

# Alla ricerca di una bomba

Donato Firrao\*

SUNTO – I metalli esposti a un’esplosione possono subire macro deformazioni geometrichi o anche solamente deformazioni della microstruttura cristallina, come bande di slittamento o geminazioni meccaniche, a seconda del metallo, della massa di esplosivo e della distanza da questa a cui si trovano. Il parametro al quale si fa riferimento è la cosiddetta distanza ridotta,  $r$ , definita come:

$$r = d \cdot m^{-1/3} [\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}]$$

$m$ , massa esplodente [kg]

$d$ , distanza fra centro dell’esplodente e il bersaglio [m]

Lo stesso valore di distanza ridotta e di effetti sul bersaglio metallico si possono avere con grosse masse e grandi distanze o con masse piccole e distanze limitate. La nostra attenzione si appunterà su quest’ultimo caso in cui altre azioni che causano macro-deformazioni geometriche, intervenute dopo lo scoppio, possono nascondere gli effetti della prima esplosione. Tipico è il caso in cui un velivolo che, dopo una piccola esplosione a bordo, precipita a terra o in mare destrutturandosi per l’urto in molti pezzi. La caduta dell’aereo di Enrico Mattei a Bascapè (PV) nel 1962 rientra nello scenario sopra descritto. Essa è stata studiata molti anni dopo l’evento.

PAROLE CHIAVE – Metallo; Distanza ridotta; Esplosione; Enrico Mattei.

ABSTRACT – Metals exposed to an explosion may undergo either geometrical macro-deformations or even only crystal microstructure deformations, as slip bands or mechanical twins, depending on the metal, on the explosive mass and on the mass to target distance. The

\* Politecnico di Torino, Dipartimento di Scienza applicata e Tecnologia ([www.polito.it/dip/disat](http://www.polito.it/dip/disat)). E-mail: [donato.firrao@formerfaculty.polito.it](mailto:donato.firrao@formerfaculty.polito.it). Relazione tenuta il 21 marzo 2024.

parameter used as the one controlling the phenomena is the so-called reduced distance,  $r$ , defined as below.

$$r = d \cdot m^{-1/3} [\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3}]$$

$m$ , explosive mass [kg]

$d$ , distance from explosive mass center to target [m]

The same value of the reduced distance and the same effects on the metal target can be obtained with large masses and distances as well as small charges and limited distances. Attention will be devoted to the latter case, when actions causing geometric macro deformations may intervene after an explosion, thus hiding its effects. Typical is the case of an aircraft that, after the explosion of a small charge on board, plunges either on the sea or on ground, distributing several wrecks around. The fall of Enrico Mattei airplane at Bascapè (PV) in 1962 is an example of the above-described scenario. It was studied several years after the fall of the aircraft.

KEYWORDS – Metal; Reduced distance; Explosion; Enrico Mattei.

## INTRODUZIONE

L’esplosione di una piccola carica vicino a una lamiera di metallo può generare su di essa diversi effetti macroscopici o microscopici a seconda della distanza relativa: possono avversi deformazioni plastiche generalizzate seguite da fratture con bordi allungati e arrotolati per lo scorrimento di gas caldi sulla superficie della lamiera prospiciente la carica (Fig. 1).

