

Capitolo LVIII
Quesiti a chiarimento Firrao ed altri - 18.03.95

Nel gennaio del 95 per effetto delle risposte ai quesiti a chiarimento nella perizia tecnico-scientifica si determinò la necessità di nuovi quesiti di carattere metallografico-frattografico all'omonimo collegio. Queste in particolare le considerazioni poste a fondamento del nuovo incarico.

“A) Considerate le richieste del PM in esito al deposito della Perizia del collegio tecnico nella parte in cui si afferma che “gli unici elementi strutturali effettivamente ritenuti dallo stesso collegio come indici di esplosione sono costituiti dai frammenti AZ534 e AZ497” (v. richieste PM, 28.09.94);

B) considerato che dalle risposte ai quesiti a chiarimento posti da questo Ufficio in data 18 ottobre 94 è emerso quanto segue:

1. documento dei proff. Casarosa ed Held:

- “gli unici frammenti le cui deformazioni possano essere attribuite con ragionevole certezza a fenomeno esplosivo sono quelli discussi nel par. 3.1 di queste note” e cioè i frammenti AZ497 e 534 (pag.3-10);

- il frammento AZ497 “presenta almeno tre caratteristiche notevoli che fanno ritenere estremamente probabile il suo coinvolgimento in un evento esplosivo” (pag.3-5);

- le deformazioni visibili sul frammento AZ534 “sono certamente congruenti con elevati livelli di pressioni che possono aver agito dall'interno della toilette e, oltre a questo, sono anche in accordo con i risultati delle prove di simulazione di esplosione effettuate dal collegio esplosivistico” (pag.3-6);

- i reperti AZ497 e 534 “rivestono un ruolo dominante per la formulazione dell'ipotesi di esplosione” (risposte specifiche ai quesiti 11 e 12 (pag.5-17);

2. documento dei proff. Misiti ed altri:

- “presi in esame i segni sul pezzo AZ497, la deformazione del pezzo in oggetto e il danno sulle altre strutture che sono intorno alla porta ventrale, è possibile dire che l'unica causa che debba essere considerata è l'effetto di una altissima pressione” (risposta al quesito 11 - pag.21);

- “le deformazioni sul reperto AZ534 e parti vicine sono indicative di una violenta onda di pressione originata da una esplosione e null'altro” (risposta al quesito 11 - pag.21);

- il reperto AZ497 “è stato esposto ad una violenta onda di pressione che non poteva aver origine se non da una esplosione che ha potuto aver luogo fra le ordinate 801 e 817” (risposta al quesito 12 - pag.22);

C) Considerato che nella perizia metallografico-frattografica si afferma che:

- sono stati sottoposti ad analisi delle deformazioni e delle rotture numerosi reperti posizionati nella zona della toilette (AZ498, AZ519,

AZ511, AZ558, AZ453) e che su questi non sono stati rinvenuti “segni di esposizione ad alta pressione od ad alta temperatura” (pag.128);

- “sui reperti AZ498, AZ519, AZ558 sono state svolte numerose e approfondite analisi metallografiche che hanno escluso deformazioni a livello microcristallino o fenomeni connessi con una ricristallizzazione” (pag.128);

- “la mancanza di microdeformazioni (nei campioni prelevati dal reperto AZ498, nota del GI) porta ad escludere che sul reperto sia arrivata un’onda di rilevante sovrappressione” (pag.38);

- le analisi metallografiche effettuate sui campioni prelevati dal reperto AZ519 hanno verificato “l’assenza di fenomeni visibili di ricristallizzazione” e che ciò “porta ad ipotizzare che non si sia superata la temperatura di ricristallizzazione (200-220°C circa)” (pag.41);

- “viene confermata l’assenza sui campioni prelevati dal reperto N.1566” (AZ558) “di fenomenologie riconducibili all’effetto di onde di pressione o di temperatura, visibili invece nelle lastre e nei lavelli sottoposti a prova di scoppio” – a cura del collegio balistico-esplosivistico, nde – (pag.107);

D) Considerato che sui reperti AZ534 e AZ497 non sono state richieste dal collegio peritale analisi frattografiche o metallografiche da svolgere a cura del collegio metallografico-frattografico o a cura di altro laboratorio.

