

Traduzione dell'articolo "THOSE PESKY STRESS RISERS" di Budd Davisson tratto dalla rivista Sport Aviation di febbraio 2015.

BISOGNA ELIMINARE INTAGLI, GRAFFI E ANGOLI NON RACCORDATI.

FINITURA SUPERFICIALE E FATICA.

## SOMMARIO

Interessante e chiara esposizione degli effetti della concentrazione degli sforzi in corrispondenza di intagli, graffi e bordi acuminati sulla resistenza a fatica. Sono quei normali risultati delle lavorazioni meccaniche che aumentando il livello locale dello sforzo, carico per unità di superficie, in particolare quello di trazione, combinato col ciclo di alternanza durante il volo, causano la riduzione anche drastica della resistenza a fatica.

---

Possono apparire delle minuzie, ma i graffi possono essere fatali. Idem gli angoli a spigolo vivo. Non stiamo parlando di cose strampalate. Stiamo riferendoci a qualcosa che sembra di nessuna importanza, a difetti minori che possono essere facilmente trascurati ma possono comportare la rottura di quasi ogni componente con molto anticipo sulla sua durata di vita. È importante perché, in un velivolo, la vita del pilota è direttamente collegata a quasi ogni componente della cellula.

### **Il problema è la fatica.**

No, un solo graffio in un attacco non è la causa del distacco di un'ala mentre il velivolo è in campo. Però, non appena il graffio, l'intaccatura o l'angolo non raccordato sono sottoposti a carichi che cambiano in continuazione e alle vibrazioni che fanno parte del volo, questi possono cominciare a presentare alcune caratteristiche non visibili finché i materiali cominciano a sopportare sforzo e deformazioni in volo. Il primo di tutti è la "vita a fatica". Molti componenti di una cellula hanno un limite rappresentato dal numero di volte e dall'intensità con cui possono essere caricati e scaricati accumulando i cicli fino a quando si rompono.

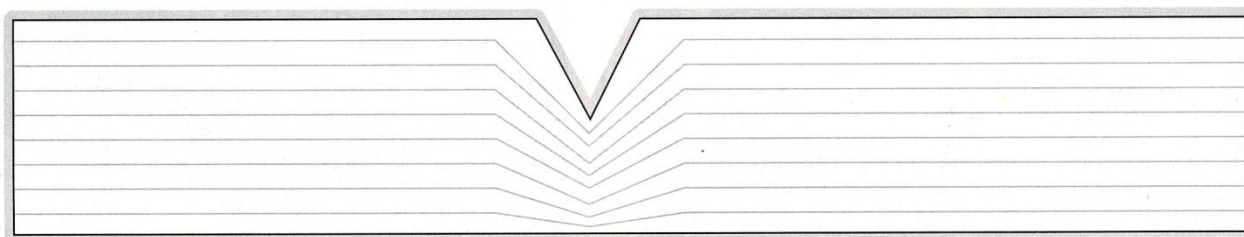
È quasi impossibile determinare con accuratezza quanto tempo impiegherà un attacco, un longerone o un rivestimento a rompersi in volo, per il fatto che le variabili in gioco sono molte e complesse. Però è un po' più facile evidenziare attacchi e componenti che molto probabilmente si romperanno più presto: basta che li esaminiate in base al grado di finitura.

### **La finitura superficiale, la concentrazione degli sforzi e i fattori moltiplicativi.**

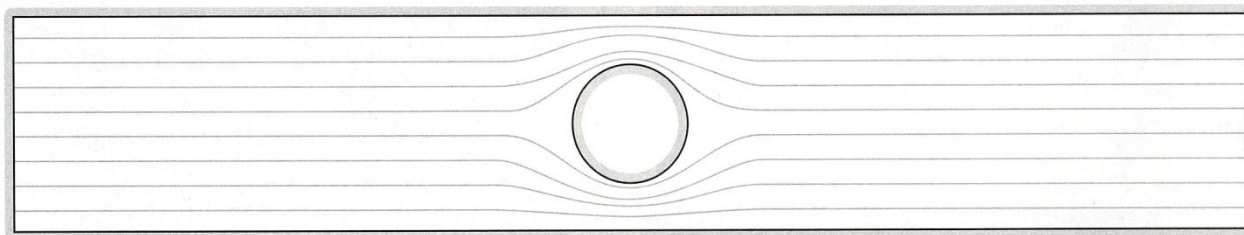
Se pensiamo al modo in cui le sollecitazioni interagiscono con le graffiature, le intaccature e simili, potete avere un po' di aiuto paragonando un attacco, una lamiera o una parte strutturale ad un tubo dell'acqua. L'acqua che scorre dentro è la forza che deve essere sopportata. Supponiamo che l'acqua sia spinta a fluire in modo che tanta ne entra altrettanta ne esce, volendo significare che lo stesso carico agisce alle estremità. La corrente è tranquilla e indisturbata, finché avviene qualcosa all'interno che ne cambia il moto. Immaginiamo che ci sia uno spigolo nel tubo che riduce la sezione libera. L'acqua deve superarlo, perciò si comprime proprio al colmo dello spigolo e si muove più velocemente.