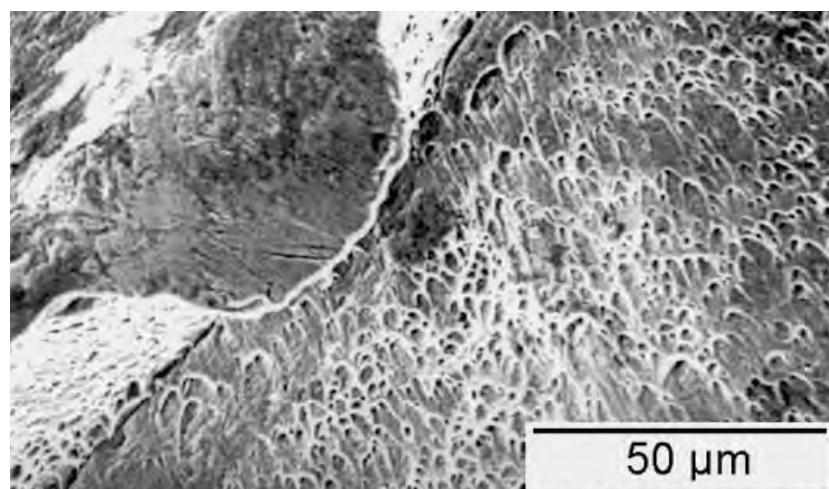
Lo stesso scorrimento di gas caldi può provocare la fusione completa della superficie del metallo o, all’aumentare della distanza, una fusione limitata parziale, localizzata prevalentemente ai bordi dei cristalli, dove la presenza di impurità abbassa il punto di fusione (Fig. 2). Inoltre, a distanze ancora maggiori, con l’abbassarsi della temperatura superficiale, lo scorrimento dei gas può portare anche solo alla formazione di ossidi superficiali. Se la temperatura non è sufficiente a portare alla fusione o all’ossidazione si possono ottenere vari gradi di ricristallizzazione del metallo.<sup>1</sup>

Infine, se l’esplosione non causa nessuno degli effetti sopra descritti, le deformazioni plastiche possono essere concentrate in zone ristrette del reticolato cristallino, quali bande di slittamento (*slip bands*) o geminati meccanici

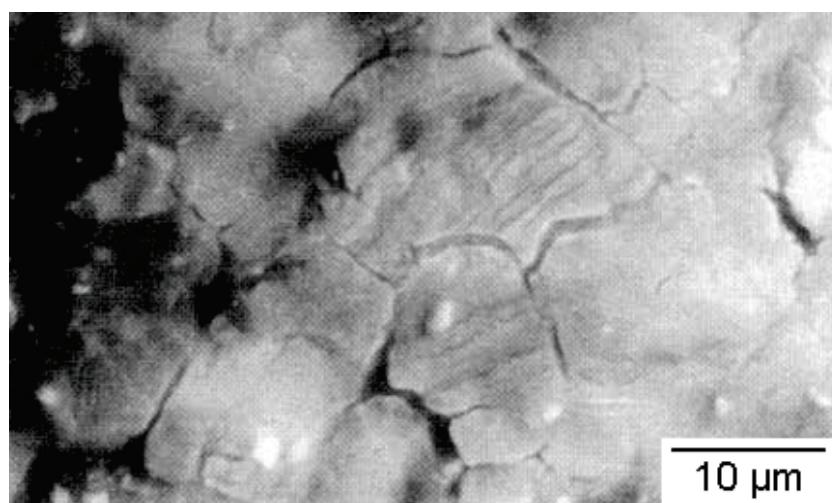
<sup>1</sup> Si ricordi che la temperatura di ricristallizzazione varia fra 1/2 e 1/3 della temperatura di fusione espressa in gradi K.

(mechanical twinning) (Firrao *et al.*, 2006). Esplicitando, si sta parlando di un'esplosione che non ha causato frattura o estese deformazioni generalizzate e neanche fusioni o ossidazioni superficiali, ma solo effetti microscopici a livello di deformazioni di alcune zone dei cristalli.

In questo caso, l'effetto dell'esplosione di una bomba con una carica limitata a bordo di un velivolo può essere celato da un altro evento che intervenga dopo l'esplosione come la caduta del velivolo stesso a terra o in mare e la sua conseguente destrutturazione in svariati pezzi.



