientifica.**

Come s'è visto nella lunga rassegna delle perizie d'Ufficio e documenti di parte connessi, l'ipotesi della quasi collisione in volo in pratica non emerge sino all'elaborato del collegio Misiti. Costoro partivano dalle conclusioni cui essi stessi erano pervenuti con le indagini radaristiche, e cioè che non si fosse potuto escludere che nel cielo dell'incidente fossero presenti altri velivoli oltre il DC9.

In una precisa figura, la VIII-10, veniva infatti mostrato uno scenario che prevedeva la possibile compresenza di due velivoli, uno dei quali, il velivolo n.2, al momento dell'incidente ovvero  $t = 0$ , avrebbe potuto trovarsi in corrispondenza della posizione occupata dal DC9 allo stesso istante. S'era però scartata l'ipotesi che si fosse verificata una collisione in volo, perchè mancava sul relitto ogni pur minimo segno di tal evento.

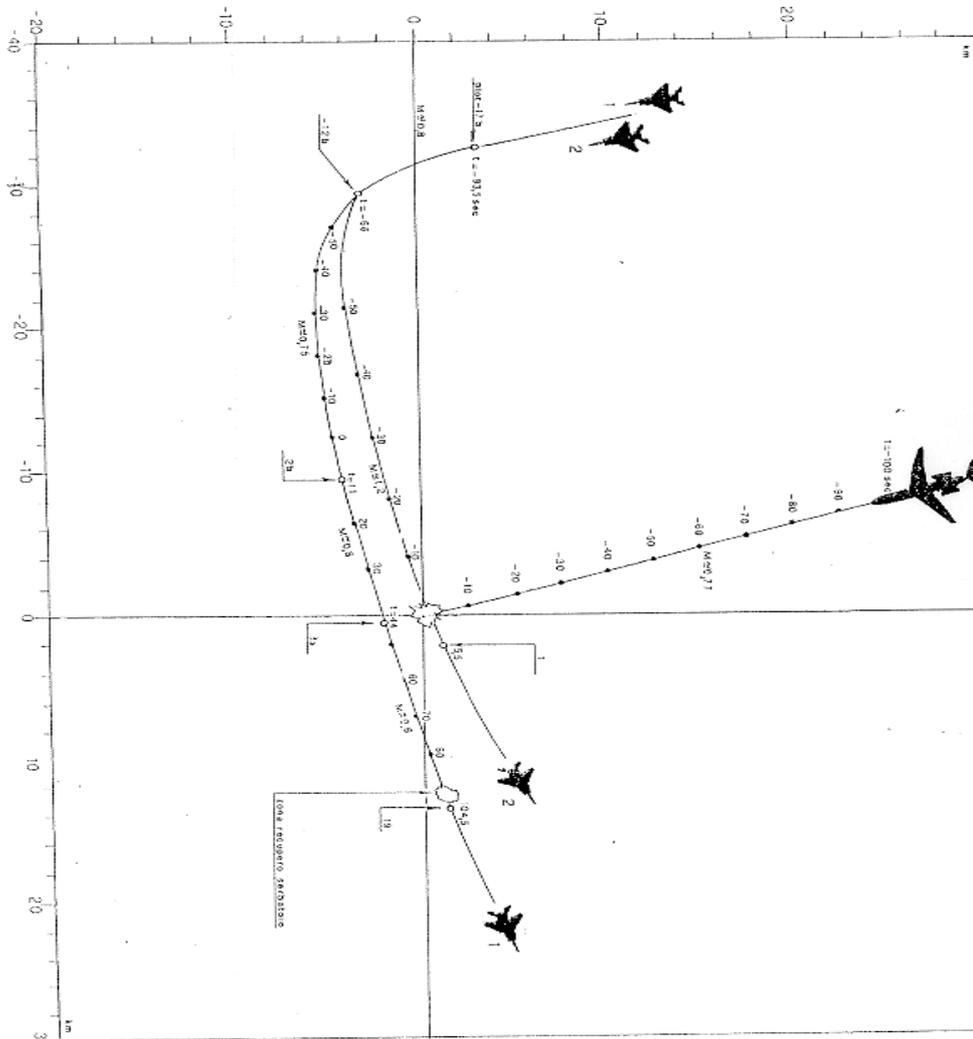


Fig. VIII-10

Nel caso in esame, in modo puramente convenzionale e a differenza della pratica normale del volo, si era intesa quella particolare condizione

che avrebbe portato i due velivoli a passare a distanze estremamente ridotte, dell'ordine del metro, l'uno dall'altro, senza peraltro venire a contatto. Situazioni del genere, si affermava, 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".

Tali fenomeni sono abbastanza noti in quanto sono stati all'origine di incidenti di volo principalmente durante le fasi di decollo e di atterraggio, quando due velivoli effettuano tali fasi di volo in rapida sequenza temporale, specialmente quando l'un velivolo è di dimensioni sensibilmente maggiori dell'altro. In queste condizioni di volo, il secondo velivolo può attraversare la zona in cui ancora non s'è smorzato il disturbo aerodinamico indotto dal primo, disturbo generalmente costituito da vortici originati dal sistema portante, e può pertanto andar soggetto a effetti di interferenza, consistenti essenzialmente in variazioni di angolo di incidenza delle superfici portanti, con conseguente sensibile variazione delle forze aerodinamiche, che hanno determinato in alcuni casi i predetti incidenti.

L'obiettivo delle analisi era di verificare se una tale complessa situazione di volo, convenzionalmente indicata come condizione di quasi collisione, una situazione cioè che prevedesse mutue interferenze aerodinamiche fra i due velivoli e possibili manovre di evasione, potesse essersi verificata ed essere stata tale da determinare l'incidente.

Il CP Misiti in effetti al riguardo della rottura della semiala sinistra era già pervenuto, con le indagini di primo livello, a 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. Ovvero lo scopo era quello di verificare se i complessi fenomeni derivanti da una situazione di quasi collisione tra DC9 ed altro velivolo potessero aver determinato il cedimento con deflessione verso il basso dell'estremità della semiala sinistra a circa 5.5m dalla estremità stessa, e se, a seguito di questo evento, potessero essersi originate sul velivolo situazioni di sovraccarico o superamento dei massimi valori del fattore di carico, tali da determinare il cedimento delle predette sezioni critiche.

Tale analisi fu condotta verificando preliminarmente se le condizioni di carico conseguenti ad eventi combinati quali la rottura della semiala sinistra e possibili manovre di evasione potessero essere tali da indurre sul velivolo valori di fattori di carico sufficienti a determinare il cedimento delle sezioni critiche, secondo le modalità e la concatenazione derivanti dalle indagini tecniche di primo livello. Successivamente si procedette a

verificare se fenomeni di interferenza aerodinamica in condizioni di quasi collisione, potessero esser tali da determinare la rottura dell'estremità della semiala sinistra, con deflessione verso il basso dell'estremità stessa.

Seguivano in quella analisi due paragrafi di contenuto tecnico, con esattezza e chiarezza impostati e sviluppati, ma dai quali, come non raramente accade nella perizia Misiti, si conclude in modo non conseguente con premesse ed evoluzione delle argomentazioni. Tali paragrafi intitolati rispettivamente "Possibili effetti indotti dalla rottura dell'estremità della semiala sinistra" e "Considerazioni sull'effetto di interferenza in condizioni di volo di quasi collisione", consistono in serie non brevi di passi d'ordine prettamente tecnico, che non appaiono perciò sintetizzabili e devono essere – anche se altrove in parte riportati – qui trascritti per intero.

## **2. Possibili effetti indotti dalla rottura dell'estremità della semiala sinistra.**

La rottura dell'estremità della semiala sinistra con deflessione verso il basso, può essere determinata da un fenomeno di interferenza che generi una distribuzione di carico asimmetrico sulle due semiali, qualitativamente indicata in fig.IX-66 e che sarà successivamente quantitativamente analizzata. La conseguente rottura dell'estremità della semiala sinistra, in via del tutto qualitativa, può aver dato luogo ai principali eventi di seguito esposti:

- a) accelerazione angolare di rollio inizialmente derivante dalla distribuzione di carico asimmetrico sulle semiali, e successivamente, dalla perdita di parte della semiala sinistra.
- b) conseguente velocità angolare di rollio acquisita dal velivolo negli istanti successivi all'incidente.
- c) pitch-up inizialmente dovuto alla distribuzione di carico asimmetrico e, successivamente, alla perdita dell'estremità della semiala sinistra.
- d) conseguente variazione di angolo di incidenza con incremento di portanza e, quindi, di fattore di carico.
- e) accelerazione angolare di imbardata derivante da asimmetria di resistenza sulle semiali e dagli effetti della velocità angolare di rollio.
- f) conseguente variazione di angolo di sideslip.

Come in precedenza indicato, a questi eventi, possono essersi sommate anche eventuali manovre evasive effettuate dal pilota.

Occorre a questo punto verificare se la predetta successione di eventi può essere stata tale da determinare le ipotizzate condizioni di sovraccarico

sul velivolo. Tale verifica, di natura quantitativa, è stata effettuata utilizzando il simulatore di volo del dipartimento di ingegneria aerospaziale dell'università di Pisa le cui principali caratteristiche sono state appositamente descritte nel paragrafo 9.4 della precedente parte I di questa perizia. Su tale simulatore sono state implementate le caratteristiche aeromeccaniche del velivolo DC9 acquisite da questo CP presso la Mc Donnell Douglas, come riferito nel paragrafo 9.3 della predetta parte I. Preliminarmente sono state calcolate, almeno in prima approssimazione, le principali caratteristiche aeromeccaniche del velivolo in condizioni danneggiate e, cioè, con parte della semiala sinistra mancante.

La simulazione è stata condotta secondo la seguente metodologia.

- All'inizio degli eventi, si è ipotizzato che sulla semiala sinistra si sia verificata una frattura.

La crociera viene mantenuta dopo circa 10 secondi. Al momento della modifica delle condizioni di volo, il velivolo si trova in un regime di volo di crociera.

Il carico di lavoro è di 0.2g.

In seguito al danno, il baricentro si sposta verso il basso e l'assetto si modifica. Osservando i valori di  $\alpha$  e  $\delta$  si evidenzia un'accelerazione portanza che può essere sopportata dal pilota, grazie al sistema di controllo.

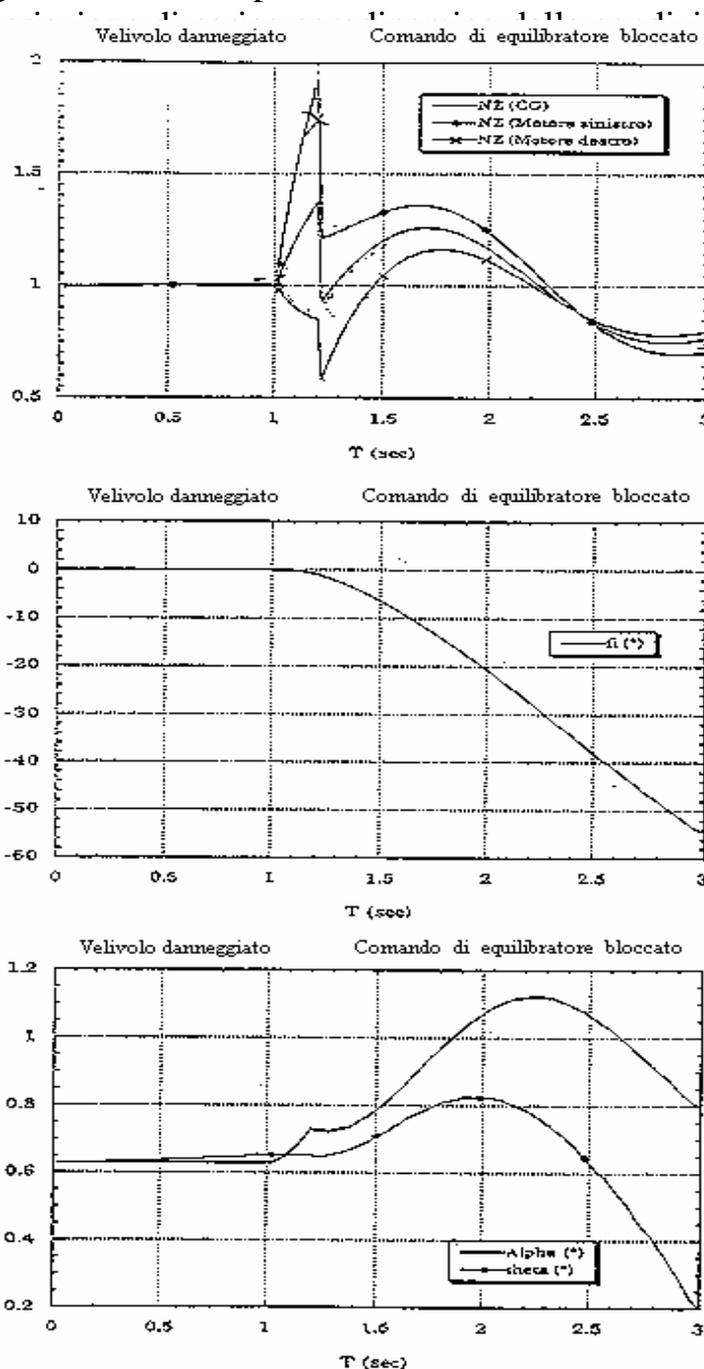


Fig. IX-67 Risultati delle simulazioni

In altre parole, può non 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 (guà?);
- 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.

Per verificare il comportamento del velivolo danneggiato a seguito di un intervento a cabrare del pilota, si sono effettuate prove di simulazione, inserendo una variazione di angolo di tab compresa tra  $-2^\circ$  e  $-6^\circ$ , a partire da  $t=1.2\text{sec}$  e, cioè  $0.2\text{sec}$  dopo l'evento iniziale.

Dai risultati delle simulazioni, riportati in fig.IX-68, sempre in termini di variazioni del fattore di carico, possono trarsi le principali conclusioni che seguono.

Interventi a cabrare del pilota fanno incrementare sensibilmente il valore del fattore di carico, fino a raggiungere valori dell'ordine di  $7.8g$ , per variazioni di angolo di tab di  $-6^\circ$ .

Il massimo valore del fattore di carico, in ogni caso esaminato, viene raggiunto dopo circa  $0.8\text{sec}$  dall'inizio degli eventi.

Il motore di destra, durante i primi istanti del moto, a causa dell'accelerazione angolare indotta dagli eventi esterni, è sottoposto ad un fattore di carico superiore a quello cui è sottoposto il motore di sinistra. Di conseguenza, è possibile ipotizzare che gli attacchi del motore di destra possano aver raggiunto le condizioni di collasso prima di quelli del motore di sinistra.

A titolo di confronto, nella fig.IX-69 sono riportati i risultati delle stesse simulazioni effettuate nella ipotesi di velivolo integro.

Si può osservare come il velivolo danneggiato, a parità di comando di equilibratore, raggiunga un valore di fattore di carico superiore a quello del velivolo integro, a causa del pitch-up e della riduzione di margine di stabilità derivanti dal danneggiamento stesso.

Le simulazioni indicano, pertanto, che la sequenza degli eventi in precedenza ipotizzata può generare condizioni di sovraccarico su tutta la struttura del velivolo e, in particolare, sulla sezione di attacco dei motori.

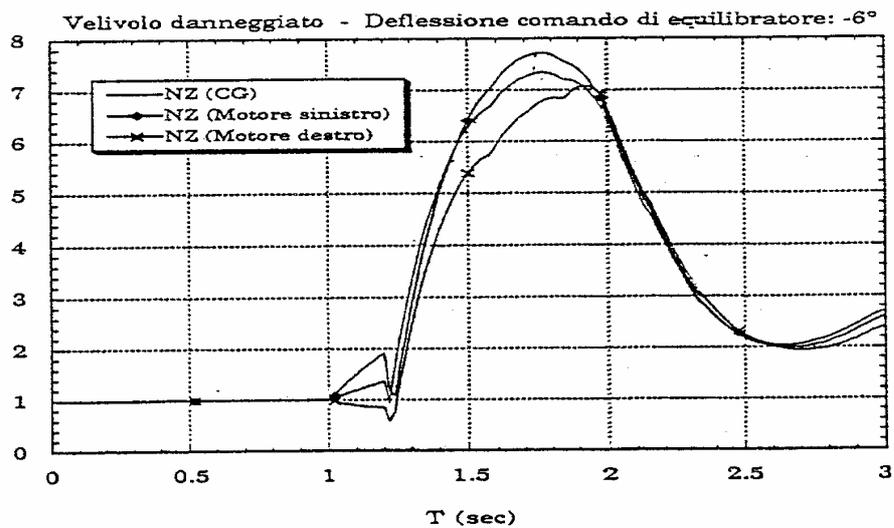
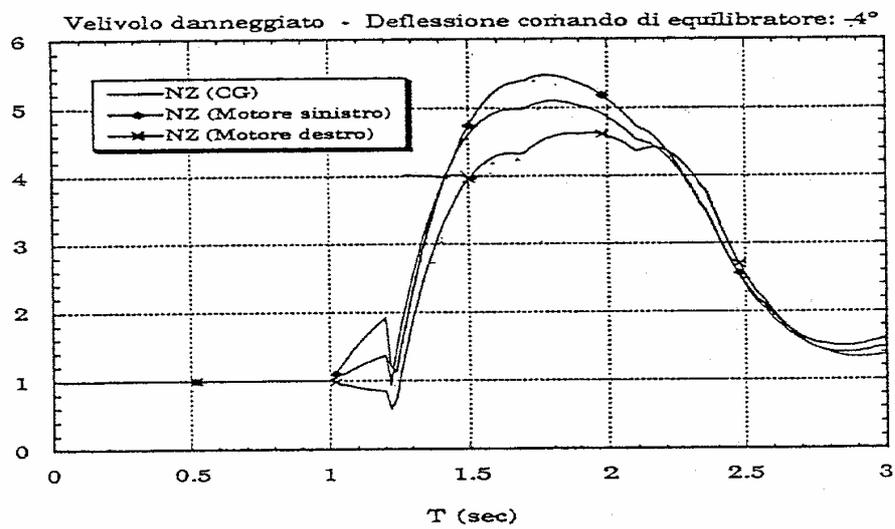
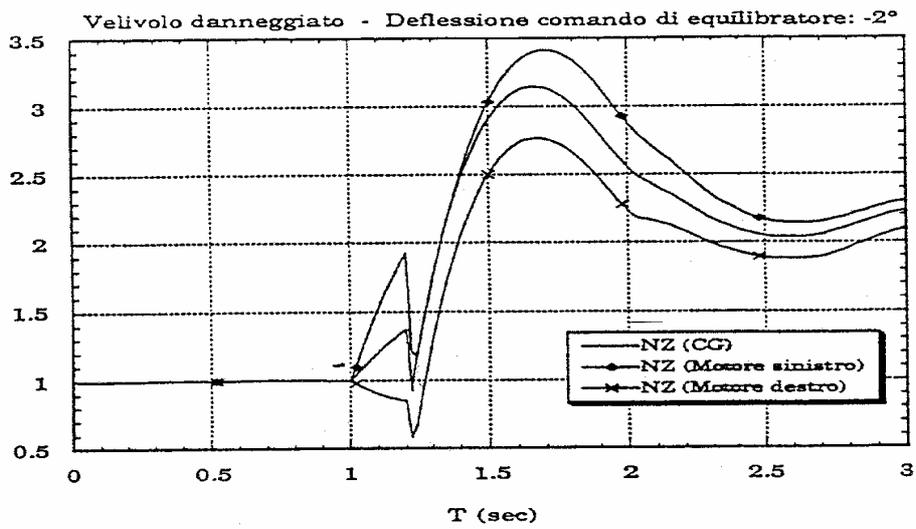