Questo il conseguente quesito: “Accerti il collegio, compiuta ogni necessaria analisi ed operazione peritale sui reperti AZ534 e AZ497, se è possibile riscontrare su di essi segni di deformazioni a livello microcristallino o di altre fenomenologie riconducibili all’effetto di onde di pressione o di temperatura o di altre eventuali cause”.

Così tale collegio rispondeva.

1) Premessa.

L’esame metallografico richiesto sui campioni prelevati dai reperti AZ534 e AZ497, afferma il collegio Firrao-Reale-Roberti, si presenta complesso, perché deve individuare i segni di una eventuale esposizione ad onde di sovrappressione ed onde di sovratemperatura su una microstruttura che già presenta i segni derivanti dalla serie di lavorazioni e di trattamenti termici connessi con la fabbricazione del componente di cui fanno parte i reperti stessi, ai quali possono anche essere sovrapposti segni di eventuali deformazioni connesse ad altri eventi.

Segni microstrutturali di sovrappressione e di sovratemperatura.

1a) Le modificazioni microstrutturali in componenti metallici esposti ad un evento esplosivo sono in massima parte riconducibili agli effetti dell’incidenza del fronte di detonazione. Il fronte di detonazione è caratterizzato da un rapido incremento di pressione e di temperatura, oltre

che di densità. Le conseguenze a livello microstrutturale di un'onda di sovrappressione possono consistere in formazione di zone di geminazione all'interno dei cristalli, formazione di intense bande di scorrimento multiplo, con il prevalere dell'una o dell'altra morfologia in conseguenza dell'habitus cristallino (cubico a corpo centrato, cubico a facce centrate o esagonale compatto), e dell'energia dei difetti di impilamento. Nelle leghe di alluminio sono state osservate solamente bande di scorrimento multiplo. Inoltre, i fenomeni sopra descritti sono tanto più evidenti quanto più intensa è la sovrappressione ed anche quanto più la deformazione globale del componente è impedita.

La condizione di adiabaticità nello sviluppo di tali deformazioni a livello microcristallino può portare localmente a riscaldamenti. Tali riscaldamenti sono molto intensi nelle zone dove si verificano instabilità locali di taglio, alle quali vanno particolarmente soggette le leghe di Al ad alta resistenza.

La deformazione microcristallina porta ad un immagazzinamento di energia interna che rende la struttura meno stabile. L'onda di sovratemperatura trova quindi un materiale al quale si può attribuire una abbassata temperatura intrinseca di ricristallizzazione, e ne può causare più facilmente una ricristallizzazione.

A seconda della intensità della sovrappressione e della sovratemperatura la ricristallizzazione può in sequenza:

- solo iniziare in zone locali particolarmente instabili (bordi di grano ed incroci di grani);
- procedere per percentuali più o meno elevate della struttura cristallina;
- completarsi a dare una struttura totalmente a grana fine.

Se la ricristallizzazione si completa quando non si è ancora esaurita l'onda di sovrappressione, i nuovi cristalli possono ulteriormente essere sottoposti a fenomeni di geminazione o scorrimento multiplo; altrimenti nuovi cristalli si presentano esenti da tali fenomeni. Una piccola dimensione dei cristalli dopo ricristallizzazione è conseguenza del tempo ridotto di esposizione ad alta temperatura. E' da tenere presente che nel caso di esplosioni, l'impatto delle onde di sovratemperatura porta ad una asimmetria della distribuzione dei fenomeni di ricristallizzazione lungo lo spessore con aumento della loro frequenza dalla parte più vicina alla superficie esposta.

E' da notare anche che i fenomeni sopradescritti, osservabili a livello microstrutturale, possono non costituire indicazioni certe di un evento esplosivo (con combinazione di onde di sovrappressione e di sovratemperatura). Si possono infatti avere fenomeni di scorrimento multiplo e/o, talvolta, di geminazione anche durante la deformazione

plastica a freddo dei metalli. Analogamente dimensioni piccole dei cristalli o incipienti ricristallizzazioni possono derivare anche da particolari trattamenti termomeccanici o da presenza di inibitori della crescita del grano e non possono essere portate quindi come unica prova per dimostrare esposizioni ad eventi esplosivi. D'altra parte la mancanza di grani di ridotte dimensioni è una prova sicura dell'assenza dell'onda di sovratemperatura che in un'esplosione accompagna l'onda di sovrappressione. Infine, oltre agli effetti osservabili per via metallografica a livello microcristallino, si deve ricordare che in componenti soggetti all'esposizione ad un evento esplosivo, si possono avere sulle superfici laterali fenomeni di rifusione parziale dei bordi del grano (partial melting) ed altre alterazioni superficiali più estese derivanti dal lambimento di correnti di gas incandescenti (gas washing) ed, inoltre, lo sviluppo di bordi di frattura allungati ed arrotolati (rolled edges).