*Fig. 1 – Bordo allungato e arrotolato in una frattura di lamiera di acciaio inox conseguente a un'esplosione. Foto dell'autore.*



*Fig. 2 – Fusione parziale della superficie di una lamiera di acciaio inox esposta a esplosione. Foto dell'autore.*

## 1. PARAMETRI CHE CONTROLLANO GLI EFFETTI DI UN'ESPLOSIONE

Abbiamo visto nel capitolo precedente che l'aumento della distanza fra un *target* di metallo e una carica esplodente porta a effetti progressivamente meno accentuati in termini di deformazione. Ovviamente lo stesso avviene quando si riduce la massa della carica che esplode. Variando la distanza carica-bersaglio e la massa della carica si ottengono pressioni differenti al variare della distanza ridotta,  $r$ , così definita:  $r = d \cdot m^{-1/3}$  [m·kg<sup>-1/3</sup>], dove  $m$  [kg] è la massa esplodente e  $d$  [m] è la distanza fra centro dell'esplodente e il bersaglio. Lo stesso valore di distanza ridotta e di effetti sul bersaglio metallico si può avere con grosse masse e grandi distanze o con masse piccole e distanze limitate. La nostra attenzione si appunterà su quest'ultimo caso in cui altre azioni che causano macro deformazioni geometriche, intervenute dopo lo scoppio, possono facilmente nascondere gli effetti della prima esplosione. Per il caso considerato, con valori bassi di  $r$  si ottengono situazioni in cui non si hanno deformazioni plastiche generalizzate, né fratture, né ossidazioni, ma solo deformazioni a livello di reticolo cristallino, come lo slittamento locale dei piani a massimo impaccamento nelle direzioni con la massima densità degli atomi. Altro fenomeno di deformazione plastica localizzata in zone limitate del reticolo è la geminazione meccanica, che corrisponde a un'inversione della sequenza di impaccamento dei piani cristallini e creazione di sequenze del tipo ABCABACBACBABC, dove il geminato è proprio la zona con sequenza di impilamento differente rispetto alla matrice. I metalli che presentano bassi valori dell'energia connessa con i difetti di impilamento sono quelli nei quali si ha più facilmente la formazione di geminati. Slittamento e geminazione sono meccanismi in concorrenza l'uno con l'altro. Senza entrare in considerazioni raffinate sulle tensioni critiche dei due tipi di difetti reticolari, deformazioni a bassa temperatura o con elevata velocità ( $de/dt$ ) portano a un movimento delle dislocazioni impedito e quindi a una maggiore possibilità di geminazione meccanica. Anche le dimensioni dei cristalli hanno un ruolo. Cristalli grandi portano anch'essi a un movimento delle dislocazioni meno facile e quindi a geminazioni piuttosto che slittamenti. Quindi, lo stesso materiale può portare a geminati con grani grossi e invece slittamenti con grani piccoli. In Fig. 3, si veda la situazione illustrata per il rame puro da Kestenbach e Meyers (1976), in cui, nel rame puro, all'aumentare della velocità di deformazione, la retta della variazione con le dimensioni dei cristalli della tensione necessaria per lo slittamento si innalza e sorpassa quella per la geminazione nel campo delle microstrutture grossolane.