Fig.IX-68 Risultati delle simulazioni

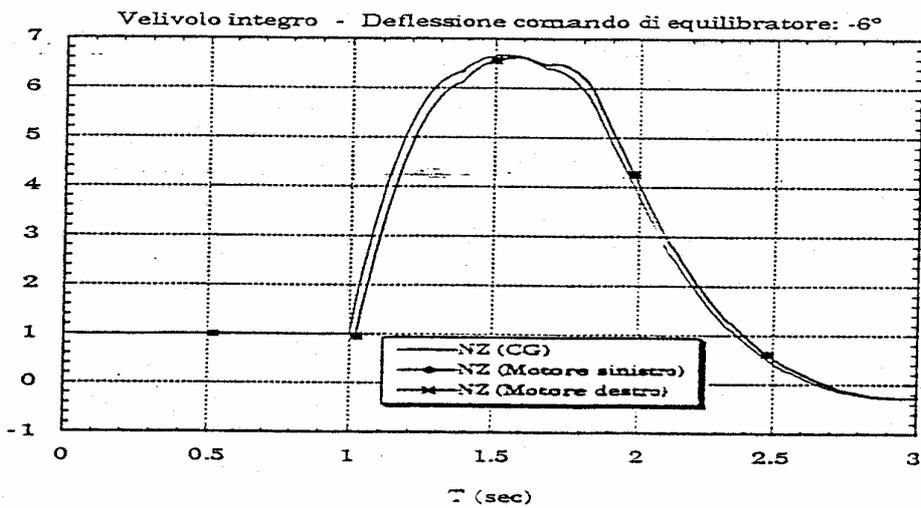
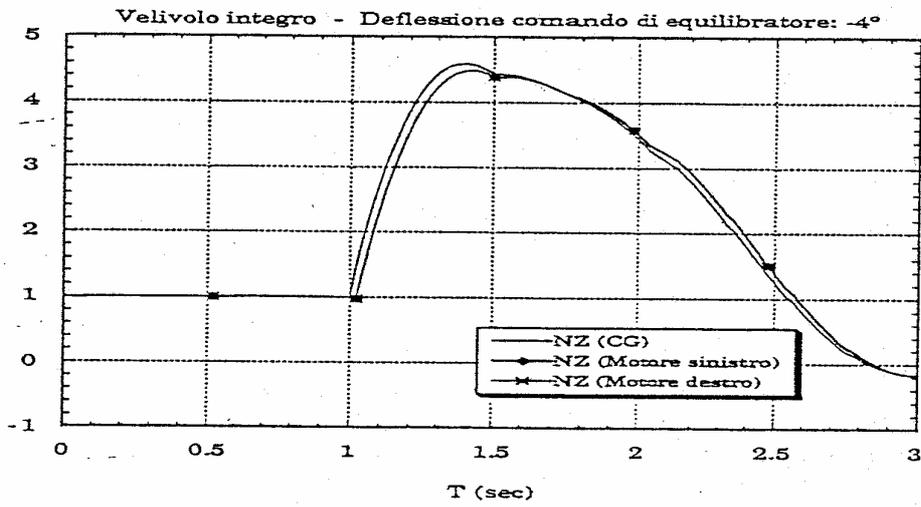
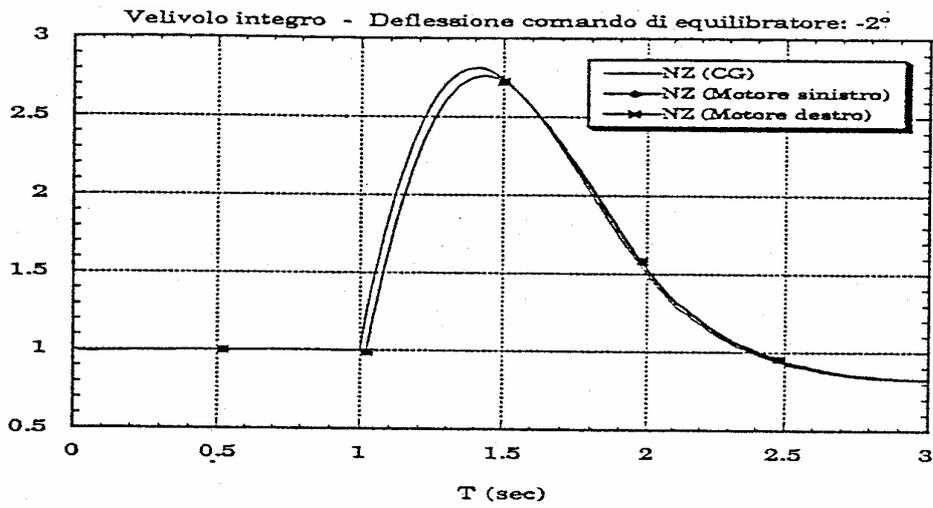


Fig.IX-69 Risultati delle simulazioni

Esse forniscono anche una possibile giustificazione sia dell'iniziale stato di allarme dei piloti, sia del loro successivo intervento manuale sui comandi del velivolo.

Occorre ora verificare se sul Flight Data Recorder (FDR) si sarebbe potuto trovare tracce degli andamenti delle accelerazioni verticali in precedenza descritte, nel caso che una tale sequenza di eventi si fosse realmente verificata.

L'Air Accident Investigation Branch che ha effettuato la decodificazione dell'FDR, in corrispondenza del punto di arresto del nastro, ha rilevato che tutte le punte scriventi relative ai diversi parametri di volo hanno impresso delle marcature allineate lungo la finestra di scrittura.

Ha ritenuto, comunque, che tali tracce fossero dovute a oscillazioni casuali degli elementi scriventi verificatesi dopo l'incidente, e non ha attribuito ad esse alcun pratico significato.

A questo proposito, possono effettuarsi le considerazioni che seguono.

L'alimentazione dell'FDR e del CVR, in condizioni normali di volo, è assicurata dalla barra destra, collegata al generatore del motore destro.

L'intera sequenza che può aver portato il motore destro a superare il massimo valore di fattore di carico consentito, con conseguente distacco ed interruzione di energia alla barra destra, può essersi verificata in un arco di tempo dell'ordine di 0.4sec, come rilevabile dalle simulazioni.

La velocità di registrazione dell'FDR montato sul velivolo era di circa 6 inches/ora e, cioè, dell'ordine di 0.04mm/sec con cadenza di marcatura della traccia dell'accelerazione verticale di 0.1sec (10 marcature per sec).

Di conseguenza, prima dell'interruzione di energia elettrica alla barra destra, l'elemento scrivente relativo alle accelerazioni verticali, a partire dall'inizio degli eventi, dovrebbe aver effettuato circa 4 marcature su una lunghezza di nastro dell'ordine di 0.016mm e, quindi, praticamente allineate sulla stessa linea verticale.

Di queste, le prime due o tre dovrebbero trovarsi nell'intorno di valori di poco diversi da 1g. In particolare, la seconda marcatura, secondo i risultati delle simulazioni, dovrebbe trovarsi a valori inferiori ad 1g.

Pertanto, prima dell'interruzione, al massimo una marcatura può trovarsi a valori "sospetti" di fattore di carico, forse difficilmente identificabile nella confusione di tracce presenti nella zona di arresto del nastro (fig.IV-26).

Tutto questo, naturalmente, nella ipotesi che il Vertical Acceleration Servo abbia caratteristiche di risposta tali da registrare fedelmente le descritte variazioni di accelerazione.

Al momento dell'interruzione di corrente sulla barra destra, il Crosstie Relay può aver effettuato la commutazione dei circuiti sulla barra sinistra, ancora attiva, in quanto, come rilevabile dalle simulazioni, il fattore di carico sul motore sinistro, a questo istante, non avrebbe ancora raggiunto valori critici.

Esperimenti effettuati nell'ambito della perizia acustica, riportati nel paragrafo 2.2.2 della parte IV di questa perizia, hanno consentito di ipotizzare che i due picchi di rumore rilevabili al termine della registrazione del CVR, possono essere attribuiti ad un distacco iniziale della corrente, un successivo riattacco dopo circa 200ms ed un definitivo distacco dopo 10ms e, cioè, dopo 210ms dal primo distacco. Alla luce delle simulazioni effettuate, la precedente sequenza di impulsi può essere interpretata nel modo che segue.

Al momento del distacco del motore destro, dopo circa 0.4sec dall'inizio degli eventi, si è avuta la prima interruzione di corrente. A questo istante, per i motivi in precedenza indicati, il motore sinistro e, quindi, il generatore sinistro, erano ancora attivi.

Il Crosstie Relay ha commutato i circuiti sulla barra sinistra con un tempo di intervento dell'ordine dei predetti 200ms (0.2sec). Durante questo intervallo di tempo, non si è avuta alimentazione sui circuiti dell'FDR e CVR.

Subito dopo il riattacco della corrente, dopo circa 0.2sec dalla prima interruzione e, quindi, dopo circa 0.6sec dall'inizio degli eventi, si è verificato il distacco del motore di sinistra per una somma di cause tra le quali il superamento del massimo valore del fattore di carico, con un ritardo di circa 0.2sec rispetto al motore di destra, può aver avuto il ruolo dominante.

Di conseguenza, tenuto conto dell'interruzione di corrente per circa 0.2sec prima del distacco del motore di sinistra, le ultime tracce registrate dall'FDR possono essere state quelle in precedenza descritte, in corrispondenza della prima interruzione della corrente e, cioè, in corrispondenza del collasso del motore di destra.

Da quanto esposto emerge quindi che la serie di eventi ipotizzata, che, ovviamente, trae origine dalla rottura dell'estremità della semiala sinistra, può aver causato sul velivolo situazioni di sovraccarico tali da determinare il possibile cedimento delle sezioni critiche.

D'altra parte, il cedimento delle sezioni critiche è congruente con la serie di eventi che possono essersi verificati a bordo del velivolo al momento dell'incidente con la relativa possibile concatenazione, come ampiamente discusso nel capitolo 2 della precedente parte VII della perizia.

Di conseguenza, 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.

Resta ora da verificare se fenomeni di interferenza in condizioni di quasi collisione possano essere tali da determinare la rottura dell'estremità della semiala sinistra”.

### **3. Considerazioni sull'effetto di interferenza in condizioni di volo di quasi collisione.**

“Il campo aerodinamico a valle di una superficie portante è caratterizzato dalla presenza di una scia vorticoso, prodotta dalla non uniformità della distribuzione di portanza sull'ala.

Particolare rilievo assume il vortice d'estremità, che ha origine in prossimità dell'estremità dell'ala, nel quale è concentrata gran parte della vorticità immessa nel campo dell'ala stessa; ciò è valido sia per ali di allungamento elevato che per ali a delta di minore allungamento.

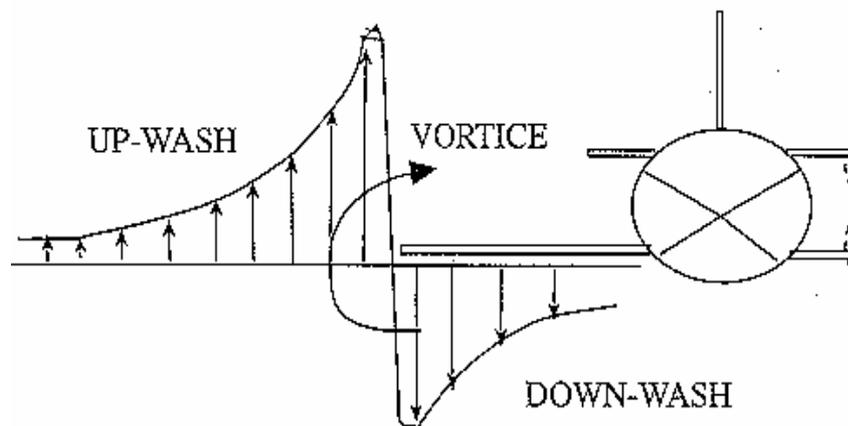
Il vortice d'estremità induce un campo di velocità analogo a quello schematizzato in fig.70-a; la velocità indotta risulta di verso opposto a destra e a sinistra del vortice; assume un valore rilevante in prossimità di esso e diminuisce con una legge di tipo iperbolico allontanandosi.

Qualora un corpo venga a trovarsi sufficientemente vicino al vortice d'estremità di una superficie portante, esso risente di un effetto di interferenza; in particolare si può pensare, in prima approssimazione, che il campo di velocità “visto” da questo corpo sia la sovrapposizione della sua velocità asintotica con il campo di velocità prodotto dal vortice d'estremità dell'altra superficie. Naturalmente ciò comporta notevoli variazioni nel campo di velocità e, quindi, nel campo di pressione e nella distribuzione dei carichi aerodinamici.

Il corpo che “subisce” l'interferenza sarà soggetto ad una “up-wash” (e quindi ad un aumento generale dei carichi) qualora si venga a trovare nella posizione A di fig.70-b, ad un “down-wash” (e quindi ad una diminuzione generale dei carichi) qualora si venga a trovare nella posizione B di fig.70-b. Nel caso in cui il corpo venga a trovarsi nella posizione individuata dalla condizione C di fig.70-b, il campo di velocità risente in parte di un “up-wash”, ed in parte di un “down-wash”, entrambi molto forti e con una brusca variazione da una condizione all'altra. In questo caso si avranno brusche variazioni di velocità, e quindi di pressione e carico

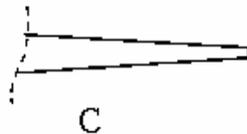
aerodinamico, in corrispondenza della sezione alare presso la quale “passa” il vortice d'estremità della superficie portante interferente.

Mediante opportuno codice di calcolo a pannelli (il codice di calcolo è stato messo a disposizione del CP dal dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Pisa) è possibile valutare gli effetti dell'interferenza e, cioè, le variazioni di carico aerodinamico su una

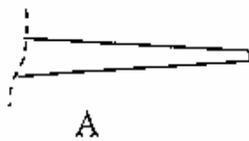
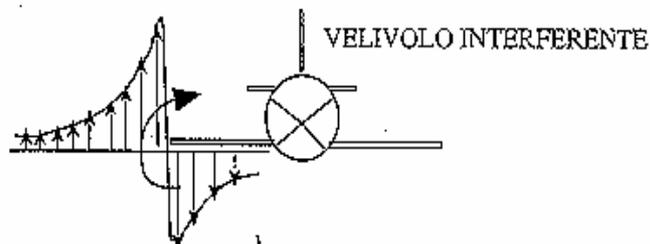


a)

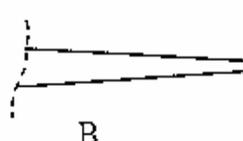
ALA SINISTRA DC9



C



A



B

b)

Fig.IX-70 - Schema del fenomeno di interferenza con diverse posizioni dell'ala del DC9

superficie portante, determinate dalla presenza di scia vorticoso generata da una seconda superficie dislocata in prossimità della prima.

Il codice di calcolo analizza la situazione di interferenza nell'ipotesi di flusso stazionario che non altera sostanzialmente l'attendibilità dei risultati anche nella ipotesi di flusso non stazionario, come è da ritenersi quello corrispondente alle condizioni di quasi collisione in esame, in quanto la situazione fisica è correttamente rappresentata.

Le condizioni non stazionarie possono solo determinare variazioni quantitative degli effetti che saranno successivamente discusse.”

#### 4. Applicazione al caso di specie.

In seguito quel collegio applicava i principi e le deduzioni sopra riportati alla caduta del DC9, utilizzando la situazione schematizzata in figura IX-71 ove si rappresentava che al momento dell'incidente un velivolo fosse passato in prossimità del DC9, in modo tale che i campi aerodinamici generati dalle superfici portanti dei due velivoli avessero potuto interferire fra di loro - come secondo velivolo veniva, a puro titolo esemplificativo, utilizzato il trittico del "Phantom".

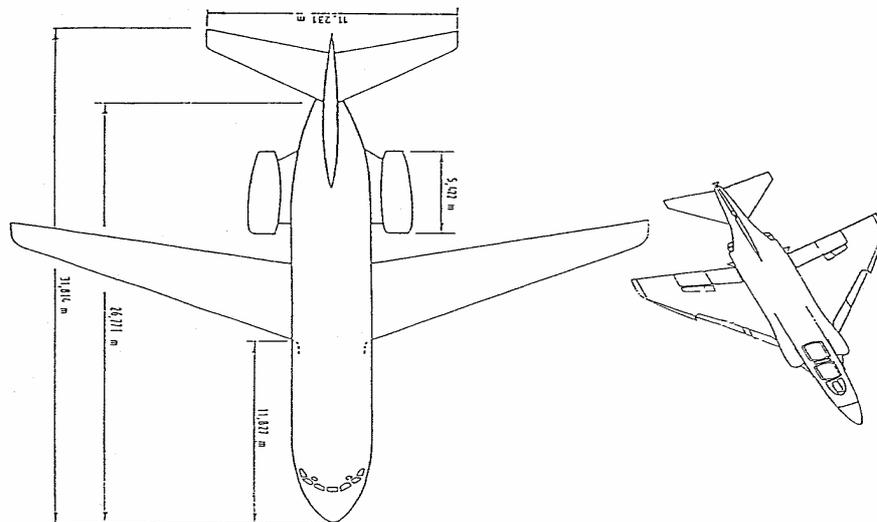


Fig.IX-71 Schema della condizione di quasi collisione

Secondo questa ipotesi, la situazione di interferenza che poteva essere generata, corrispondeva a quella indicata nello schema C di fig.IX-70, osservando come fosse inessenziale il fatto che il velivolo interferente fosse passato sopra o sotto l'ala del DC9. Con il codice di calcolo già

indicato erano quindi determinate le condizioni di carico aerodinamico sulla semiala sinistra del DC9, causate dall'effetto di interferenza. Le condizioni erano quelle del DC9, che vola alla velocità di 267m/s ad una quota di 7500m, in assetto tale da avere un coefficiente di portanza di 0.22. Venivano quindi considerate tre differenti condizioni di interferenza, delle quali due con posizione laterale del velivolo interferente a 7 e 9m dalla radice dell'ala del DC9 (distanza verticale 2m) e la terza con posizione laterale a 7m dalla radice e posizione verticale a 2 e 4m di distanza tra le due superfici.