Adesso, supponiamo che il tubo sia la sezione trasversale di una lamiera o di un attacco o di un estruso. La forza fluisce lungo di essa come l'acqua nel tubo. Ora inseriamo qualcosa che modifichi la sezione trasversale in cui questo passa. Potrebbe trattarsi di una scalfittura o un'intaccatura. Proprio sulla sua sommità la forza deve transitare attraverso una sezione più piccola, perciò proprio in quel punto lo sforzo è concentrato. Quanto lo è? Ci sono parecchie variabili che determinano il livello di concentrazione, ma primi sono la profondità e l'acutezza del fondo dell'intaglio: un angolo arrotondato non concentra lo sforzo come uno acuto perché la variazione locale non è brusca.

#### STRESS FLOW



**FIGURE 1:** Any sharp nick or scratch seriously concentrates stress right at its peak, increasing the likelihood of a fatigue crack. Plus it reduces the cross-sectional area and affects the static strength.



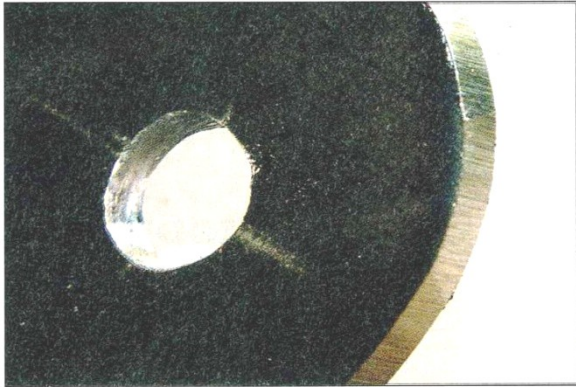
**FIGURE 2:** A hole not only concentrates stress but also definitely changes the overall strength of the part. This is always taken into account in the design.

È difficile ottenere dei valori accurati di concentrazione dello sforzo sull'apice, ma una regola empirica afferma che la profondità di un intaglio che potete apprezzare con l'unghia del pollice vale circa 0,003 in. (0,076 mm). Non dice molto (è come lo spessore di un foglio di carta), ma se il graffio è su un pezzo di rivestimento da 0,025 in. (0,63 mm), esso rappresenta il 12% dello spessore o circa 1/8 della sezione resistente. Peggio di questo, il fondo acuto moltiplicherebbe per 16 (ma non è provato) a causa della brusca variazione. Ecco perché si arrotondano le intaccature all'estremità delle pale dell'elica: riduce la concentrazione degli sforzi addolcendone la transizione.

Se ci riferiamo a un attacco, che è di elevato spessore, un graffio o un'intaccatura possono non ridurre effettivamente la sezione trasversale come su una lamiera, ma rappresenta comunque un elemento che concentra gli sforzi proprio dove non volete. Un attacco è quasi sempre un punto di giunzione dove si trasferiscono dei carichi notevoli. Pertanto esso vedrà carichi più elevati e variazioni maggiori dei carichi rispetto ad altre parti del velivolo. Immaginiamo, per esempio, che cosa può vedere un attacco alare che vola in aria turbolenta. I carichi aumentano e diminuiscono in una serie infinita di salti rapidi ma bruschi e la fatica è una funzione della variazione dei carichi, non di quelli costanti.

Tutti noi abbiamo rotto un filo di ferro piegandolo avanti e indietro ripetutamente fino a spezzarlo, tipica rottura a fatica. Abbiamo anche intaccato un filo e verificato che si rompe con molti meno cicli di quanti vorremmo.