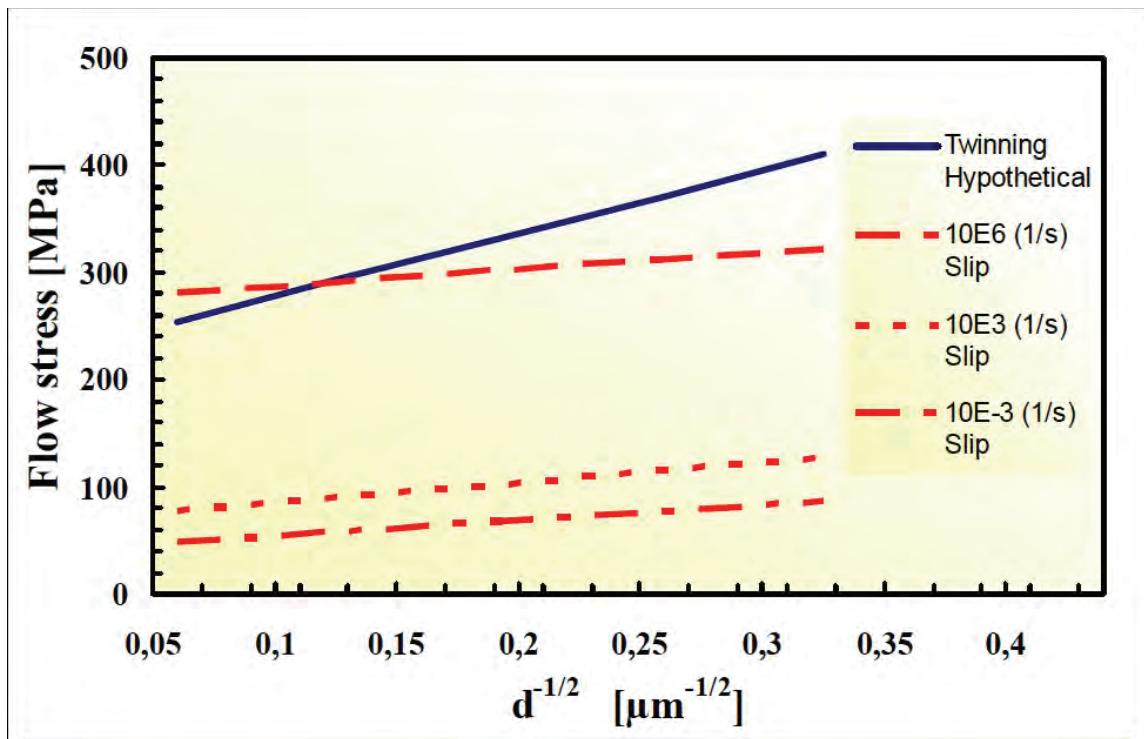


Fig. 3 – Variazione della tensione necessaria per lo slittamento con le dimensioni dei cristalli a velocità di deformazione crescenti, confrontata con quella necessaria per la geminazione. Immagine modificata dall'autore.

## 2. CASI REALI DI INCIDENTI AEREI

### 2.1. Il caso Mattei

Il 27 ottobre 1962 l'aereo che trasportava l'allora Presidente dell'ENI, Enrico Mattei, cadde in prossimità di Bascapè, in provincia di Pavia, verso le ore 19, causando la sua morte, oltre a quella del pilota Irnerio Bertuzzi e del giornalista americano, William McHale, che negli ultimi giorni si era accompagnato a Mattei per un'intervista e ritornava con lui a Milano a bordo del suo aereo, un Morane Saulnier 760 B, consegnato nuovo all'ENI nel novembre 1961 insieme a un altro esemplare (ISNAP e ISNAI). L'aereo era in prossimità dell'atterraggio, a 15 km dall'aeroporto di Milano-Linate. Alle 18.57.10 si ebbe l'ultimo contatto con il centro di controllo di Linate; dopo, nessuna comunicazione, solo la notizia che l'aereo era caduto e tutti i passeggeri erano morti.

Ipotizzando che la tragedia sia intervenuta dopo l'ultimo contatto con il controllo con l'aereo che arrivava da Catania e aveva appena completato una

manovra di correzione della rotta (*biscotto*) per abbassarsi di quota e allinearsi sul sentiero di discesa verso la pista, la caduta era avvenuta con una virata stretta, accompagnata da perdita veloce di altitudine, dapprima verso Est e continuando con una completa inversione di direzione fino a impattare il suolo con rotta Nord-Sud. Quali le cause? Due ipotesi si erano divise le spiegazioni per una tale traiettoria mortale: a) un errore del pilota; b) lo scoppio di una carica esplosiva a bordo.

Il Sostituto Procuratore di Pavia, Dottor Vincenzo Calia, aveva riaperto le indagini il 20 settembre 1994, dopo che nel giugno era arrivato alla Procura un breve verbale da Caltanissetta nel quale un “pentito” di mafia raccontava di aver saputo che nel 1962 Enrico Mattei era stato ucciso con una bomba piazzata sul suo aereo per un accordo fra Cosa Nostra e gli americani.