In fig.IX-72 venivano riportate le condizioni aerodinamiche derivanti dalle diverse condizioni di interferenza considerate; figura nella quale erano riportati gli andamenti del coefficiente di portanza e del suo prodotto per la corda (carico per unità di pressione dinamica). In fig.IX-73 venivano riportate le corrispondenti caratteristiche di sollecitazione di taglio e momento flettente. In fig.IX-74 veniva riportato il dettaglio per le situazioni in cui il carico agisce in senso opposto a quello normale, secondo lo schema di fig.IX-66.

In tale figura si poteva osservare come nell'intorno della sezione di rottura - circa 8.5m dalla radice - già per distanze verticali dell'ordine dei 4m potevano aversi valori del momento flettente prossimi a quelli di collasso già calcolati - 9.87 ton x m. Per distanze verticali tra le due superfici di circa 2m si avevano momenti flettenti almeno tre volte superiori a quelli di collasso. I risultati evidenziavano come le entità delle sollecitazioni fossero fortemente dipendenti dalla distanza fra le superfici interessate.

In effetti si era osservato come l'effettiva condizione di campo aerodinamico non stazionario che caratterizzava il fenomeno in esame avrebbe potuto determinare variazioni quantitative sulla entità delle forze indotte dal fenomeno di interferenza rispetto a quelle in precedenza valutate nella ipotesi di campo stazionario.

Sul punto una analisi specifica condotta da uno dei membri del CP Misiti, secondo cui, da un punto di vista di risposta dinamica della struttura, riveste un effetto dominante il parametro  $\tau$ , che indica la durata dell'impulso aerodinamico agente sull'ala e determinato dall'effetto di interferenza. In detta analisi si verificava che per valori di  $\tau$  dell'ordine di 0.02sec, corrispondenti a valori di velocità relativa tra i due velivoli di circa 250m/s, le caratteristiche di risposta dinamica di una tipica struttura alare di velivolo da trasporto civile sarebbero state tali da far ritenere quasi impossibile una rottura della struttura stessa per effetto di interferenze. Per valori di velocità relative inferiori a quelle indicate, e quindi per valori di

parametro  $\tau$  superiori, il cedimento della struttura per effetto di interferenza potrebbe essere stato possibile.

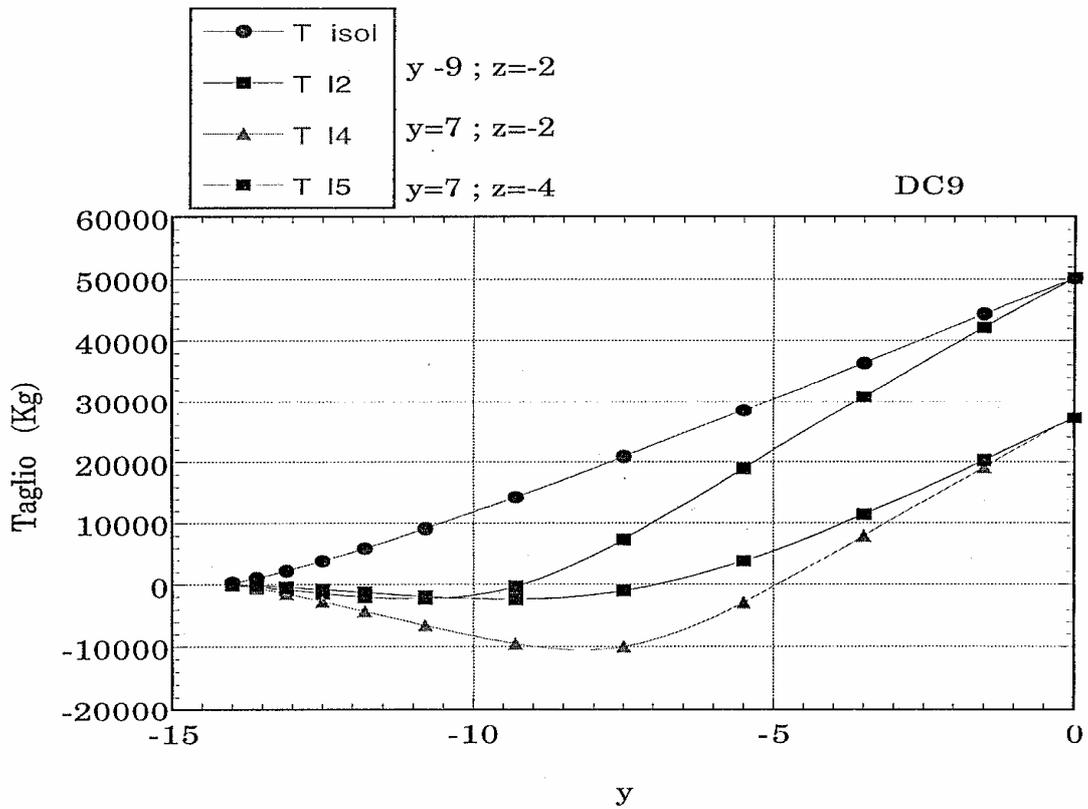


Fig.IX-73 Caratteristiche di sollecitazione di taglio e momento flettente lungo l'apertura (segne)

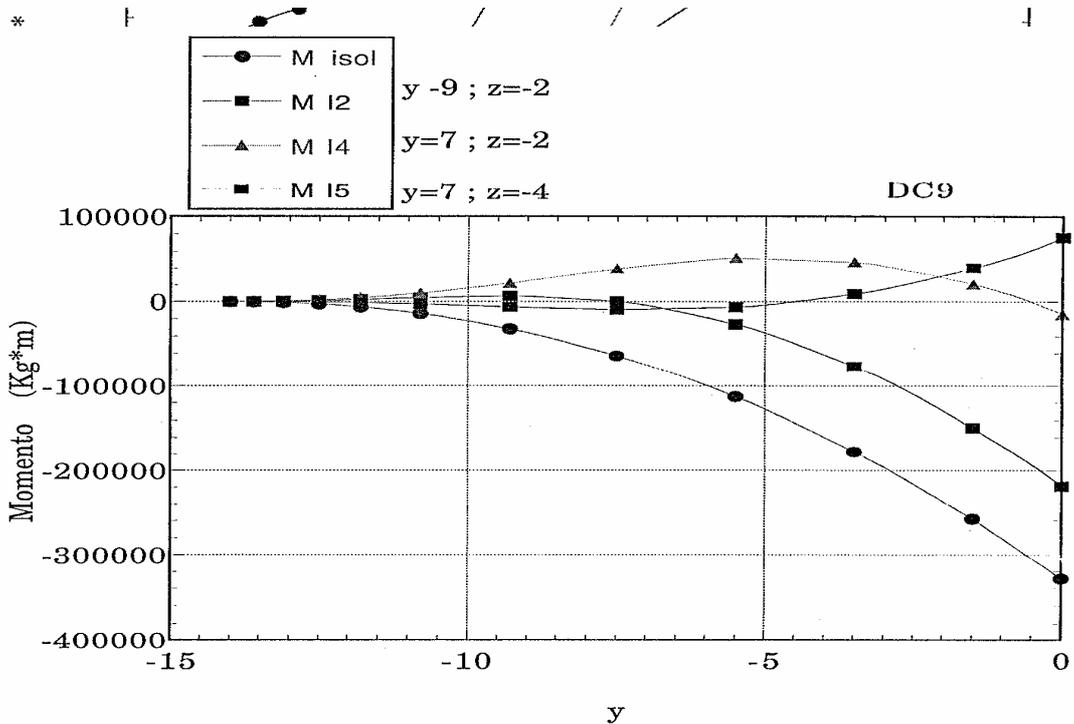


Fig.IX-73 Caratteristiche di sollecitazione di taglio e momento flettente lungo l'apertura (fine)

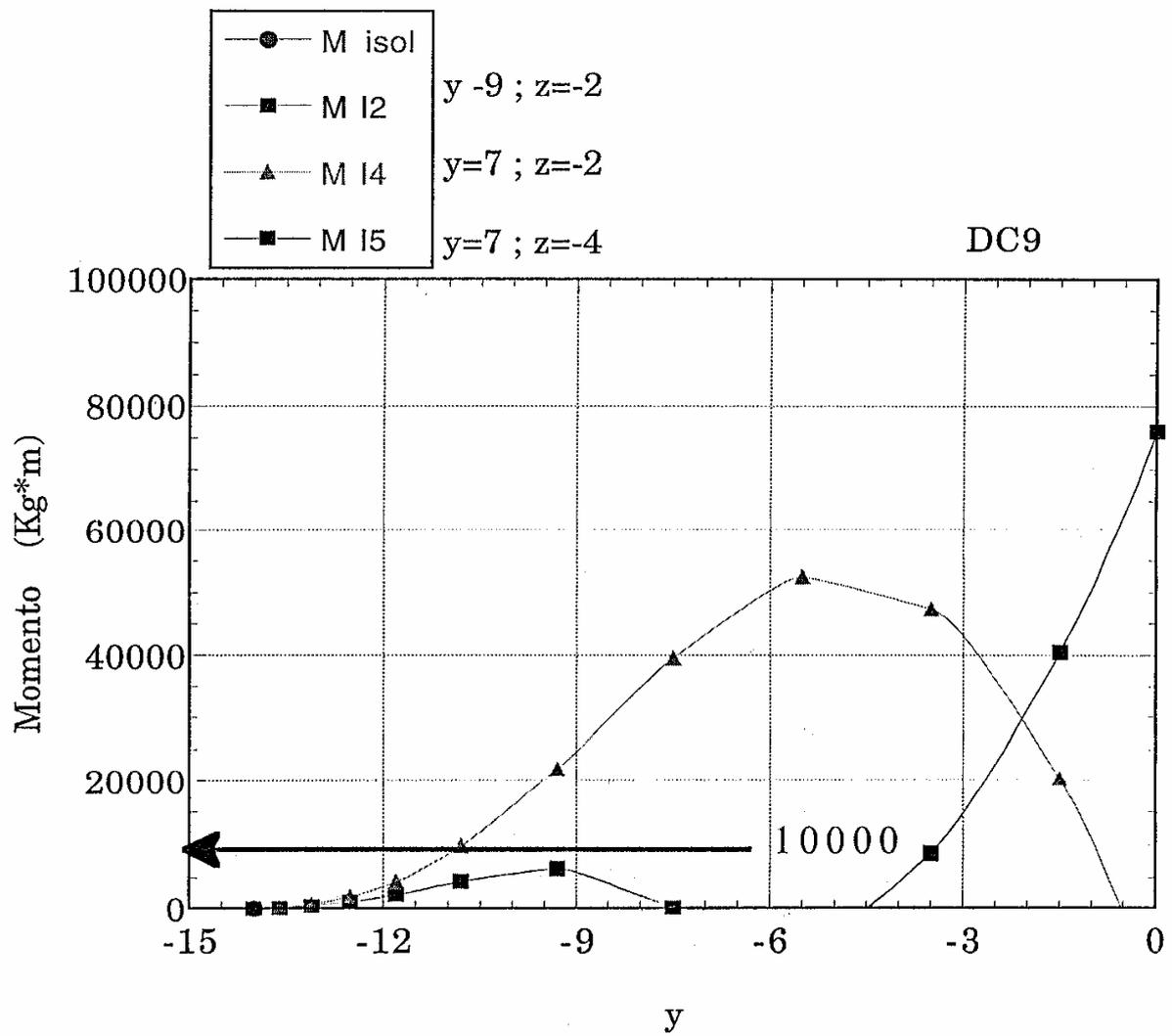


Fig.IX-74 Dettaglio del momento flettente lungo l'apertura

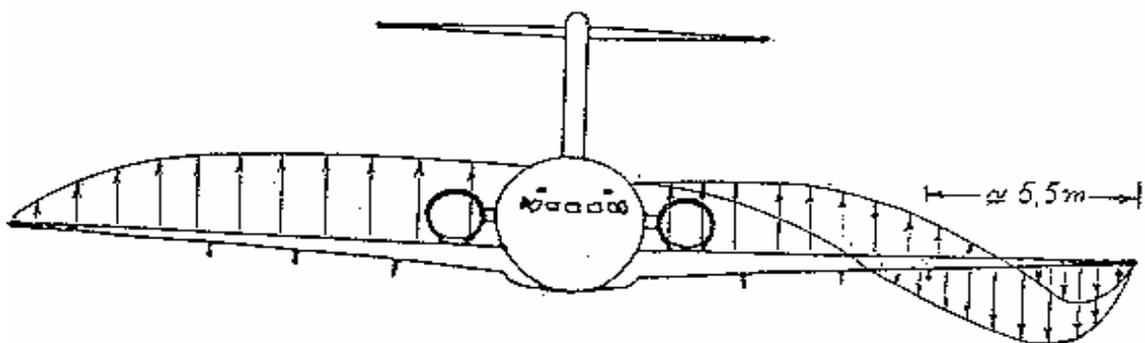


Fig.IX-66 - Tipiche distribuzioni di carico dovute ad interferenza

Nel caso ipotizzato i velivoli procedevano approssimativamente nella stessa direzione e quindi le velocità relative potevano essere molto basse, con valori del parametro  $\tau$  superiori anche di un ordine di grandezza a quanto in precedenza ipotizzato.

## **5. Le conclusioni del collegio tecnico scientifico sull'ipotesi.**

I periti così concludevano questa parte: “la possibilità di cedimento della struttura per effetto di interferenza non poteva pertanto essere esclusa, considerando sia le condizioni aerodinamiche non stazionarie sia le caratteristiche di risposta dinamica della struttura”; aggiungendo: “Per quanto in precedenza esposto, si può concludere che un fenomeno di interferenza potrebbe aver determinato la rottura dell'estremità della semiala sinistra secondo le modalità descritte nella precedente parte IV di questa perizia”.

Se ne deduceva – e qui il collegio Misiti opera come al solito; parte cioè da alcune precise affermazioni per giungere a conclusioni nettamente diverse – che un fenomeno di interferenza del tipo descritto avrebbe potuto causare la rottura dell'estremità della semiala sinistra. “Tale rottura, in aggiunta a possibili manovre di evasione avrebbe potuto successivamente innescare una serie di fenomeni aeromeccanici tali da portare il velivolo, così danneggiato, a superare i valori limite del fattore di carico, con conseguente cedimento della struttura in corrispondenza delle sezioni critiche rispetto a tali condizioni.” Ma di fronte a tali osservazioni così chiare il CP Misiti immediatamente tirava fuori dalle indagini tecniche di secondo livello l'intorno della zona toilette, ove si presentavano – si premurava di rammentare il CP – quelle particolari deformazioni ed improntature di frammenti che avevano già consentito di formulare la nota ipotesi di esplosione interna.

A questo punto il CP si proponeva, per accettare l'ipotesi della quasi collisione, di verificare se le dette deformazioni e improntature fossero compatibili con tali condizioni di volo. Riconosceva che una molteplicità di deformazioni e di improntature poteva derivare anche da eventi diversi dal fenomeno esplosivo e cioè potesse essere l'effetto delle elevate e complesse sollecitazioni che certamente avevano agito sulle varie parti della struttura, al momento del loro collasso e frammentazione in volo. Vi erano però i già più volte menzionati tre frammenti AZ534, AZ497 e AZ558, che comunque si opponevano a una soluzione del genere, perchè le loro

deformazioni ed improntature erano specificamente “consistenti” con un fenomeno esplosivo.

Già si sono esposte le critiche a questa tesi; esse valgono anche in questa sede. A dire il vero anche i periti Misiti sul punto sono cauti. Così testualmente: “la loro attribuzione – cioè delle deformazioni e delle improntature di AZ534, AZ497 e AZ558 – a fenomeni diversi richiederebbe complesse motivazioni, forse possibili, ma certamente meno evidenti ed immediate di quelle riportate nel predetto paragrafo – il 5.2.6 del capitolo precedente – (questo è particolarmente vero per i primi due paragrafi). 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 trovare immediata conferma”.

Ebbene da queste conclusioni alle conclusioni generali attraverso sei passaggi che dall’uno all’altro trasformano le affermazioni e al termine pervengono a conclusioni radicalmente antitetico a quelle di partenza. Questo l’iter: 1. l’evento è tecnicamente possibile; 2. l’ipotesi è consistente con le indagini di primo livello; 3. molti risultati – ma in verità non apparivano tanti – di secondo livello non risultano consistenti con tale ipotesi, ma la consistenza poteva forse divenire possibile attraverso complesse motivazioni; 4. la non consistenza con i predetti principali risultati delle indagini di secondo livello può ritenersi come un assai forte elemento di dubbio; 5. è evidente 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 - ma nel corso di questi commenti le discussioni si sono volte verso ben altre conclusioni - 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; 6. l’evento ipotizzato è da ritenersi come estremamente inusuale e forse unico nella storia degli incidenti aerei. E quindi, proprio per questi motivi, il CP Misiti stimava che tale ipotesi dovesse “ragionevolmente ritenersi da escludere.” Quindi dalla possibilità di “consistenza” di questa ipotesi con i risultati delle indagini di primo livello e attraverso e a causa di non immediata conferma di alcuni risultati delle indagini di secondo livello, alla sua ragionevole esclusione.

Ma il CP Misiti non si ferma qui. Alla pagina seguente, quella dedicata alle osservazioni conclusive, alla conclusione sub e) con nettezza afferma: “l’ipotesi di quasi collisione è stata rigettata”.