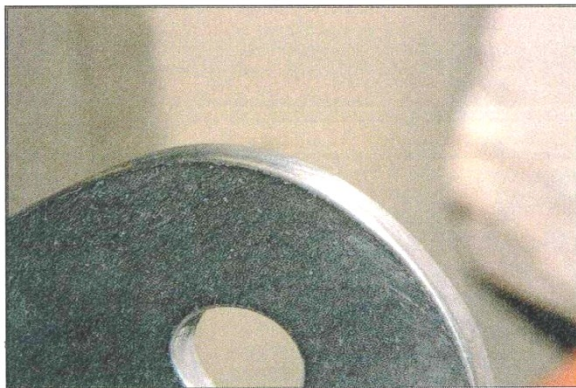
Rompere l'acciaio per flessione è un'esperienza comune per tutti, ma materiali differenti reagiscono in modi differenti. Rompere un filo d'acciaio intagliato piegandolo avanti e indietro può richiedere molti cicli di flessione. Per confronto, rompere un pezzo di vetro dove abbiamo eseguito un'incisione richiede esattamente un ciclo: è sufficiente fletterlo una volta vicino all'incisione per romperlo. Il tagliavetro ci permette di eseguire un intaglio proprio dove vogliamo noi. Materiali



The edge after initial sanding (150 grit) shows that it is a mass of stress risers. Ditto with the hole.



Final sanding should always follow the edge. However, the 150 grit still leaves sharp edges and lots of scratches.



A quick pass on the belt sander on each edge takes them to 45 degrees. Then 150 grit on a block quickly rounds it, and 220 going to 320 grit sanding eliminates scratches. On aluminum go to at least 400 grit and use fine Scotch-Brite or compound to polish it. Actual fatigue tests show that an as-machined part failed at 85,000 load cycles, but properly de-burred and finished, the same part ran 20 million cycles when testing was ceased. I used scrap hot-rolled steel for the demo, and that's the mill scale you see on the surface. 4130/aluminum wouldn't have that.

**fatica.**

S-N in cui le sollecitazioni S sono riportate sull'asse  
esso è flesso (numero dei cicli di carico) è riportato

ostrano è quante volte la sollecitazione di un certo  
materiale si rompa. Logicamente, maggiore è la  
rottura. Comunque, per alcuni materiali si raggiunge  
ta a un valore inferiore a un certo livello, il limite di  
finito. In teoria, esso può essere flesso su e giù per

dal basso valore della sollecitazione, presto o tardi si  
ipico delle leghe di alluminio:  
rare moltissimo, ma alla fine si  
io i progettisti a essere molto più  
ntare la sollecitazione, come le  
ro dei cicli di vita. La rottura  
ricche per la fatica. Entrambi i  
riormente critico.

S-N Fatigue Curves  
Steel Versus Aluminum  
Number of load cycles  
required for failure  
(not to scale)

Aluminum  
Failure

igned right, have an infinite  
e eliminated for maximum life.

**bordi affilati.**

na struttura è di trattare ogni  
in un museo affinché lo vedano  
significa che la superficie è in  
e le variazioni brusche devono  
li sotto i rivetti). Anche questi

omponenti, ricercando informazioni ho trovato molti  
aminati dei fori, delle lamiere o degli attacchi perché  
on so come si possa misurare l'"infinito", ma hanno  
nte! Ecco perché si sbavano tutti i fori dei rivetti e si

arrotondano i bordi di tutti gli attacchi e delle lamiere. Anche il raggio più piccolo riduce notevolmente la tendenza del bordo stesso ad aiutare la comparsa delle cricche.

"Liscio" è la parola d'ordine quando si descrive il bordo di un attacco perfetto. Però, qual è la definizione di liscio? Quanto liscio è liscio? In sostanza, si può dire che tanto più uno spigolo è liscio tanto meglio è, anche se c'è un limite. Sfortunatamente, non c'è modo di determinare quando quel limite è stato raggiunto.

È indispensabile che tutti i bordi siano lucenti? Certamente no, in termini reali. Però è necessario che una volta ben illuminati non si vedano per riflesso graffi o intaccature. Personalmente, io rifinisco con abrasiva da 320. Alcune volte mi fermo a 200, altro arrivo a 400. Non utilizzo la 150, la considero troppo rugosa e lascia troppe rigature evidenti. La verità è che, quanto più un bordo è liscio, arrotondato e senza intaccature, tanto più a lungo probabilmente durerà nel tempo. Infine, non c'è nulla di più simpatico o più bello di un attacco ben rifinito.