Egli, dopo aver svolto varie indagini e aver raccolto alcuni pezzi derivanti dall’incidente, affidò all’allora Capitano dei Carabinieri Giovanni Delogu e allo scrivente, Professor Donato Firrao, il quesito: «Esaminati i reperti D ed E C.R. 3150, dica il consulente se sugli stessi siano rilevabili tracce riconducibili a esplosione».

Il reperto C.R. 3150 era uno strumento (indicatore triplo), originariamente posizionato all’estremità sinistra del cruscotto dell’aereo sul quale viaggiava Mattei, con il suo contenitore e le viti in acciaio inossidabile austenitico che lo fissavano alla plancia (Fig. 4).

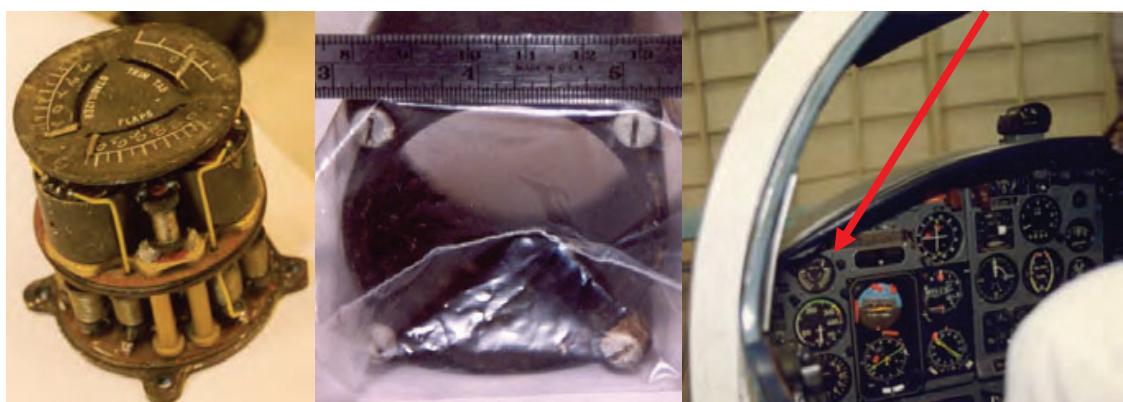


Fig. 4 – Indicatore triplo con il suo contenitore e le viti in acciaio inox e la sua posizione sul cruscotto. Foto dell’autore.

Sulle viti è stato condotto un accertamento sperimentale con l’aiuto del Professor Graziano Ubertalli del Politecnico di Torino, per verificare l’eventuale presenza di segni di esplosione, quali microgeminati meccanici. Questi sono stati individuati sulla superficie della testa di una vite (Fig. 5), meno fitti mentre si va verso l’estremità, e assenti sotto la superficie.

Inoltre un piccolo geminato meccanico è stato evidenziato sull'anello di Mattei, in oro a 18 carati, trovato ancora infilato in un dito della mano sinistra (Fig. 6).