## **6. I documenti delle parti sulla ipotesi.**

Contro l'ipotesi della quasi collisione si sono levate le parti imputate come, ovviamente, ogni qual volta emerge una qualsiasi tesi che presuma uno scenario con presenza di uno o più velivoli oltre il DC9.

### **6.1. Gli scritti del generale Melillo.**

Primo, dopo il deposito dell'elaborato Misiti, l'imputato Melillo, che nel noto documento del novembre 94 si premura di fronteggiare una situazione che gli appare immediatamente pericolosa. Situazione derivante dallo stesso perizia Misiti che a suo parere – egli addirittura se ne duole nel primo documento a commento di quella perizia, quello del settembre 94 – ha dato ampio rilievo a questo nuovo filone di “causa esterna”, che giunge ad immaginare, sempre a suo parere, scenari irrealistici per sostenere, fortunatamente a suo giudizio senza successo, la tesi della quasi collisione. Melillo percepisce una certa solidità nelle argomentazioni dei periti Misiti e se ne preoccupa; s'accorge però del salto tra tali argomentazioni e le conclusioni, e se ne rallegra.

Situazione, si diceva, pericolosa però anche a causa dei rilievi del PM alla perizia Misiti e dei quesiti a chiarimenti a quel collegio da parte di questo Ufficio. La tesi della quasi-collisione, questa è la previsione, o il sentore, dell'imputato, se non chiarita a tutti i livelli, rischia di prendere il posto di quella del missile ed ingannare, così esplicitamente dichiara, coloro che attendono ed invocano la verità. Per impedire ciò, si ripromette di dimostrare la non verità della nuova ipotesi della quasi collisione.

A tal fine s'impegna in una critica dei calcoli della perizia Misiti sul velivolo n.2, che a parer suo non può procedere dal plot -12 al plot +1 alla velocità di mach 1.2. In un primo momento egli afferma che tale velivolo deve procedere a velocità media di oltre mach 1.3. Quindi considerate la velocità di partenza e detta velocità media nel tratto finale la velocità dovrebbe essere di molto superiore. E pertanto tenendo conto del superamento della barriera di mach 1.0, del vento a favore, della leggera virata, l'attraversamento della rotta del DC9 da parte del velivolo n.2 a parere di Melillo potrebbe avvenire ad almeno mach 1.5., velocità che, sempre secondo Melillo, alla quota di 7500 metri è già prossima al limite superiore della velocità massima dei più moderni intercettori e che certamente è una velocità critica per velivoli che nella loro configurazione comprendono serbatoi supplementari di carburanti sub-alari o ventrali. Il velivolo n.2, sempre secondo Melillo, dovrebbe portarsi dalla posizione - 12, e cioè da una posizione arretrata di circa 15-18km, in coda al DC9. Ma

non basterebbe per passare da una posizione perpendicolare alla rotta di questo velivolo civile una semplice accostata a destra, perchè in tal modo finirebbe davanti al punto dell'incidente. "Se vogliamo uno scorrimento parallelo tra i due velivoli, egli afferma – ma non si comprende il perchè di questa manovra come tutto il senso del complesso delle manovre ipotizzate e delle elucubrazioni su di esse; nde – è necessario che il velivolo n.2 effettui a partire dal plot -12 una virata a sinistra verso il DC9 fino a vederlo scorrere decisamente sulla sua destra, quindi contraccostare a destra fino ad incrociare parallelamente ed in coda la sua rotta e, infine proseguire da quella posizione per rotta parallela fino a scorrere sul fianco destro del DC9: una manovra che non trova giustificazione logica, salvo il caso in cui il pilota la effettui senza aver visto il DC9, ma in tal caso subentrerebbero altri interrogativi che vedremo dopo".

Finalmente anche lo stesso Melillo ammette la illogicità di queste manovre. Ma tutto questo per affermare che la velocità del velivolo n.2 al momento dello scorrimento parallelo al DC9 dovrebbe essere almeno a mach 1.7-1.8 e che per incrociare il DC9 con rotta parallela quel velivolo n.2 doveva essere senza serbatoi di carburante esterni, oppure doveva averli sganciati all'inizio della manovra, cioè alla posizione del plot -12 od anche prima. E per giungere infine ad asserire – supposto che il velivolo n.2 avesse raggiunto il DC9 e fosse avvenuta la sovrapposizione delle ali, questa sovrapposizione sarebbe durata solo pochissimi attimi – che il tempo di sovrapposizione dell'ala sinistra del DC9 è inferiore a 0,02sec.; tempo che lo studio di Försching, membro del collegio Misiti, ha dimostrato "essere perfettamente compatibile con l'incolumità strutturale dell'ala del DC9, anche per sovrapposizioni molto ravvicinate che l'altissima velocità rende meno probabile".

Con questa presunta manovra, non suffragata da alcun dato obiettivo, ma costruita secondo illazioni dell'imputato, che egli stesso definisce illogica, Melillo raggiunge, si fa per dire, più risultati. Che un eventuale serbatoio dovrebbe essere stato sganciato prima del -12; negare l'esistenza di un velivolo che a quella quota potesse pervenire a quella velocità; affermare che l'ala comunque sarebbe rimasta integra.

Tale ricostruzione deve però, proprio perchè carente di ogni supporto di fatto e basata su pure ipotesi di manovre illogiche, esser definita esclusivamente di fantasia. Ed analogo giudizio deve darsi sui restanti argomenti. Non solo: il gruppo dei periti d'Ufficio che si distaccò dal grosso di Misiti ed altri nella sua relazione depositata nel marzo del 95, critica fortemente questa relazione Melillo, definendola priva, per la maggior parte, di ogni rilevante significato tecnico. E ciò per un inconcepibile errore concettuale nella valutazione del numero di mach dei

velivoli, in particolare del n.2; errore che rende del tutto opinabile la maggior parte delle successive considerazioni contenute nel punto 2 di quel documento, tutte basate sui valori di numero di mach ottenuti con la predetta errata metodologia.

## **6.2. Gli scritti dell'ingegner Bazzocchi.**

Ma prima di Melillo, addirittura prima del deposito della Misiti, Bazzocchi, il quale nel suo documento datato 25.05.94, di cui già s'è detto, si era preoccupato dell'ipotesi della quasi collisione. Egli dedica allo studio di questa ipotesi un intero paragrafo, ove chiaramente fa riferimento alla presentazione effettuata dal prof.Casarosa nella riunione del 13 maggio precedente, per spiegare la rottura o flessione negativa della parte terminale dell'ala sinistra del DC9.

Di fronte alla ipotesi del detto perito d'ufficio, che aveva presunto che un velivolo da caccia fosse passato ad alta velocità, a piccolissima distanza dall'ala del DC9, Bazzocchi si premura, prima ancora che l'ipotesi prenda forma ufficiale nell'elaborato peritale, di calcolare gli effetti dell'interferenza aerodinamica tra l'ala del DC9 e l'ala del Phantom (così definito il caccia, perchè la sua sagoma richiama questo velivolo statunitense) – ma questo tipo di velivolo ritorna spesso sulla bocca di tanti protagonisti di questa vicenda: nella torre di Grosseto, nell'ACC di Ciampino, nei primi osservatori della carcassa del MiG, nelle informative dei CC. di Castelsilano, nelle esercitazioni inglesi di quel 27 giugno – come di considerare i fenomeni di aeroelasticità generati dall'interferenza aerodinamica.

In effetti Bazzocchi utilizza due metodi per dimostrare che fenomeni di interferenza non possono determinare la rottura della semiala – in questa sede si segue l'esposizione sui calcoli, compiuta dai periti d'ufficio Casarosa e Held, e il relativo commento, che preliminarmente precisano di aver usato, “per le analisi teoriche relative all'ipotesi di quasi collisione, due differenti mezzi teorici di indagine.

Il primo di esso, come già s'è detto, è il simulatore di volo disponibile presso il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Pisa sul quale sono state implementate le caratteristiche aeromeccaniche del velivolo DC9 fornite dalla Mc Donnell Douglas. Tale mezzo di indagine è stato descritto nel Cap.9.3 della parte I della perizia Misiti, nel quale sono state presentate anche alcune prove di qualificazione di esso, consistenti nel confronto tra le risposte a particolari tipi di comando

ottenute con tale mezzo e quelle fornite dalla Mc Donnell Douglas (Fig.I-7 e I-8 di perizia). La discussione dei risultati effettuata in perizia tecnica ha consentito di ritenere tale mezzo teorico perfettamente idoneo all'impiego che successivamente ne è stato fatto (Fig.IX-67÷IX-69 di perizia già riportate).

Il secondo mezzo teorico di indagine è stato il programma di calcolo aerodinamico Focas, anch'esso messo a punto presso il Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Pisa, attraverso il quale sono stati valutati gli effetti di interferenza fra i due velivoli considerati nell'ipotesi di quasi collisione e le conseguenti caratteristiche di sollecitazione sulla semiala sinistra del DC9 (Fig.IX-72÷IX-74 di perizia). Tale programma di calcolo è un programma a pannelli basato sul metodo potenziale.

In un programma di attività di ricerca svolta in collaborazione fra il predetto Dipartimento e l'Aermacchi di Varese, proprietaria del programma di calcolo utilizzato dall'ing. Bazzocchi, i risultati ottenibili con il programma Focas (in quella circostanza denominato S-Sub2) e con un analogo programma a pannelli basato sul metodo delle singolarità, disponibile presso l'Aermacchi stessa, sono stati messi a confronto con risultati sperimentali ottenuti in galleria del vento e relativi ad una complessa configurazione di velivolo.

I risultati sono riportati nel documento Icas-86-1.5.3 riportato in All.1, nel quale è ampiamente discusso come i risultati conseguibili con entrambi i programmi siano in buon accordo con i risultati sperimentali.

Casarosa e Held ritengono quindi che i mezzi teorici utilizzati per le analisi relative all'ipotesi di quasi collisione siano tecnicamente corretti, almeno quanto quelli utilizzati dall'ing. Bazzocchi.

Quanto poi ai metodi usati da Bazzocchi per dimostrare la sua ipotesi, Casarosa e Held rilevano che "il primo metodo, indicato come metodo di calcolo semplicistico, è basato sulla valutazione dell'interferenza fra i due campi di pressione generati rispettivamente dall'ala del DC9 e dall'ala del velivolo interferente.

Tale metodo, a parere di questi periti d'Ufficio, è suscettibile di alcune fondamentali critiche. In effetti, come noto, il disturbo di pressione all'interno del fluido che circonda l'ala si estende fino a dove si estende il disturbo di velocità generato dalla presenza dell'ala stessa e, cioè, a distanze dalle sue superfici inferiore e superiore dell'ordine della decina di centimetri (qualche frazione del semispessore massimo dell'ala). Tale effetto è assolutamente assente quando le due ali distano fra loro di quantità dell'ordine del metro. In caso contrario e, cioè nel caso di validità del

metodo semplicistico utilizzato dall'ing. Bazzocchi, sarebbe estremamente problematico il volo di velivoli biplani.

Il secondo metodo utilizzato dall'ing. Bazzocchi per dimostrare che non può esistere una combinazione di parametri tali da determinare la rottura della semiala sinistra per effetto di interferenza, è basato sull'impiego di un programma di calcolo a pannelli, a sua volta basato sulla soluzione dell'equazione del potenziale, concettualmente simile, pertanto al programma Focas utilizzato dagli stessi periti Casarosa e Held.

I risultati presentati nella Fig.25 del documento dell'ing.Bazzocchi, a parere dei detti Casarosa e Held contraddicono la sopraspecificata affermazione. Infatti, in perizia tecnica è stato calcolato che il cedimento dell'estremità della semiala sinistra (a 5.5m dall'estremità) può essere avvenuto a causa di un elevato valore di momento flettente "locale" che ha determinato il collasso della struttura per "crippling". Il valore di tale momento flettente "locale" è stato stimato in 9.87 ton x m.

L'esame della predetta figura consente di rilevare che in funzione delle posizioni relative fra i due velivoli da essa desumibili possono raggiungersi valori di momento flettente in corrispondenza della sezione di rottura dell'ordine di 11 ton x m, largamente superiore, quindi, a quello critico di rottura in precedenza riportato. Tale valore è raggiunto per una distanza verticale fra le due ali di 3m (non importa quale velivolo si trovi sopra e quale sotto).

In perizia sono state considerate anche distanze verticali dell'ordine dei 2m, raggiungendo valori di momento flettente "locale" di circa 20 ton x m, a dimostrazione di come il fenomeno di interferenza sia fortemente influenzato dalla distanza verticale dei due velivoli.

Infine, le osservazioni riportate al punto 2 delle conclusioni del documento in esame secondo le quali la struttura, a norma regolamentare, deve sopportare il carico di robustezza per almeno 3sec e che la rotazione in rollio del DC9 per effetto del momento indotto della perturbazione avrebbe ridotto i carichi, non possono ritenersi esenti da critiche.

La prima di esse, infatti, non può applicarsi al caso in esame perchè i carichi derivanti dall'ipotesi di quasi collisione potrebbero essere notevolmente superiori a quelli di robustezza, determinando un cedimento di natura "quasi esplosiva".

Quanto alla seconda i consulenti di parte osservano che per effetto delle asimmetrie di carico sulle due semiali del DC9 generate dall'effetto di interferenza, il velivolo può essere sottoposto ad accelerazioni di rollio con conseguente rotazione intorno all'asse di rollio stesso (asse X) ed alleggerimento degli sforzi sulla semiala interessata. Per questo motivo, essi affermano che l'analisi effettuata dal prof. Försching nella ipotesi di

ala non ruotante (rigidamente incastrata) potrebbe aver conseguito conclusioni estremamente prudenti.

Ai consulenti sono sfuggiti – rilevano i periti d'Ufficio – i motivi del predetto alleggerimento e cioè se esso debba ritenersi dipendente dai carichi inerziali che possono agire sulla semiala all'istante iniziale di applicazione del carico asimmetrico o sul successivo spostamento della semiala stessa che può allontanarsi dall'ala interferente per effetto della rotazione in rollio del velivolo. Nel dubbio essi hanno preso in considerazione entrambe le ipotesi.

Dalla Fig.IX-67 di perizia si può osservare come l'accelerazione media in rollio nei primi 0.5sec dopo l'applicazione del carico sia dell'ordine di  $0.2\text{rad/sec}^2$  e, di conseguenza, i carichi inerziali che vanno a scaricare i carichi aerodinamici sulla semiala sinistra in corrispondenza della zona di rottura sono di entità estremamente modesta, non superiore a qualche centinaio di kg. Sempre dalla stessa figura si può ancora osservare che la rotazione in rollio durante l'applicazione del carico aerodinamico per l'ipotizzato tempo di circa 0.2sec è praticamente nulla, essendo tale intervallo di tempo dello stesso ordine di grandezza del ritardo nella risposta in rollio del velivolo.

Pur tenendo conto delle approssimazioni certamente presenti nelle analisi riportate in perizia, dalle considerazioni precedenti si può dedurre che l'ipotesi di semiala libera di ruotare non può portare sostanziali modifiche ai risultati delle analisi effettuate dal prof. Försching.

Per quanto concerne poi la possibile dinamica della rottura della semiala sinistra, Casarosa e Held concordano nella sostanza con l'ipotesi formulata dall'ing. Bazzocchi, e cioè che la semiala potrebbe essersi rotta a seguito del distacco del tronco di coda, ma non con il metodo utilizzato per dimostrare tale evento.

Le osservazioni critiche che essi ritengono di dover rivolgere a tale metodo, possono articolarsi in due punti essenziali. Il primo è, a loro parere, che tale dimostrazione è inessenziale in quanto è statisticamente dimostrato e riportato anche nei manuali di investigazione per gli incidenti aerei che la rottura in volo delle superfici di coda, per qualsivoglia motivo, porta come conseguenza molto probabile la susseguente rottura di una o di entrambe le semiali, a causa delle complesse situazioni di moti e di carichi derivanti dall'evento. Questa possibilità è stata considerata anche in perizia tecnica quando è stato discusso se la rottura della semiala sinistra potesse essere considerata come evento primario o come evento secondario, successivo appunto, al distacco del tronco di coda.

Il secondo punto nel quale possono articolarsi le predette osservazioni critiche è relativo alla inadeguatezza sia dei mezzi teorici sia

dei dati iniziali utilizzati dall'ing. Bazzocchi per l'analisi del comportamento del velivolo, a seguito del distacco della coda. I periti d'Ufficio ritengono di poter avanzare le predette critiche in quanto anche nell'ambito delle indagini svolte dal collegio peritale Misiti è stato affrontato il problema della determinazione delle caratteristiche del moto del relitto susseguente al distacco della coda.

Per effettuare tale analisi è stato usato il detto simulatore di volo del Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale dell'Università di Pisa che, come descritto in perizia, è in grado di effettuare l'analisi dinamica a sei gradi di libertà con variazioni non lineari delle caratteristiche aeromeccaniche. Su tale simulatore sono state implementate, come s'è scritto, sia le caratteristiche del velivolo completo, sia le caratteristiche del sistema senza coda, fornite dalla Mc Donnell-Douglas, plausibilmente modificate per tenere conto dei danneggiamenti derivanti dal distacco del tronco di coda.

La simulazione è stata condotta ipotizzando due secondi di volo di crociera e, quindi, il distacco della coda. L'obbiettivo della simulazione era di effettuare una analisi del moto del frammento susseguente al distacco del tronco di coda ed un controllo della traiettoria seguita dal frammento stesso, tenendo conto ovviamente delle caratteristiche di vento presenti al momento dell'incidente.

Al momento dell'esecuzione della predetta analisi non era stato ancora rinvenuto il frammento dell'ala sinistra e quindi non è stato simulato il moto di rollio presumibilmente indotto da tale evento. Sono stati comunque simulati due moti di rollio, indotti rispettivamente da un comando negativo ed un comando positivo di alettoni. Il moto di rollio indotto da un comando positivo di alettone può assimilarsi a quello presumibilmente indotto dalla rottura dell'estremità della semiala sinistra.

Alcuni di questi risultati, a titolo di esempio, sono riportati nelle Fig.1÷20 del documento. Le figure 1÷2 indicano schematicamente l'andamento del fenomeno e i dati di base assunti per il frammento. Le figure 3÷6 sono relative alla simulazione effettuata in assenza di fenomeni rotatori sul frammento, e quindi, in condizioni simili a quelle ipotizzate dall'ing. Bazzocchi. Le successive figure tengono invece conto dei predetti fenomeni rotatori che potrebbero essersi originati sul frammento stesso a causa di possibili asimmetrie presenti nelle forze aerodinamiche.