Segni microstrutturali di lavorazione e trattamenti termici durante la fabbricazione.

1b) La massima parte dei reperti in esame è costituita da lamiere di lega di alluminio, ottenute con più passate di laminazione intervallate da riscaldamenti di ricottura. Spesso le leghe di alluminio ad alta resistenza utilizzate per applicazioni aeronautiche sono ricoperte di un sottile strato (cladding) di alluminio puro o contenente piccole percentuali di elementi di lega, fortemente ancorato alla matrice metallica sottostante al fine di ottenere una migliore resistenza alla corrosione. La riduzione dei tempi e del numero di riscaldamenti fra i vari passaggi di laminazione, determinata dall'esigenza di non diminuire la resistenza alla corrosione, ha come conseguenza la formazione di una struttura cristallina con grani molto più allungati nella direzione di laminazione che nelle lamiere non ricoperte (perché si è ridotta o eliminata la ricristallizzazione fra e durante le passate di laminazione).

Segni derivanti da altri eventi.

1c) Se una lamiera o un profilato di lega di alluminio subiscono dopo la fabbricazione una macrodeformazione plastica a freddo, a livello microcristallino è possibile osservare segni di scorrimenti multipli, uniformemente distribuiti nel manufatto nelle zone deformate; non viene alterata la dimensione media dei grani cristallini.

2) Operazioni peritali.
Descrizione dei reperti.

I reperti in esame fanno parte della parete di separazione del vano toeletta dalla parte interna del velivolo (corridoio) e fanno anche parte della riquadratura del portellone di ingresso posteriore passeggeri; si trovano in corrispondenza dell'ordinata alla stazione 817.

Il reperto AZ534, target F40, n.1576, è essenzialmente costituito da due lamiere di lega di alluminio AA2014 con un pezzo di cerniera del portellone e con un irrigidimento, in corrispondenza di tale cerniera, in lega AA7075.

L'altro reperto, l'AZ497, target E76, n.1433, è costituito essenzialmente da lamiere di lega di alluminio AA2014 (dalla marcatura) con irrigidimenti trasversali di varia forma, dei quali alcuni potrebbero essere in lega AA7075 (a giudicare dai residui di ossidi adiacenti) ed altri sono in lega AA2024 (dalla marcatura).

Per evitare una maggiore difficoltà di interpretazione degli eventuali segni di esplosione il collegio ha deciso di prelevare campioni da zone con il minor grado visibile di macrodeformazione.

Osservazioni metallografiche sui campioni prelevati.

Il campione 2 (reperto AZ534) è stato prelevato dall'elemento di irrigidimento presente nel reperto in corrispondenza della cerniera inferiore del portellone posteriore di ingresso passeggeri e la relativa superficie lucidata ha una giacitura perpendicolare all'asse longitudinale di tale elemento di irrigidimento. Lungo lo spessore del campione osservato sono particolarmente evidenti, in corrispondenza delle superfici laterali, due sottili porzioni di colore molto chiaro, all'interno delle quali il basso ingrandimento della micrografia non consente di distinguere ulteriori elementi morfologici della microstruttura. Il resto dello spessore è invece uniformemente interessato da un orientamento preferenziale degli elementi morfologici osservabili nella direzione parallela alle superfici laterali (perpendicolare all'asse longitudinale dell'elemento di rinforzo) e da una variazione simmetrica della colorazione assunta dalla microstruttura in seguito all'attacco metallografico, con aspetto più chiaro verso le superfici laterali e più scuro al centro dello spessore. Un primo elemento che caratterizza la microstruttura del campione in osservazione è costituito dal fatto che entrambe le superfici laterali sono interessate dalla presenza di un sottile strato di materiale di aspetto sensibilmente differente rispetto alla microstruttura della rimanente parte dello spessore; in tale strato, che risulta separato dalla sottostante matrice da una interfaccia continua e regolare, non si nota, infatti, la presenza di particelle di seconda fase di colore più scuro, che invece caratterizzano il resto della matrice metallica; inoltre, in tale strato i bordi di grano, individuabili come linee sottili che separano

zone dello strato di colore leggermente differente fra loro adiacenti, hanno nella quasi totalità una giacitura tendenzialmente ortogonale rispetto all'interfaccia fra strato e matrice metallica sottostante. Tali due strati esterni corrispondono al cladding.