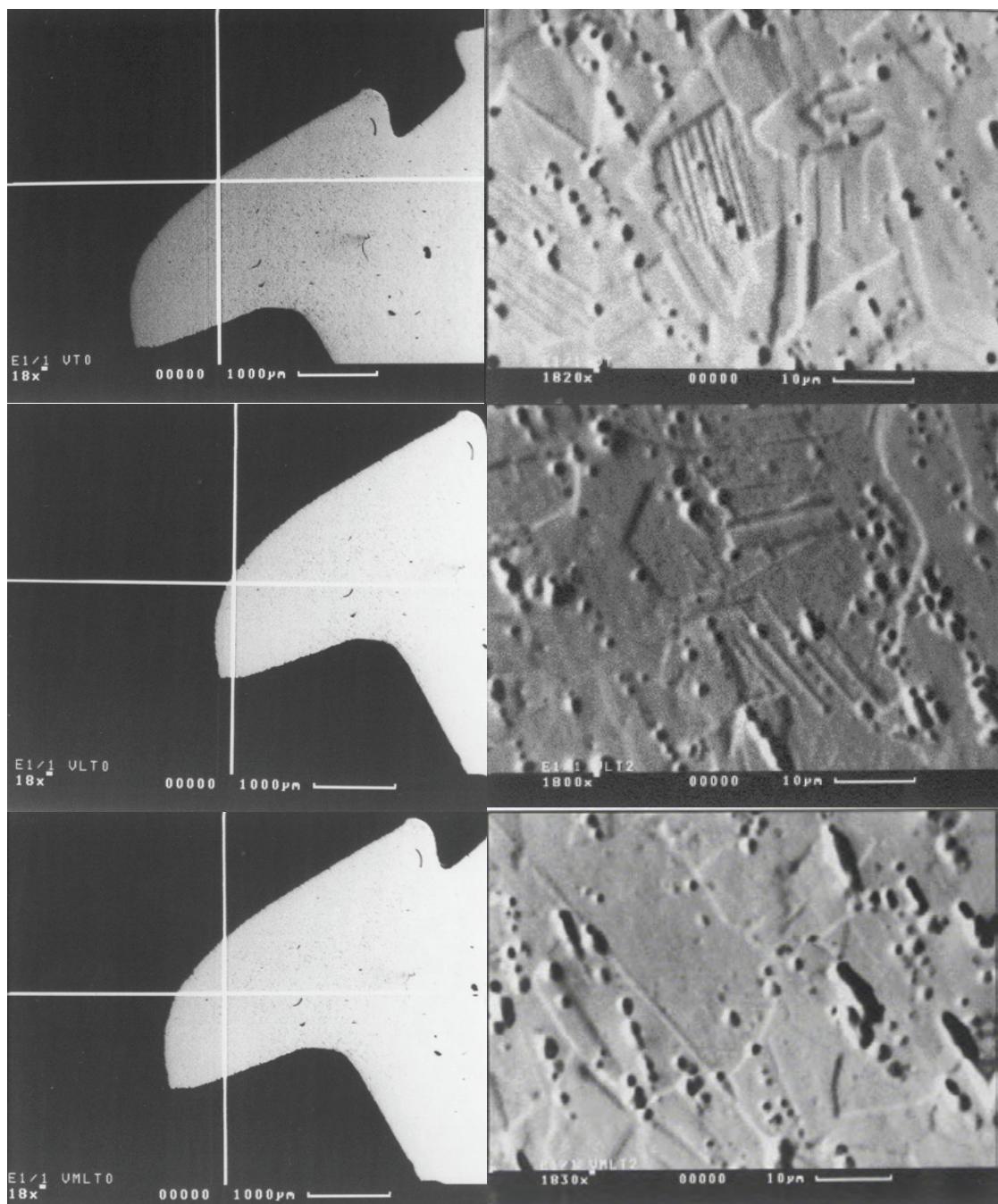


Fig. 5 – Microgeminati meccanici sulla superficie della testa di una vite dell'indicatore triplo. Nessun segno all'interno. Foto dell'autore.