Considerando la Fig.3, si può osservare come l'andamento nel tempo dell'angolo di incidenza  $\alpha$  sia, ovviamente, fortemente influenzato dall'andamento del coefficiente di momento longitudinale  $C_M$  il quale, a sua volta, dipende in modo non lineare sia dal valore del coefficiente di portanza  $C_L$ , sia dal valore del n° di mach, come schematicamente indicato

nei grafici di Fig.1÷2, tratti dalla documentazione Mc Donnell-Douglas e relativi alla configurazione ala-corpo.

Nelle condizioni di sistema ala-corpo danneggiato (privo della parte terminale della fusoliera), su tale complessa dipendenza possono esser fatte solo plausibili ipotesi, ottenendo quindi i conseguenti andamenti nel tempo dell'angolo di incidenza largamente approssimati.

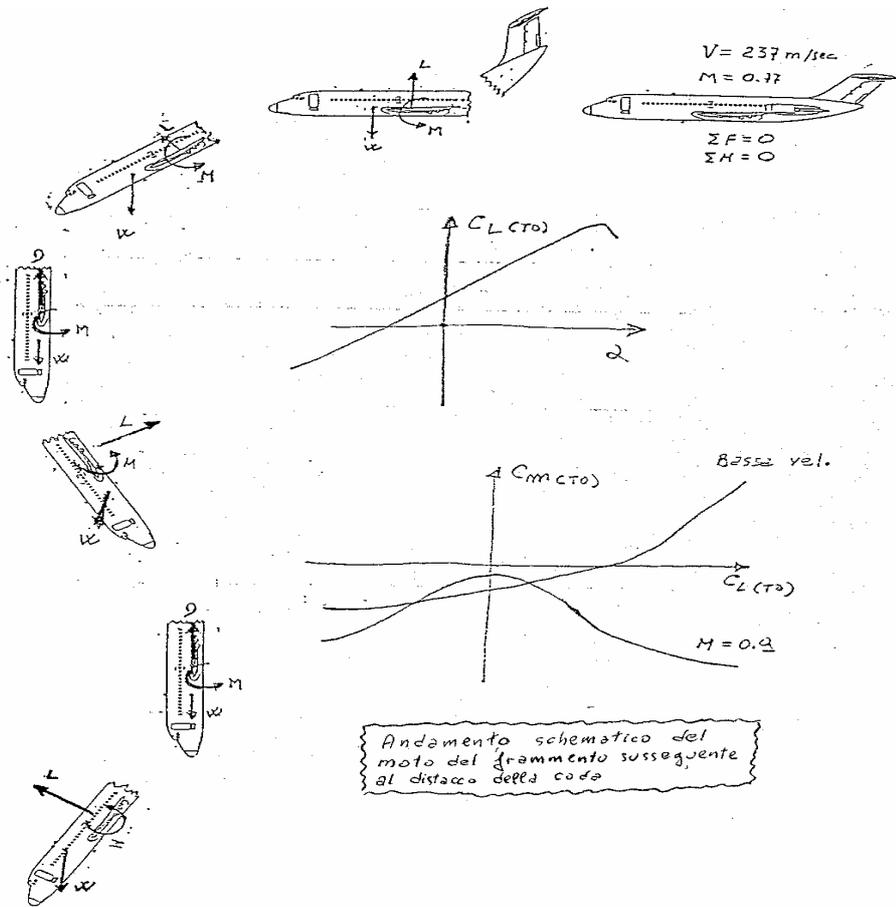
Una ulteriore considerazione può esser compiuta sui risultati relativi alla traiettoria di caduta del frammento ed alla possibile zona di impatto con la superficie del mare.

Come osservabile nelle figure 6, 13, 20, i risultati ottenuti sono stati di una estrema grossolanità. La migliore traiettoria di caduta, ottenuta con moto rotatorio di rollio del relitto in direzione sottovento (manovra n°2- Fig.20), quale potrebbe essere quello causato dalla rottura dell'estremità della semiala sinistra, avrebbe portato il frammento a cadere in una zona ben lontana dalla zona C, dove in effetti esso è stato recuperato.

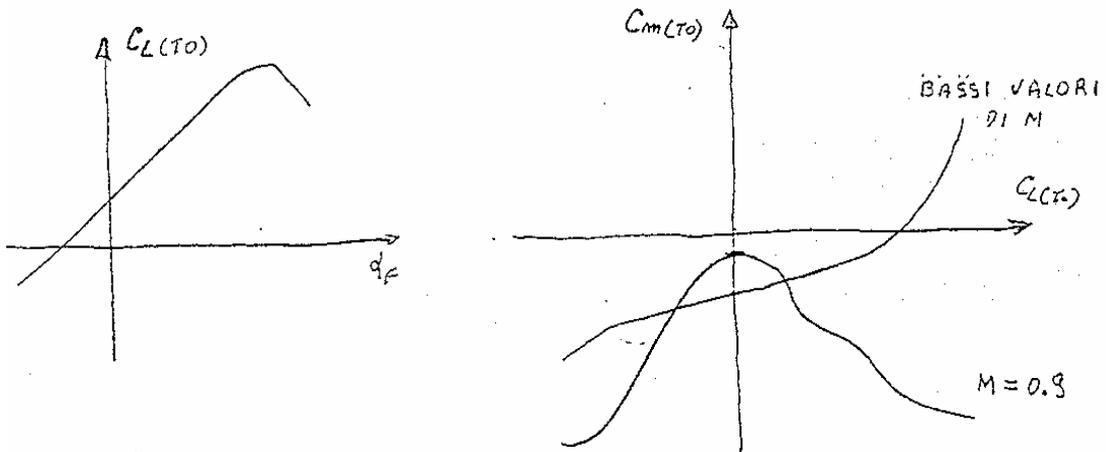
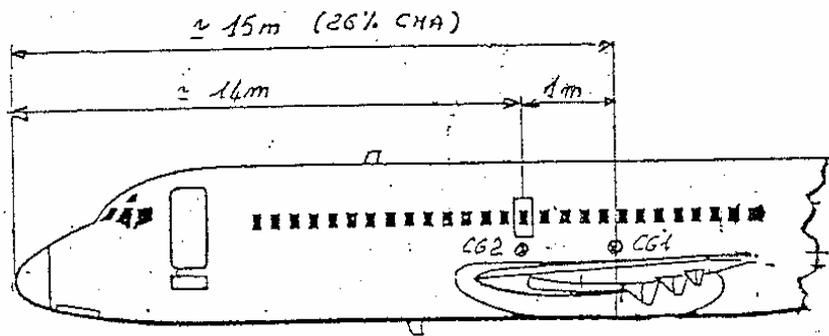
Con moto di rollio assente o di verso opposto al precedente, la traiettoria di caduta ed il punto di impatto non hanno praticamente alcuna attinenza con quelle reali (figure 6, 13).

Non è escluso che la mancanza dell'estremità della semiala sinistra, all'epoca non ancora rilevata, possa aver avuto una sua influenza, anche se, probabilmente, non determinante.

Tenendo conto sia di queste incertezze, sia del fatto che una esatta definizione della traiettoria di caduta del frammento non era essenziale ai fini della perizia, sia che la rottura totale e parziale delle semiali a seguito del distacco del tronco di coda è da ritenersi come evento tipico e, quindi, tale da non richiedere elaborate dimostrazioni, Casarosa e Held, e con essi il CP, hanno ritenuto conveniente di non riportare i predetti risultati nella perizia tecnica.



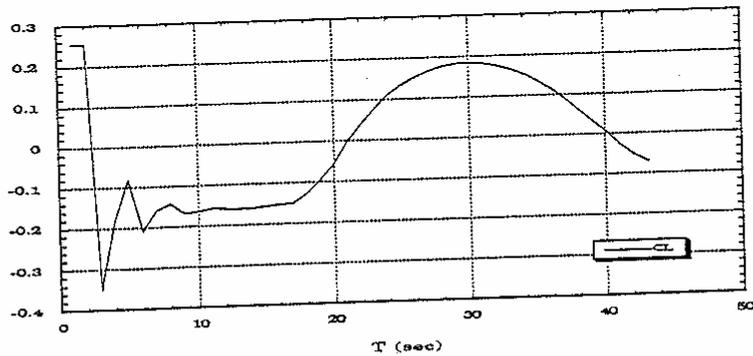
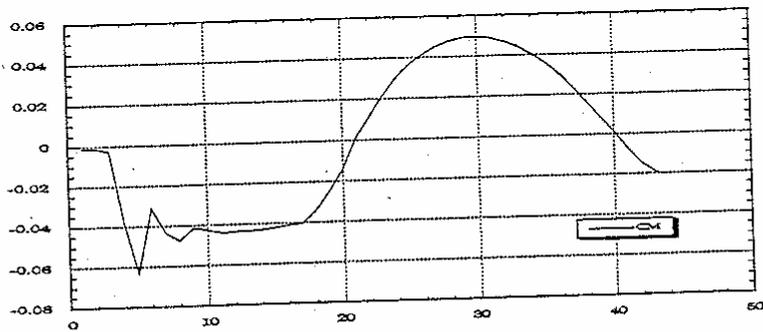
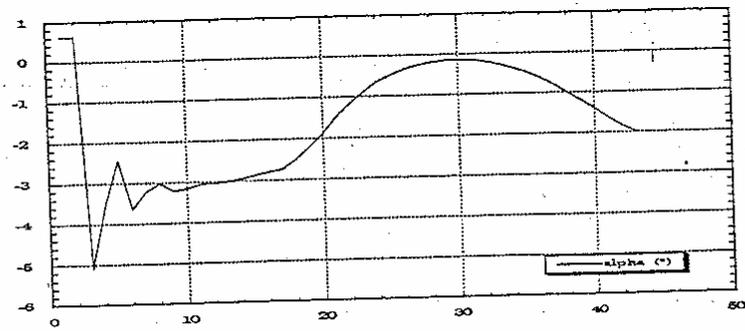
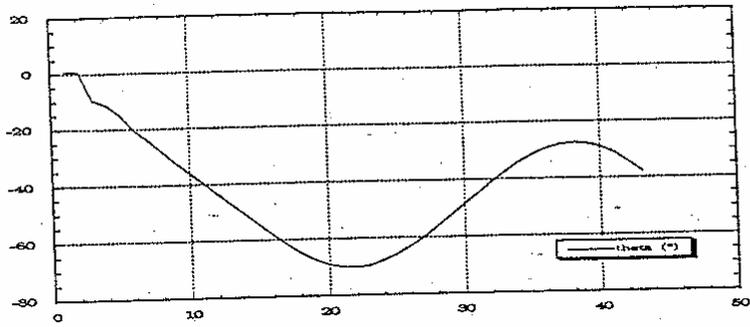
- Fig. 1 -



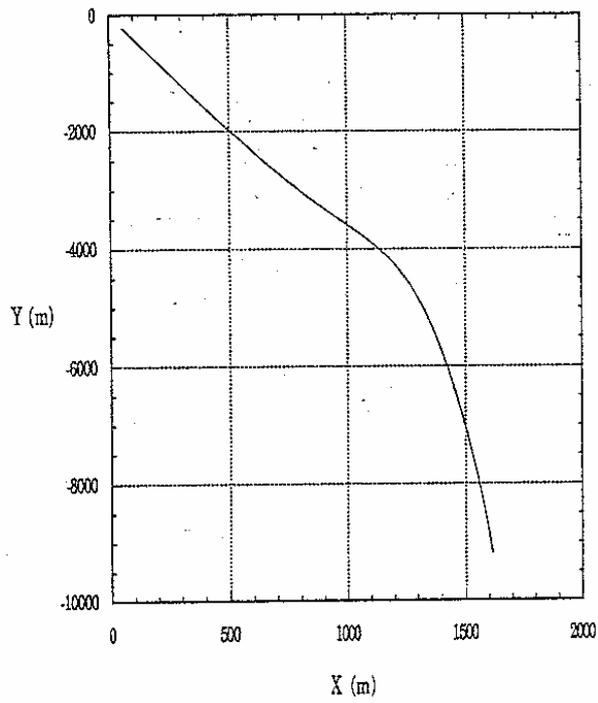
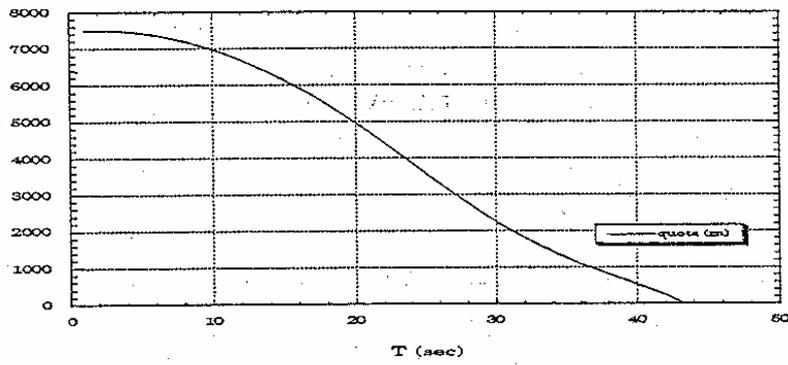
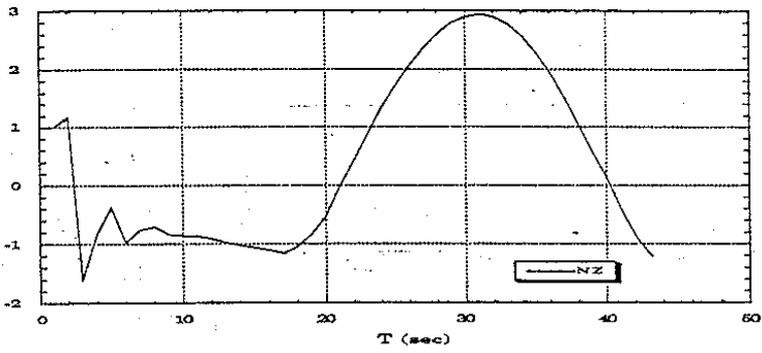
$$\begin{aligned}
 W &= 27000 \text{ Kg} \\
 S &= 86.77 \text{ m}^2 \\
 \bar{c} &= 3.59 \text{ m} \\
 I_y &= 27600 \text{ Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^2
 \end{aligned}$$

Principali caratteristiche  
del frammento

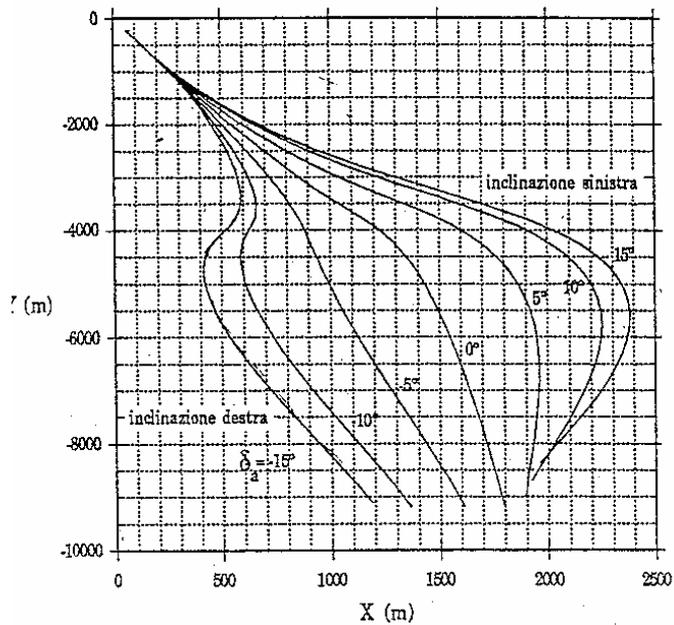
- Fig. 2 -



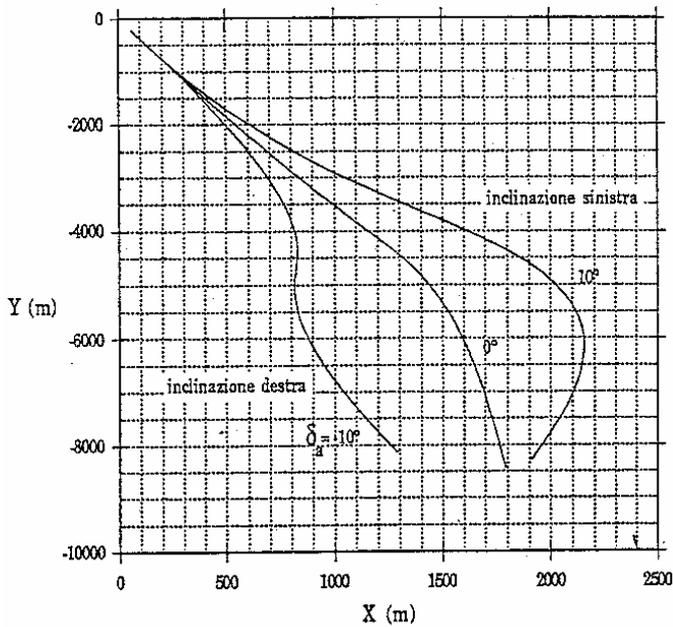
- Fig. 3 -



- Fig. 4 -

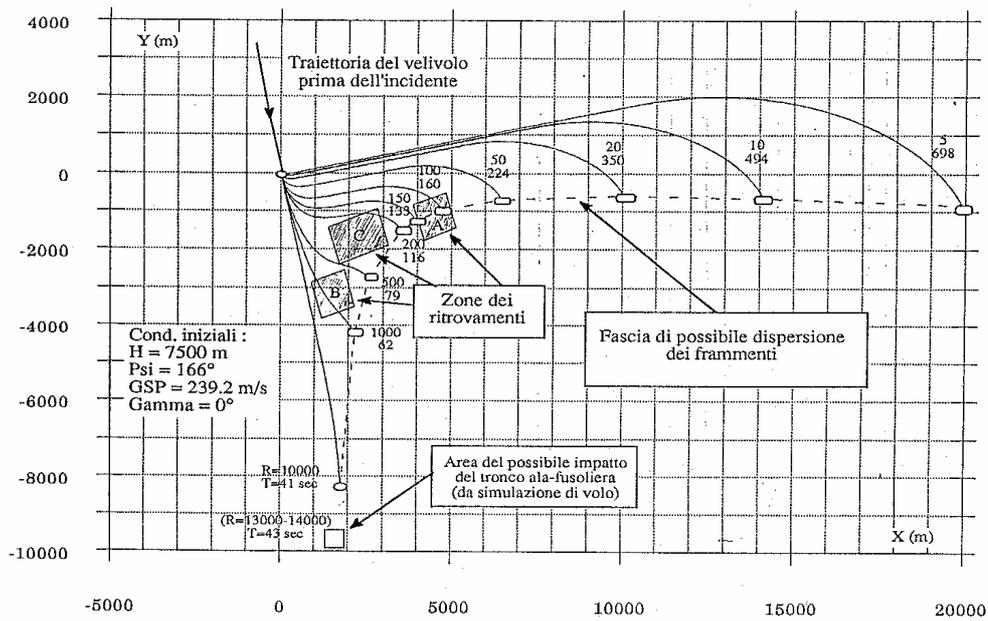


Traiettorie del frammento per diversi valori di inclinazione laterale ottenuti con impulso di alettoni. Spostamento in avanti del CG: 1.0 m