Un ulteriore dettaglio che appare dall'osservazione della microstruttura è costituito dalla presenza di una lieve bandosità in direzione parallela alle superfici laterali. Tale bandosità è omogenea come direzione ed intensità ed interessa in maniera maggiore o minore tutti i cristalli; e quindi da associare ad effetti correlabili con le operazioni di deformazione e plastica durante la fabbricazione del semilavorato.

Deve infine essere sottolineata l'assenza a livello della microstruttura, di bande di slittamento multiplo, all'interno dei grani cristallini, con distribuzione non omogenea delle direzioni, associabili alla esposizione del reperto ad onde di elevata sovrappressione conseguenti ad evento esplosivo. Parimenti non sono evidenti fenomeni di ricristallizzazione quali quelli che potrebbero essere associati ad un'onda di elevata sovratemperatura connessa con un'onda di sovrappressione in un evento esplosivo.

Il campione n.1 è stato prelevato dalla lamiera di cui è essenzialmente costituito il reperto AZ534, in corrispondenza della parte bassa del medesimo; tale lamiera corrisponde allo stipite del portellone posteriore passeggeri e la superficie lucidata ha una giacitura con direzione verticale.

Di esso si rileva che in alcuni cristalli uniformemente distribuiti lungo lo spessore si intravedono cenni di slittamento anche in direzione obliqua rispetto alle superfici laterali, probabilmente attribuibili alle operazioni di lavorazione plastica previste nel ciclo di fabbricazione della lamiera, anche se non si può escludere che siano state originate durante la deformazione della zona da cui il campione è stato prelevato. Deve essere, infine, sottolineata l'assenza di intense bande di slittamento all'interno dei grani cristallini con distribuzione asimmetrica lungo lo spessore, quali quelle associabili all'esposizione del reperto ad onde di elevata sovrappressione conseguenti ad un evento esplosivo. Così come non sono apparsi fenomeni di ricristallizzazione, correlabili agli effetti di un'onda di elevata sovratemperatura.

Il campione 3 (reperto AZ497) fa parte della parete destra del vano scala. La mancanza, lungo lo spessore, di una asimmetria della frequenza dei segni di slittamento all'interno dei cristalli e l'assenza di fenomeni di ricristallizzazione all'interno del campione, nonché l'analogia fra le morfologie delle due zone di cladding portano ad escludere che i fenomeni osservati siano riconducibili ad esposizione del reperto ad onde di elevata

sovrappressione e di elevata sovratemperatura connesse con un evento esplosivo.

3) Conclusioni.

- il quadro dei risultati delle osservazioni effettuate a livello microcristallino sui campioni prelevati dai reperti AZ534 e AZ497 è riconducibile al processo complessivo di fabbricazione dei manufatti dai quali i reperti stessi derivano;

- il reperto AZ534 non mostra né sull'elemento di irrigidimento posizionato in corrispondenza della cerniera inferiore del portellone posteriore ingresso passeggeri, né sulla lamiera che fa parte dello stipite del portellone posteriore, segni di deformazione a livello microcristallino o altri fenomeni riconducibili all'effetto di una esposizione ad onde di elevata sovrappressione o di elevata sovratemperatura, connesse ad un evento esplosivo a breve distanza dal reperto stesso;

- il reperto AZ497, che costituisce parte della parete destra del vano scala posteriore, non mostra sulla lamiera che ne costituisce la parte principale, segni di deformazione a livello microcristallino o altri fenomeni riconducibili all'effetto di un'esposizione ad onde di elevata sovrappressione o di elevata sovratemperatura, connesse ad un evento esplosivo a breve distanza dal reperto.

* * * * *