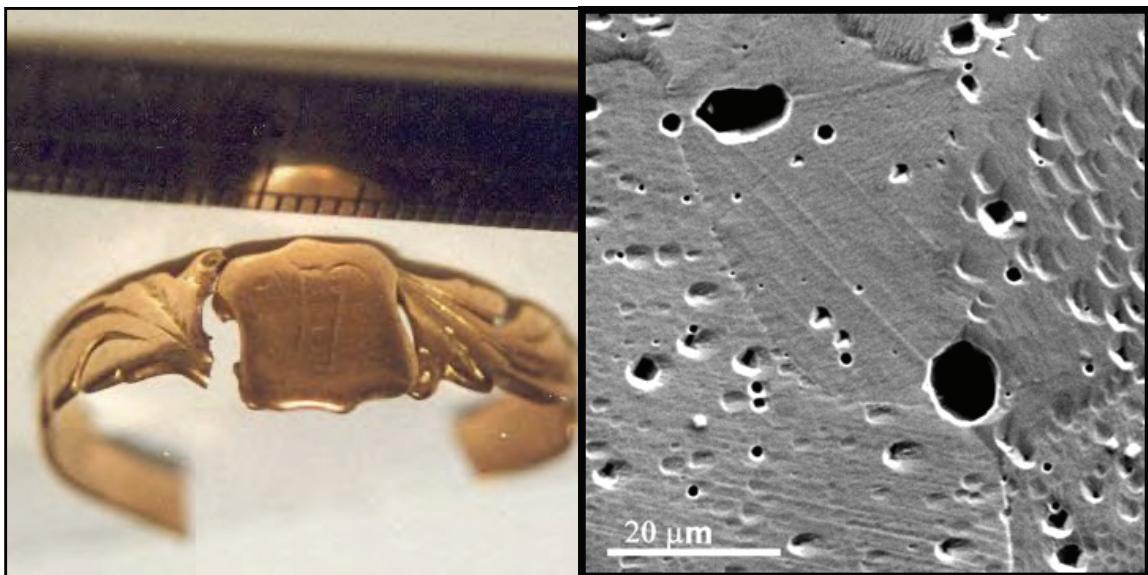


Fig. 6 – Microgeminato evidenziato su una sezione dell’anello di Mattei. Foto dell’autore.

Nessun geminato meccanico o altro segno di esplosione è stato rilevato su una vite prelevata dall’indicatore triplo dell’aereo gemello di quello di Mattei (ISNAI) e neanche su un anello con la stessa composizione di quello di Mattei, fabbricato appositamente da un esperto gioielliere.

Dal fatto che non tutti i cristalli della testa della vite sono occupati da microgeminati e che sono rari i microgeminati evidenziati sull’anello si evince da una parte che c’è stata un’esplosione e dall’altra che vite e anello si trovavano sul margine di sfere all’interno delle quali sono evidenti le conseguenze microstrutturali dell’esplosione di una carica posizionata al centro delle stesse. Inversamente, vite e anello, individuati dalla punta delle frecce rosse riportate in Fig. 7, sono il centro di sfere sulla cui periferia si trova la carica esplosiva. Tali sfere si intersecano lungo una circonferenza su cui si deve trovare la carica. La circonferenza passerà nella cabina di pilotaggio e dietro il cruscotto. Non potendosi ammettere che la carica esplosiva penzolasse in bella vista, essa doveva necessariamente trovarsi dietro il cruscotto. Un pezzo della manopola gialla evidente vicino alla posizione della mano sinistra di Mattei è stato ritrovato conficcato nella mano durante l’esame autoptico del Professor Carlo Torre, corroborando il risultato che ha portato a individuare un’esplosione come causa della caduta dell’aereo di Enrico Mattei.