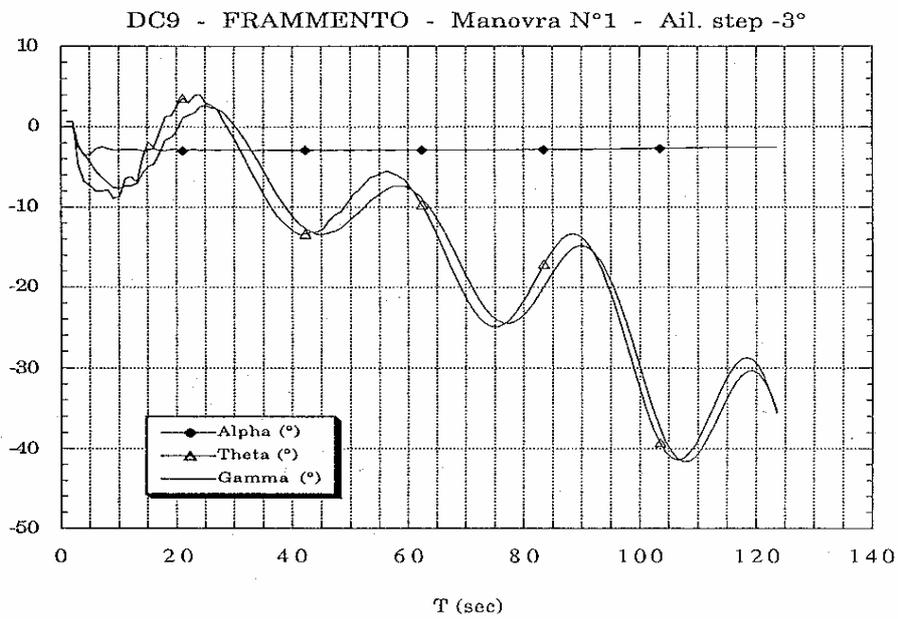


Traiettorie del frammento per diversi valori di inclinazione laterale ottenuti con impulso di alettoni (Spostamento in avanti del CG : 1.5 m)

- Fig. 5 -

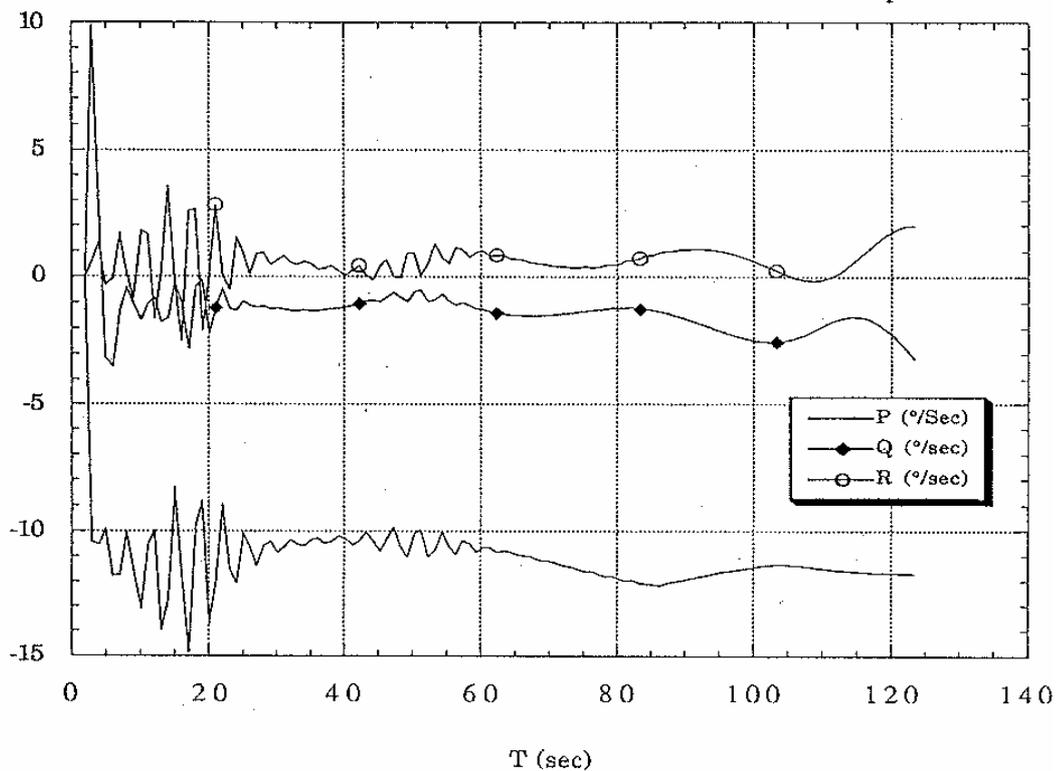


- Fig. 6 -



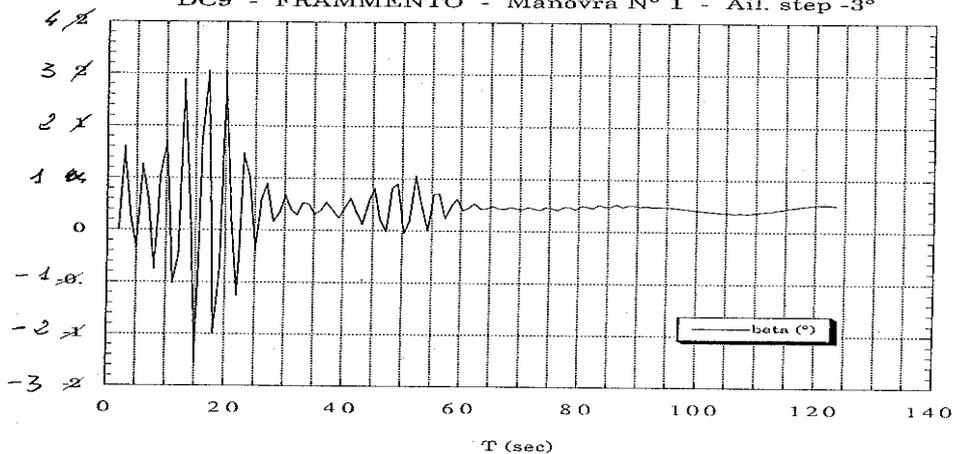
- Fig. 7 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 1 - Ail. step -3°



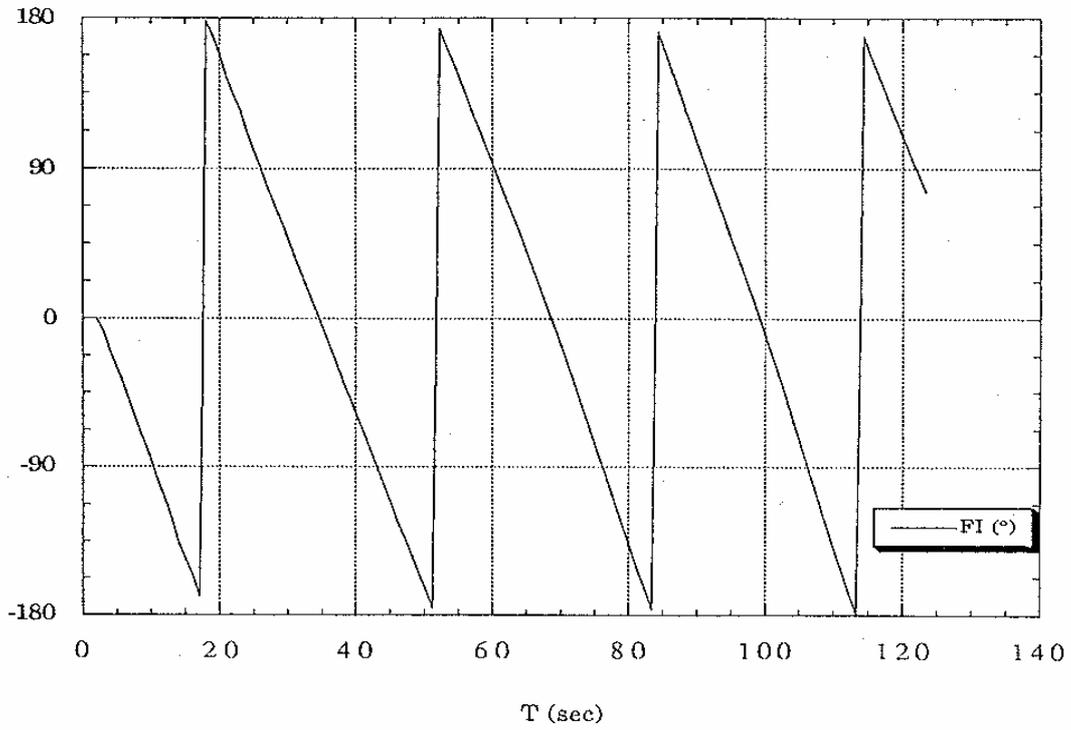
- Fig. 8 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 1 - Ail. step -3°



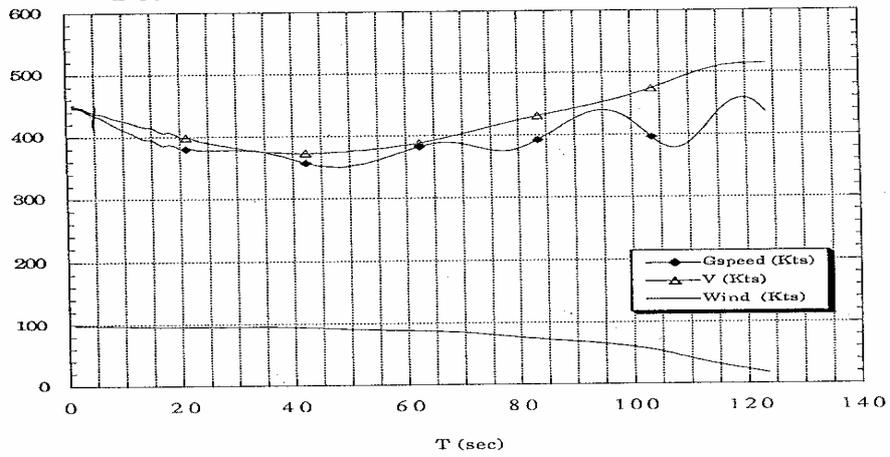
- Fig. 9 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 1 - Ail. step -3°



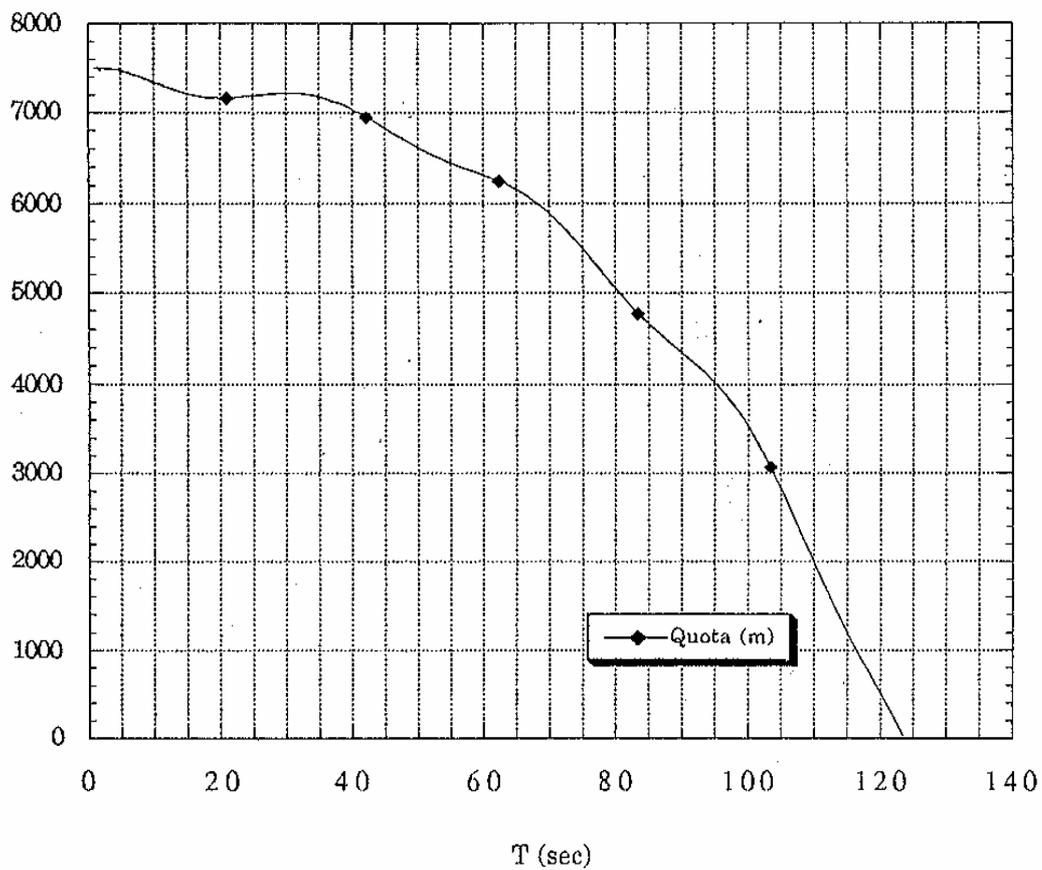
- Fig. 10 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 1 - Ail. step -3°



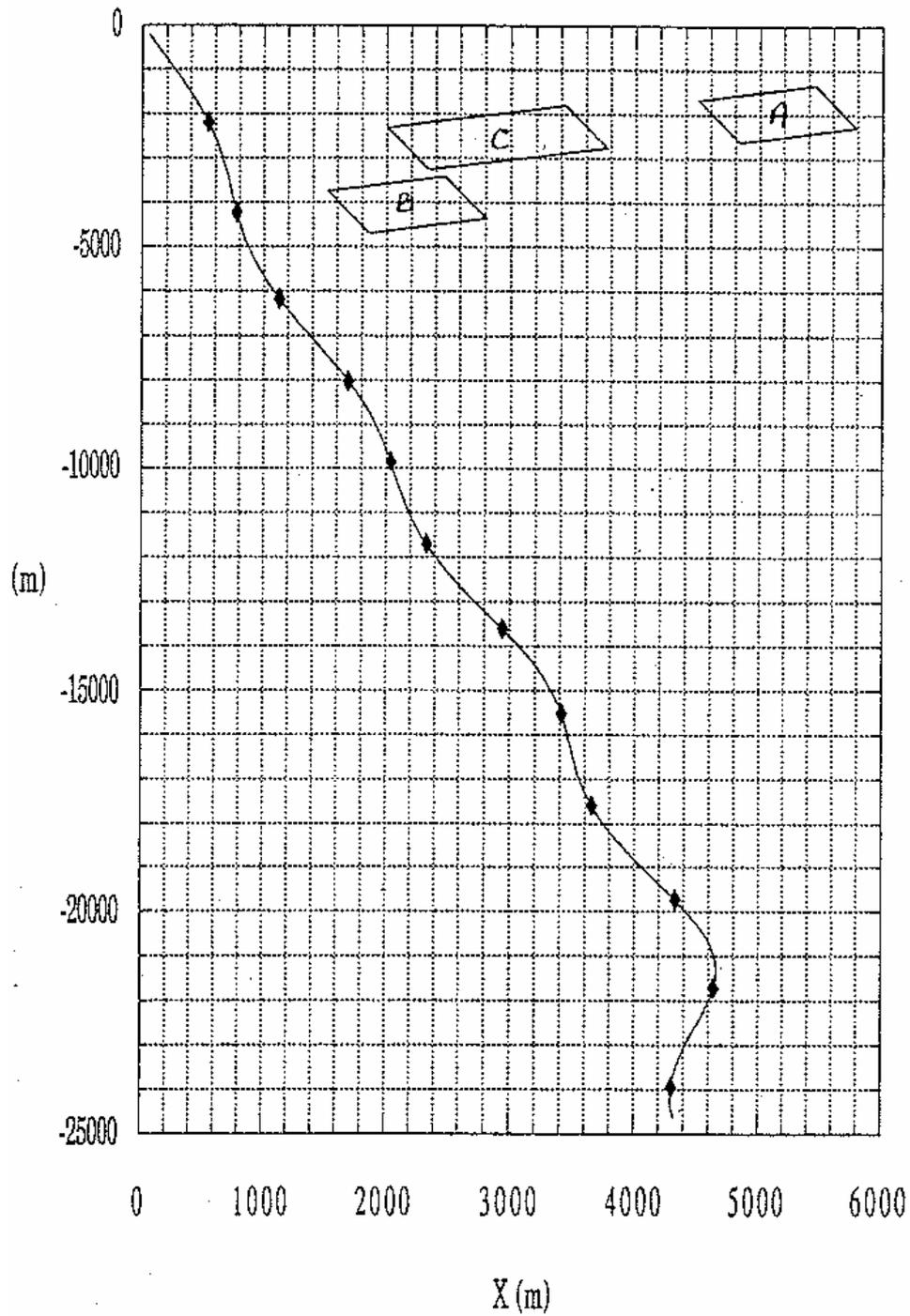
- Fig. 11 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N°1 - Ail. step  $-3^\circ$