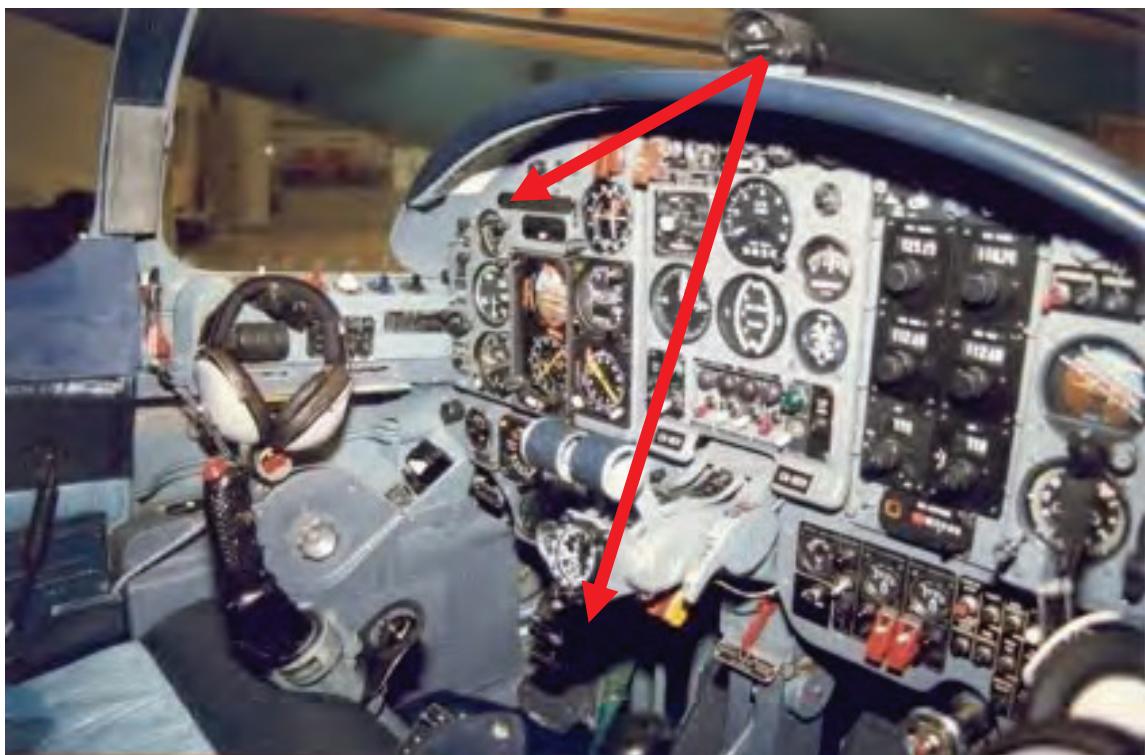


Fig. 7 – Cruscotto dell'aereo MS 760 B. Le punte delle frecce individuano la posizione dell'indicatore triplo e della mano sinistra di Mattei. Foto dell'autore.

#### NOTE CONCLUSIVE

Dopo molti anni dalla caduta dell'aereo Morane Saulnier 760 B, sul quale viaggiava Enrico Mattei, oltre al pilota Irnerio Bertuzzi e il giornalista americano William McHale, il caso è stato affrontato nel 1995 su basi scientifiche, su richiesta del Sostituto Procuratore di Pavia, Dottor Vincenzo Calia, che aveva riaperto le indagini nel 1994. Sulle viti in acciaio inossidabile austenitico che fissavano all'estrema sinistra del cruscotto uno strumento chiamato "indicatore triplo", sono stati evidenziati dall'analisi metallografica sulla superficie fenomeni di geminazione meccanica, tipici ed esclusivi degli effetti dell'esplosione di una piccola carica. Fenomeni analoghi sono stati riscontrati sull'anello d'oro di Mattei. Semplici ragionamenti geometrici hanno portato a stabilire che la carica esplosiva, di intensità limitata, era stata posizionata dietro il cruscotto, operando dall'esterno.

## BIBLIOGRAFIA

- Firrao D., Matteis P., Scavino G., Ubertalli G., Ienco M.G., Pellati G., Piccardo P., Pinasco M.R., Stagno E., Montanari R., Tata M.E., Brandimarte G. and Petralia S. (2006). *Mechanical twins in 304 stainless steel after small charge explosions*. In: «Mater. Sci. Eng., A Struct. Mater. – Prop. Microstruct. Process.», 424(1): 23-32, ISSN: 0921-5093.
- Kestenbach H.J. and Meyers M.A. (1976). *The effect of grain size on the shock-loading response of 304-type stainless steel*. In: « Met. Trans. A», 7A: 1943-1950.