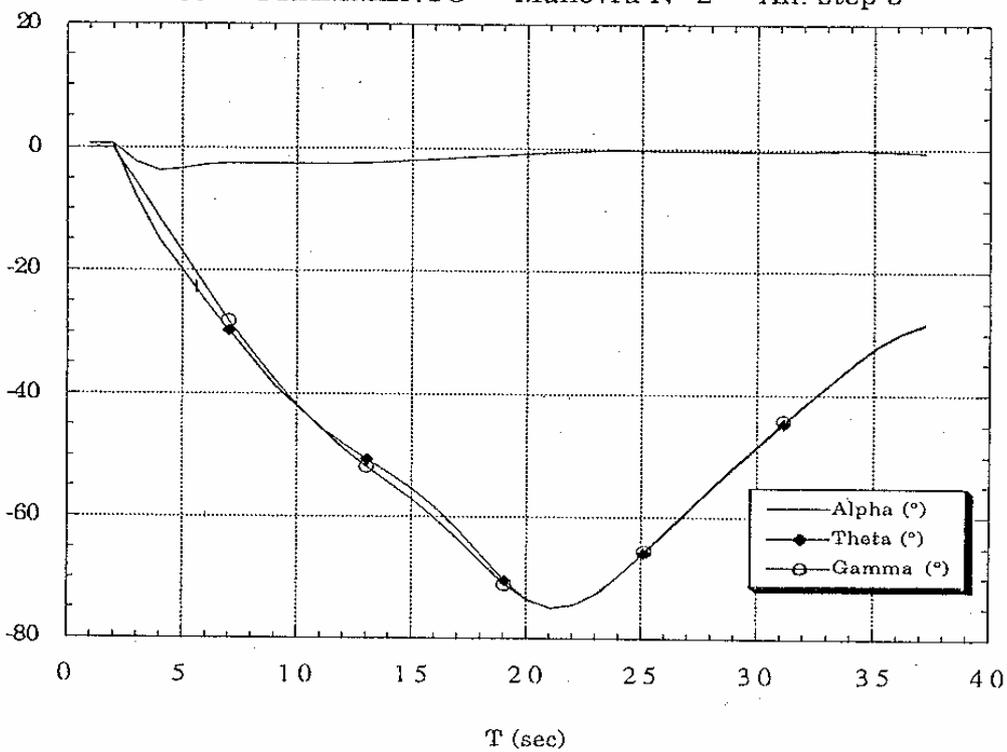
- Fig. 12 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 1 - Ail. step -3°

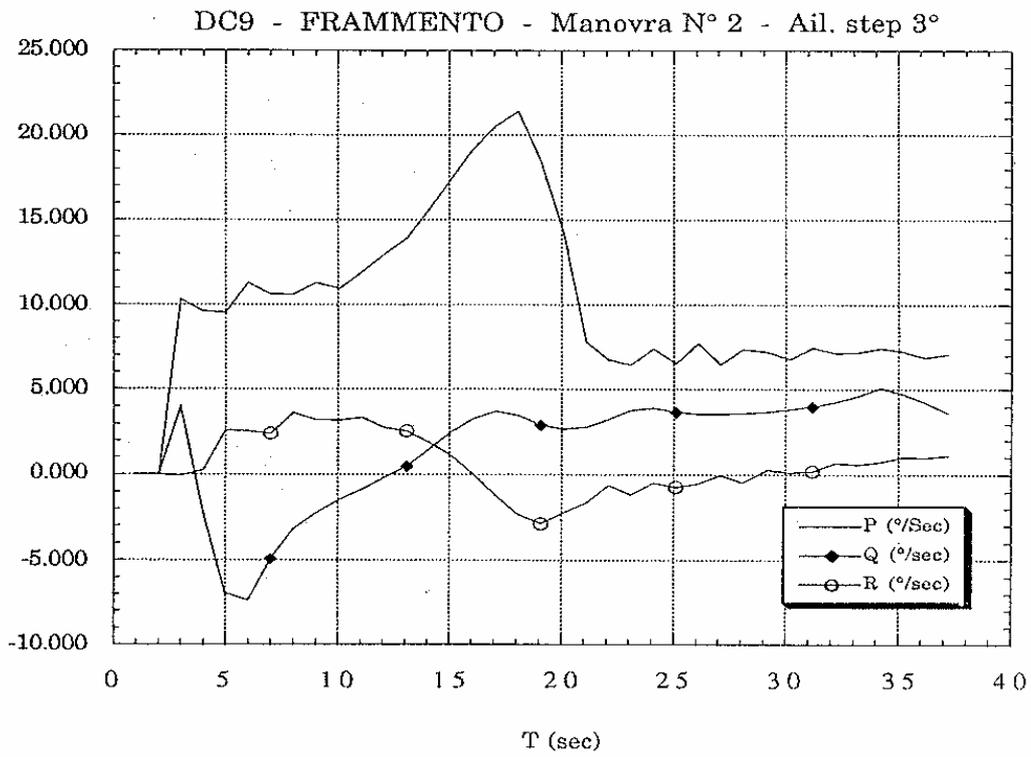


- Fig. 13 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 2 - Ail. step 3°

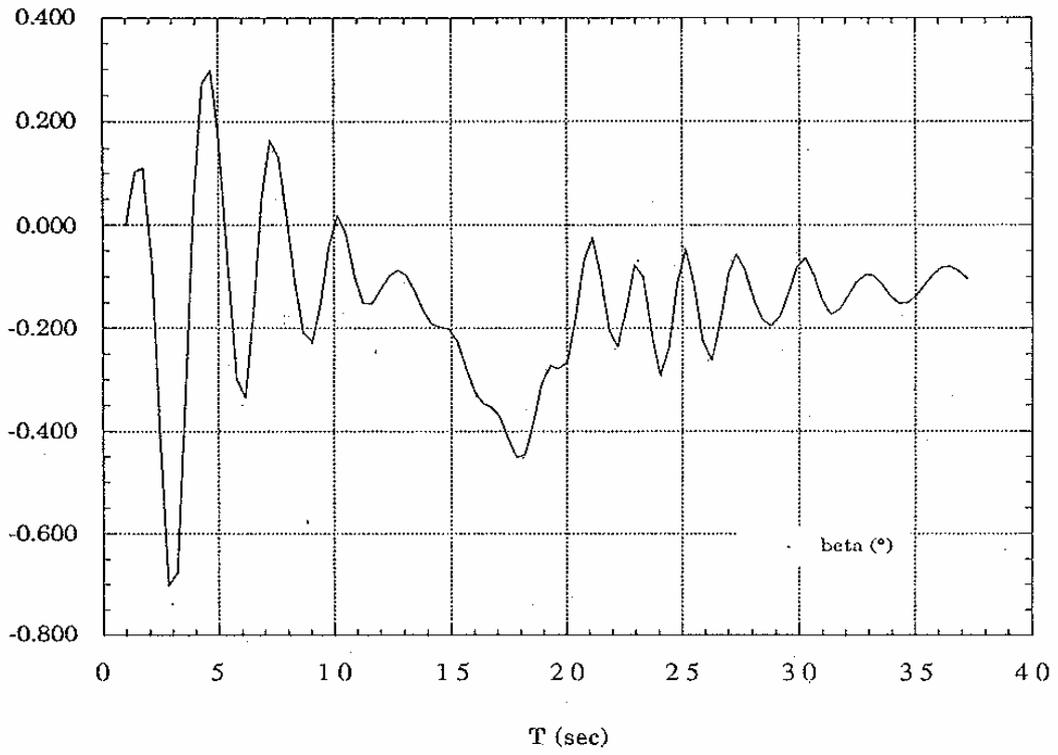


- Fig. 14 -

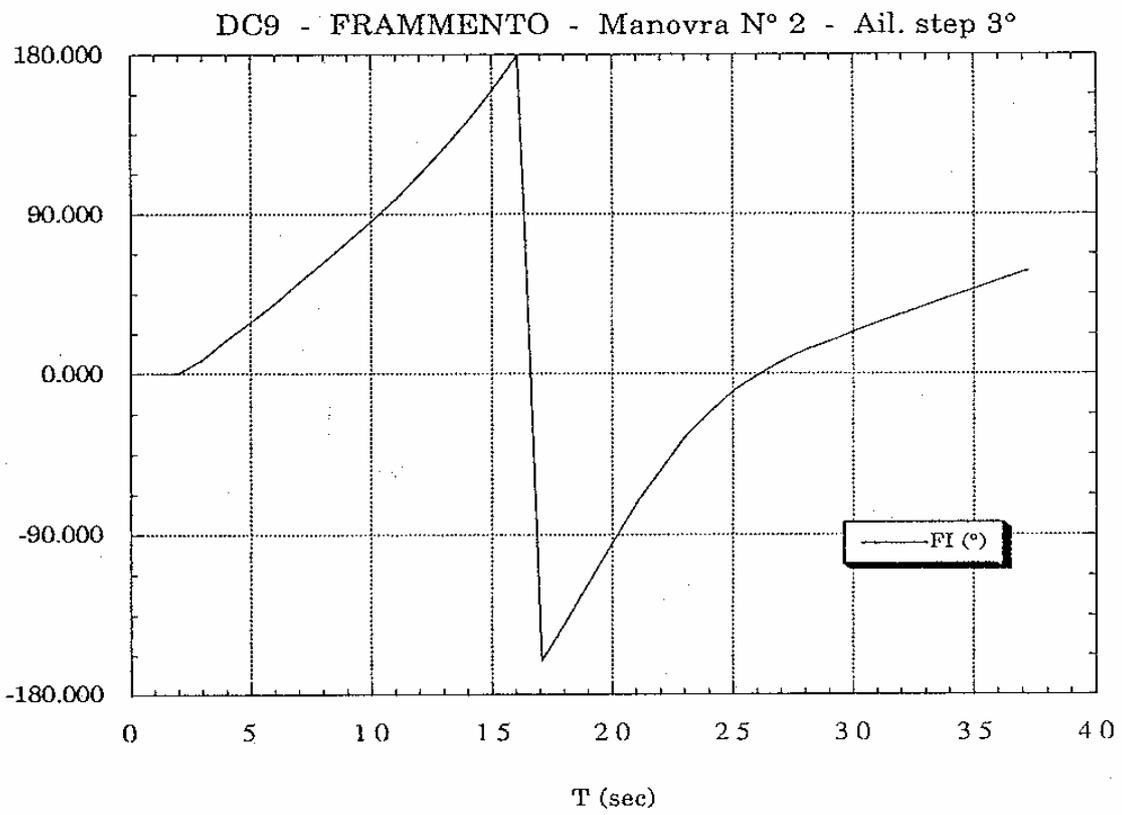


- Fig. 15 -

DC9 - FRAMMENTO - Manovra N° 2 - Ail. step 3°

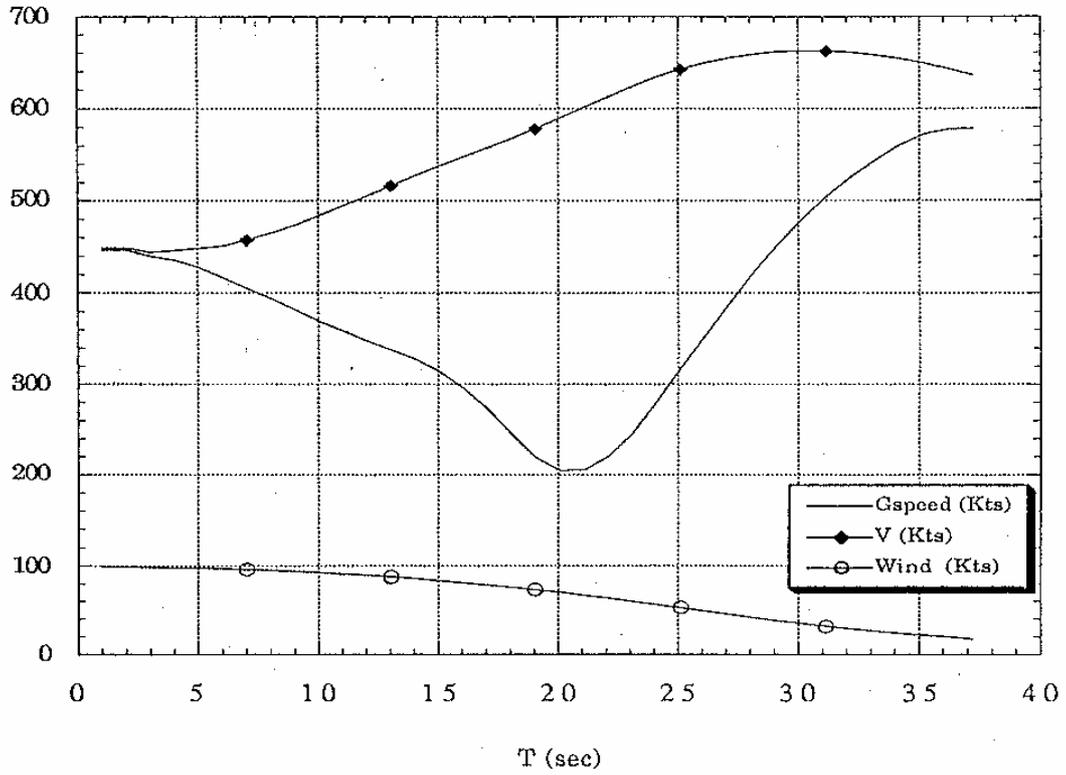


- Fig. 16 -

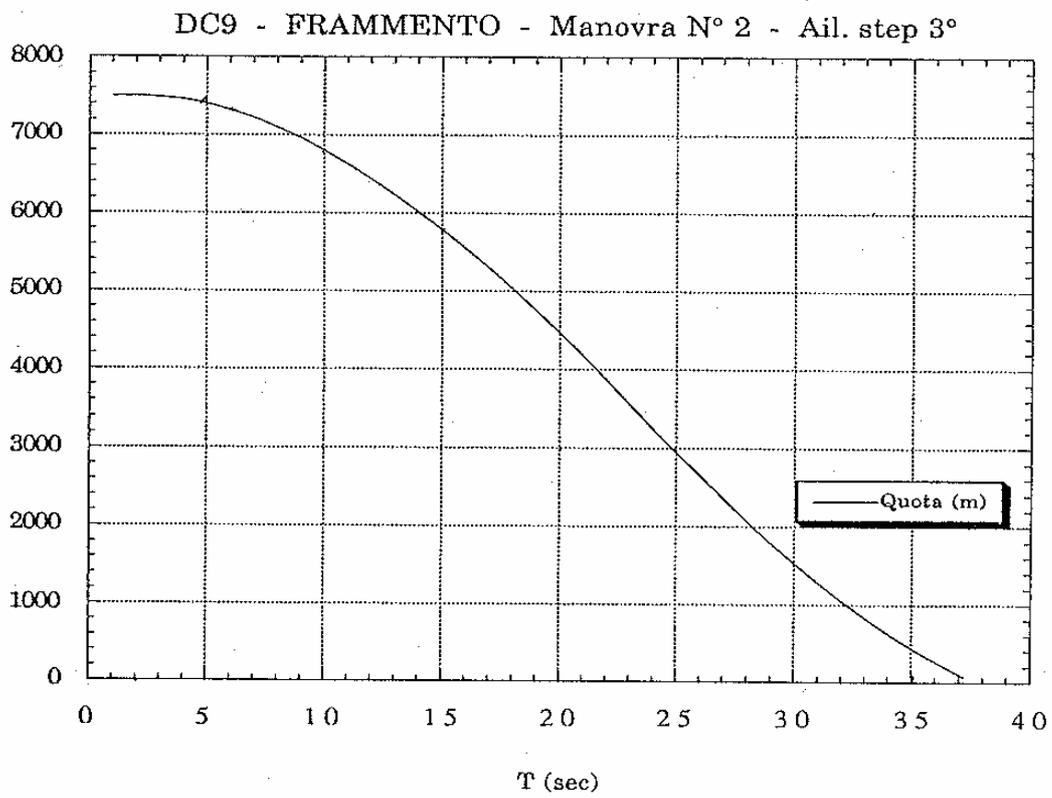


- Fig. 17 -

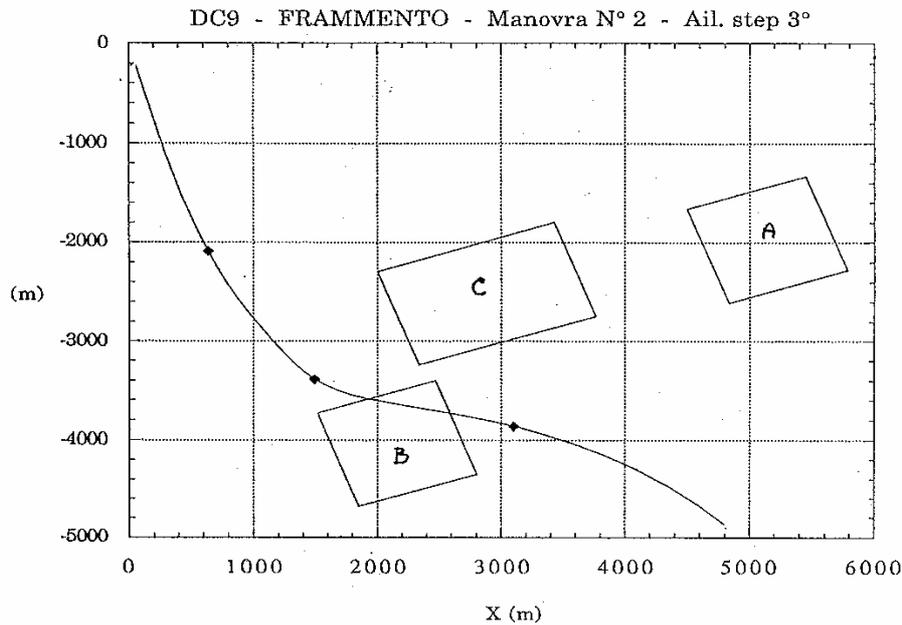
DC9 - FRAMMENTO - Manovra N°2 - Ail. step 3°



- Fig. 18 -



- Fig. 19 -



- Fig. 20 -

### 6.3. Le risposte dei periti d'ufficio.

Tutto ciò premesso quei periti d'Ufficio hanno stimato che la metodologia utilizzata dall'ing. Bazzocchi – basata inizialmente su considerazioni di equilibrio e, successivamente, su analisi dinamiche effettuate con modelli di gran lunga più schematici di quelli impiegati dal CP, utilizzando dati iniziali affetti da incertezze certamente non inferiori a quelle ipotizzate dai detti Casarosa e Held, senza tener conto dei determinanti effetti delle non linearità presenti nei coefficienti aerodinamici nè della loro sostanziale dipendenza dal n° di mach – fosse inadeguata a dimostrare la sequenza degli eventi che poteva aver condotto alla rottura della semiala.

Casarosa e Held ritengono velleitario voler apprezzare con tale metodologia angoli di incidenza del velivolo con approssimazione dell'ordine della frazione di grado, come più volte effettuato sia nell'ambito delle analisi statiche, sia nell'ambito delle analisi dinamiche compiute nel documento in esame. Occorre anche osservare che, a parere dei predetti, il sistema di equazioni differenziali riportato alla pag.28 del

Cap.12 “separazione del tratto terminale dell’ala sinistra” non può essere quello utilizzato per ricavare i risultati presentati nelle successive pagine 32÷34, in quanto in esso non sono esplicitate le mutue dipendenze fra gli angoli  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ , necessarie per risolvere il problema.

Pertanto i periti d’Ufficio ritengono che l’affermazione dei consulenti di parte secondo cui l’ing. Bazzocchi “ha dimostrato” le modalità di cedimento della semiala nel Cap.12 della sua relazione debba essere presa con molta cautela. I periti d’ufficio ritengono invece scontato, in quanto più volte verificatosi nell’ambito degli incidenti aerei, il fatto che il cedimento del tronco di coda ed il cedimento dell’estremità della semiala sinistra siano due eventi fra loro correlabili.

Il vero problema, come dettagliatamente discusso in perizia tecnica, “non è di stabilire le precise modalità con le quali tali eventi possano essersi determinati, ma quale dei due eventi possa essersi verificato per primo”.

Queste osservazioni sono fondate e quindi tolgono valore alle critiche sia di Melillo che di Bazzocchi. L’ipotesi della quasi collisione conserva la sua validità e, nell’ambito di determinate premesse cui si rimanda, può essere presa in considerazione ai fini della ricostruzione dei fatti.

#### **6.4. Il documento Casarosa-Held del 7.07.99**

Da ultimo i periti Casarosa e Held depositavano un documento a commento di quelli presentati da altri collegi di ufficio e di parte – diffusi a tutti quei collegi che ne erano interessati – ed in particolare di quello redatto dal collegio Dalle Mese-Donali-Tiberio.

Restano quindi, una volta posto un contesto complesso, solo due interpretazioni della causa prima, in esso generatasi che ha determinato l’evento. Cioè la Casarosa-Held e la Algostino-Pent-Vadacchino. Esse quasi si equivalgono per forza, - e a volte anche per presupposizioni di fatti non sufficientemente provati in positivo – delle argomentazioni. Nascono da un medesimo scenario e si concludono, attraverso un quasi coincidente break up nel medesimo evento. E potrebbero equivalersi anche sul piano giuridico – ma di questo oltre.

In effetti a seguito delle conclusioni della perizia radaristica Dalle Mese-Donali-Tiberio, completata con le risposte ai quesiti a chiarimento e l’addendum solo nel dicembre 97, i periti Casarosa e Held riprendevano in

considerazione l'ipotesi della quasi collisione e alla luce delle nuove acquisizioni dell'inchiesta ne traevano conclusioni di rilevante interesse.

In vero nella nota aggiuntiva allegata alla perizia tecnica e depositata il 23.11.94, i due periti affermavano che se ulteriori indagini compiute dall'AG avessero portato nuovi elementi, l'ipotesi di quasi collisione, come del resto ogni altra ipotesi, avrebbe dovuto essere sottoposta a riesame critico. I due periti ritengono, e di sicuro non a torto, che tale evenienza sia accaduta per effetto della perizia radaristica Dalle Mese-Donali-Tiberio, lì ove si conclude – e tale conclusione non è stata infirmata da alcuna critica, pur proveniente dalle parti imputate – che altro velivolo volasse nella scia del DC9 al fine di eludere la sorveglianza dei radar. Questo velivolo potrebbe aver dato origine al fenomeno della quasi collisione e tale ipotesi potrebbe assumere maggior consistenza.

Lo schema di Fig.VIII.10 già citata rimarrebbe valido e potrebbe indicare un'azione di riconoscimento e di intercettazione compiuta dai due velivoli n.1 e n.2 nei riguardi del velivolo sconosciuto, come già s'è detto nella rassegna dei documenti peritali; verrebbero così meno non solo i dubbi sul predetto schema, ma principalmente quelli sul tempo di esposizione dell'ala del DC9 ai fenomeni aerodinamici generati dal velivolo interferente, come nelle analisi del perito Försching. In effetti se la quasi collisione fosse stata causata dal velivolo che viaggiava di conserva con il DC9, risulterebbe maggiormente giustificabile lo schema riportato nella figura IX-71 della perizia tecnica, nel quale si era supposto che il velivolo interferente provenisse da poppa del DC9 con velocità non sostanzialmente diversa da quella del velivolo civile, determinando, proseguono Casarosa e Held, tempi di esposizione al fenomeno dell'interferenza aerodinamica compatibili con l'ipotesi di fenomeno quasi-statico considerata in perizia. Questa ipotesi risulterebbe notevolmente rafforzata se i due velivoli avessero volato di conserva per tempi lunghi, come indicato nella perizia Dalle Mese-Donali-Tiberio. Di conseguenza se si considera che il DC9 volava in quegli istanti ancora alla velocità di crociera, ad 855km/h (cioè circa 238m/sec) la velocità del velivolo interferente, che doveva superarlo da poppa, era sufficiente che raggiungesse, una velocità superiore intorno ai 900km/h. La velocità relativa  $\Delta U$  potrebbe essere stata non superiore a valori dell'ordine dei 25m/sec.

Seguendo quindi il preciso discorso del perito d'ufficio, se si indica con  $c=2.5$  m. la coda dell'ala (v. doc. Försching), il tempo  $\tau$  di durata dell'impulso di forza agente sull'ala stessa potrebbe essere stato non inferiore a valori dell'ordine di :

$$\tau = \frac{2c}{v} = 0.2\text{sec}$$

## $\Delta U$

Tale tempo di esposizione appare superiore di un ordine di grandezza a quello posto nella documentazione del perito tedesco. Infatti da questi si era supposto che i due velivoli si fossero incrociati con una velocità relativa  $\Delta U=250\text{m/sec}$  e un tempo di durata dell'impulso di carico aerodinamico  $\tau=0.02\text{sec}$ . Sulla base di questo tempo Försching aveva poi valutato che la massima deflessione dinamica dell'ala del DC9, causata dall'impulso di carico aerodinamico dovuto all'interferenza, era solo dell'ordine del 40% della deflessione dell'ala che si avrebbe applicando in modo statico lo stesso picco di carico. Tale risultato era determinato dal fatto che il tempo  $\tau=0.02\text{sec}$  era troppo breve in paragone al periodo  $T_1=0.2\text{sec}$  del primo modo proprio flessionale dell'ala. A causa di questa affermazione, continuano Casarosa e Held, dovuta al fenomeno dinamico, Försching aveva poi valutato come il momento flettente agente sull'ala non sarebbe stato sufficiente a determinare la rottura, come invece poteva ottenersi dall'analisi quasi-statica effettuata in perizia.

L'ipotesi invece che il velivolo interferente provenisse da poppa del DC9 e con una velocità solo di poco superiore, ipotesi confermata dalla perizia Dalle Mese-Donali-Tiberio, determinerebbe l'aumento del valore del tempo  $\tau$  fino a renderlo eguale al valore del periodo  $T_1$  cagionando così un picco di carico in grado di sollecitare l'ala alla prima frequenza di risonanza con conseguente possibilità di determinare addirittura una maggiore sollecitazione o overshoot rispetto al caso statico.

Anche lo stesso Försching, d'altronde nella sua nota aggiuntiva del 7 giugno 93, inviata cioè immediatamente dopo il documento del 4 giugno 93, affermava che le conclusioni di questo documento si sarebbero dovute ritenere valide solo nel caso di incrocio tra due velivoli tale da dare una differenza di velocità  $\Delta U$  compresa nel campo da subsonico a transonico, ritenendo questo possibile anche con un velivolo proveniente dai settori di poppa del DC9 purchè dotato di velocità supersonica. La drastica riduzione della differenza di velocità  $\Delta U$  fra i due velivoli come nella ipotesi sopra formulata e il conseguente forte aumento del tempo  $\tau$  rendono quindi del tutto accettabili i risultati delle analisi quasi statiche di cui in perizia, che avevano dimostrato la possibilità di rottura dell'estremità della semiala sinistra del DC9 per effetto di fenomeni di interferenza derivanti dalla quasi collisione.

A questo punto i periti d'Ufficio Casarosa e Held specificamente aggiungono che i risultati delle analisi quasi statiche esposte in perizia, hanno evidenziato la forte dipendenza dei carichi aerodinamici agenti sull'ala sinistra del DC9, a seguito della quasi collisione, dalla distanza

verticale dei due velivoli e dal fattore di carico al quale potrebbe operare il velivolo interferente. E che pertanto le opportune scelte sia del parametro  $\tau$ , sia della distanza verticale dei due velivoli, sia del fattore di carico caratterizzante il velivolo interferente, potrebbero di certo consentire l'individuazione di una condizione di carico tale da determinare la rottura dell'estremità della semiala sinistra del DC9, proprio come posto in ipotesi in perizia.

\* \* \* \* \*

**Capitolo VI**  
**La questione delle tracce di esplosivo.**

Già si è esposto, e a lungo e in dettaglio, nei commenti alla perizia Misiti, a quella chimica, alle note Casarosa-Held del 21.03.95 e alla consulenza Algostino ed altri, depositata da ultimo il 24.03 u.s. ed infine alle osservazioni Casarosa-Held del 7.07.99, sulla questione della contaminazione, proprio perchè la sua soluzione potrebbe costituire il discrimine tra un'ipotesi e l'altra, di quelle che son rimaste in piedi. Se c'è esplosivo, l'ipotesi del missile notevolmente si rafforza; se quell'esplosivo deriva da contaminazione viene a cadere uno dei più forti ostacoli all'ipotesi della quasi collisione. E in effetti i propugnatori di essa molto si sono battuti e con brillanti argomentazioni sia per sostenerla che smentire quelle avverse, come viceversa.

E' inutile riportare tutti i passaggi contenuti nei commenti alla Misiti. Lì si attribuivano – dopo aver escluso il valore delle tracce che potevano costituire evidenze di esplosione – tutte le presenze di esplosivo al concentramento degli oggetti recuperati a bordo delle unità da guerra Alpino, Orsa e Doria. Concentramento in locali di quelle navi per effetto della presenza di depositi di esplosivo non combusto sarebbe avvenuta la contaminazione. E in vero Doria, Alpino ed Orsa avevano compiuto esercitazioni di tiro qualche giorno prima delle operazioni di recupero dei relitti; tutte e tre le unità avevano in dotazione munizionamenti con cariche di scoppio contenenti miscele di TNT e T4 o soli TNT e T4. Non solo: i reperti avevano anche attraversato il locale di stivaggio dei siluri, le cui teste erano caricate con TNT e T4.

E quindi la tesi della presenza di esplosivo per effetto di contaminazione è apparsa sostenuta da tali considerazioni. Ma una verifica compiuta dalla Marina Militare, al riguardo della Vittorio Veneto – che aveva sostituito la Doria, radiata – e l'Orsa, che pur avendo effettuato attività di tiro prima dei prelievi, quasi simili a quelle di Doria e Orsa nell'80 prima delle operazioni di recupero, dava esito negativo, nel senso che non si rinveniva sulle superfici campionate dei ponti e dei locali interni, sulle motobarche, sulle mani dei marinai e sulla rete da carico “giapponese” alcuna traccia di esplosivo TNT e T4. Quei residui che si trovavano sui ponti derivavano esclusivamente dallo sparo delle munizioni, la cui polvere di lancio era composta soltanto da nitroglicerina e nitrocellulosa. L'unico campione risultato positivo, quello proveniente dal lavaggio di dieci teste di siluri MK della Veneto – 20-30 microgrammi di T4 e 2÷ microgrammi di tritolo – non sarebbe stato sufficiente a determinare, anche se per sfregamento o urto casuale su una o più teste di siluro, l'inquinamento di quel bagaglio sfregato.

Ma l'inquinamento si sarebbe potuto verificare ad opera delle saponette dei guastatori. Questi panetti, che possono essere depositati sui

ponti, contengono usualmente tritolo, anche se alcuni contengono T4. Mai però contemporaneamente entrambi gli esplosivi. D'altra parte la relazione della MM non aveva rilevato tracce di esplosivi negli ambienti in questione a bordo del Doria su tempi immediatamente precedenti il recupero.

Contro questa esclusione s'è ribattuto che le distanze di tempo tra tiri e depositi dei bagagli e tra tiri e rilievi erano diverse. Nel secondo caso i tiri erano stati effettuati molto tempo prima rispetto a quelli del primo. I termini non erano perciò comparabili e poteva perciò restare il sospetto di contaminazione.

\* \* \* \* \*

## **Capitolo VII**

### **Conclusioni.**

Appare difficile sulla base delle evidenze sin qui raccolte risolvere il contrasto tra le opposte tesi. Casarosa ed Held ritornano sulla questione ed affermano con ragionamento condivisibile che la presenza di esplosivo sul gancio non è di sostegno nè all'ipotesi di esplosione interna nè a quella di esplosione esterna, perchè comunque quel gancio si sarebbe trovato in posizione protetta a fronte di qualsiasi evento esplosivo. Nè d'altra parte erano state rinvenute tracce di esplosivo sugli elementi che lo

proteggessero. Restava un fatto inspiegabile, a meno che non derivasse da contaminazione. Lo stesso ragionamento sulle tracce di esplosivo sui bagagli, perchè essi sarebbero stati protetti sia da un'esplosione interna nella cabina che da un'esplosione esterna. Sarebbero potute derivare solo da una esplosione nella stiva dei bagagli, ma qui in vero non c'è alcuna traccia di evento esplosivo. Anche queste tracce restano perciò un fatto inspiegabile a meno che non si presuma anche per esse una contaminazione.

Ma se comunque a prescindere dai risultati dell'indagine della Marina Militare, si dovesse ritenere la contaminazione per effetto di permanenza in ambienti ov'era stato contenuto esplosivo identico o simile a quello rilevato, questa ipotesi se appare sostenibile per i bagagli, lo è difficilmente per il gancio protetto, senza esplosivo sugli elementi di protezione. Anche se si è ribattuto che la contaminazione potrebbe essere avvenuta dopo l'incidente e quindi a gancio "scoperto". E quindi s'è controbattuto che comunque nell'intorno del gancio anche "scoperto" non s'è rinvenuta alcuna traccia di esplosivo.

E quindi: o bisogna supporre che la contaminazione sia avvenuta volontariamente ad opera di un chicchessia, d'iniziativa o su mandato, ma sempre con finalità di inquinamento delle indagini; o si deve accettare quella che era stata una prima ipotesi del collegio Misiti proposta da ultimo da Algostino e gli altri, ovvero che la contaminazione possa essere avvenuta per via acqua, cioè essersi verificata dopo la caduta in mare dei relitti o degli oggetti stivati. Anche se si potrebbe sostenere, al riguardo della contaminazione intenzionale, che appare difficilmente credibile che il suo autore scegliesse un posto così strano e nascosto; a meno di non supporre che chi lo ha rinvenuto fosse stato messo sulla strada da chi ha inquinato. Ma queste sono pure supposizioni e l'inchiesta deve restare con i piedi sulla terra.

A parte però queste pure congetture, quelle formulate dai periti e consulenti restano ipotesi ben formulate ed argomentate, tecnicamente sostenibili come avrebbe detto in altri tempi il collegio tecnico, ma difettano di evidenze in concreto. La sequenza dei fatti può essere accaduta sia in un modo che nell'altro, ma non v'è prova nè dell'una nè dell'altra. Dell'esplosione esterna già s'è detto di quante condizioni abbisogni per esser definita certa. E' alla sua base una serie di possibilità non di fatti. Si deve presupporre, una volta riconosciuto, come sembra incontrovertito, che non appaiono segni di impatto di schegge, l'uso di missile con testata di alluminio e a prevalente o esclusivo effetto di blast; determinate distanze di innesco ed esplosione; una diffusione delle schegge, che comunque si formano in tal cono da non impattare sull'esterno dell'aeromobile; una

veicolazione acqua dei residui di esplosivi incombusti. Certo una situazione del genere può, anzi potrebbe con rilevante probabilità, derivare dallo scenario che si è provato. Non solo: può determinare il break up del velivolo che si è accettato.

Ma anche la quasi collisione s'è dimostrata possibile, specialmente dopo la revisione, alla luce del nuovo scenario, dei criteri di Försching. Essa potrebbe derivare da questo scenario e potrebbe determinare il detto break up. Le due ricostruzioni si differenziano solo per l'evento iniziale o l'ordine immediato dai primi eventi. In questa seconda la frattura dell'ala sinistra; nella prima il distacco del motore destro. Con tutto il seguito eguale nelle due ricostruzioni, già più volte descritte. Questa ricostruzione, quella della quasi collisione, è sostenuta, come s'è visto, dagli studi dei frattografi e degli esplosivisti. Ma è sempre ostacolata da quelle evidenze che restano: le tracce di esplosione, quelle di esplosivo, la composizione "militare" di esso, le difficoltà a spiegare la contaminazione.

Questo passaggio che manca, ovvero la certezza su di esso, non impedisce però che il bilancio delle ricerche peritali sia sommamente positivo. Si sono definitivamente escluse delle ipotesi, che avrebbero fuorviato totalmente le indagini e i risultati dell'inchiesta; s'è accertato in misura più che probabile un determinato contesto; s'è accertato un determinato break up che conferma quel contesto. In entrambe le ipotesi che rimangono in piedi, ma non hanno piena forza di farsi valere in modo esclusivo, ben si vede un determinato quadro di responsabilità che sarà sviluppato nella parte successiva.

E in questo consuntivo che solo malevoli quanto sterili polemisti potrebbero non condividere, va inserito anche il valore del recupero del relitto. Recupero che è stato richiesto a gran voce per anni da tutte le parti; sollecitato a far tempo anche dal gabinetto Craxi, Presidente della Repubblica Cossiga; realizzato con sacrifici di tempo e di pubblico denaro. Che solo dopo le delusioni sulle prove che avrebbero dovuto apportare sostegno a certe tesi desiderate, da certe parti viene assurdamente e con malanimo, mediante false asserzioni, criticato.

\* \* \* \* \*