

CONNETTORI RESISTENZA ALLA ROTTURA FUORI ASSE

QUARTA PARTE

ANALISI DEGLI EFFETTI
CHE LE SOLLECITAZIONI DI FLESSIONI
HANNO SUI CONNETTORI
IN RELAZIONE AL DIVERSO
PROCESSO PRODUTTIVO

PREMESSA

Negli ultimi tre numeri di questa rivista si è dato spazio alla stesura di tre diversi articoli che proponevano i risultati ottenuti da uno lavoro di studio inerente alla resistenza dei connettori.

Riassumendo possiamo ricordare che nella prima parte, si analizzava la resistenza statica di alcuni tipi di connettori scelti tra quelli presenti nel mercato (due di tipo B e due di tipo H), misurando in laboratorio il carico di rottura sull'asse maggiore e confrontandolo con quanto dichiarato dal costruttore per capire eventuali margini di resistenza nei confronti dei valori dichiarati.

Nella seconda parte, sempre considerando gli stessi connettori, si è voluto indagare su come potesse variare la loro resistenza, quando, per le più svariate ragioni, venissero fatti lavorare "fuori asse"; ovvero in una situazione di carico che si distacca via via dalla situazione di prova lungo l'asse più resistente e che porta a innescare dei bracci di leva che inducono, oltre a delle sollecitazioni di trazione, anche a delle possibili componenti di flessione che a loro volta generano delle deformazioni importanti su alcuni punti più deboli del connettore.

Ora, in questa quarta parte, si descrivono quali siano gli effetti che una sollecitazione di flessione, nettamente predominante su una componente di trazione pura (fig. 1), ha sui moschettoni tenendo in considerazione, però, anche il processo produttivo utilizzato per la loro fabbricazione per evidenziare possibili differenze che ci possano essere in termini di prestazioni meccaniche. I connettori considerati in questo lavoro sono stati scelti tra due produttori

diversi, acquisendo per ciascuno di questi due tipologie di moschettoni: uno stampato a freddo e uno forgiato a caldo. Per diminuire le analisi metallografiche, alla fine, si è scelto di farle solo per le diverse tipologie di un produttore.

Nella **tabella 1** vengono indicati i valori di resistenza dichiarati dal produttore.



1

tipologia moschettone	leva chiusa carico longitudinale	leva chiusa carico trasversale	leva aperta carico longitudinale
stampato a freddo	26 kN	9 kN	10 kN
forgiato a caldo	23 kN	7 kN	8 kN

Giuliano
Bressan
CAAI
CSMT

Massimo
Polato
Sezione di
Mirano
CSMT



INFORMAZIONI DI BASE SULLA LEGA E SUI PROCESSI COSTRUTTIVI DEI CONNETTORI

Prima di continuare ed esporre i risultati, diviene basilare presentare, pur in modo molto semplice e discorsivo, alcune informazioni riguardanti le leghe utilizzate per costruire i connettori, i processi tecnologici che portano alla loro costruzione e alle differenti strutture cristalline interne del materiale che questi processi determinano. Questo ci servirà per capire alcune conclusioni che verranno esposte durante la discussione dei risultati.

Le Leghe utilizzate nella costruzione dei connettori

Com'è ormai noto da anni, tolti alcuni casi di impiego particolare dove si utilizzano come materiali da costruzione l'acciaio al carbonio o quello inossidabile, la quasi totalità dei connettori utilizzati in alpinismo è fatta in lega di alluminio. Ma perché si utilizza questo tipo di materiale e cosa si intende con la dicitura "lega di alluminio"?

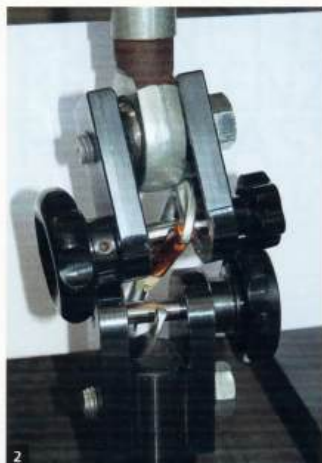
Il perché si utilizzino queste leghe al posto dell'acciaio è presto detto e risaputo e cioè per una questione di peso. La densità di queste leghe, che varia un po' in base agli elementi che sono presenti al loro interno, può essere indicata in circa 2700 kg/m³, mentre quella degli acciai si avvicina a valori di circa 7900 kg/m³. Questi numeri, quindi, ci indicano bene come un connettore in lega di alluminio pesi circa un terzo di uno delle stesse dimensioni costruito in acciaio. Per quanto riguarda nello specifico i connettori, la lega di alluminio utilizzata per la loro costruzione è la "7075-T6" (che fa parte di quelle famiglie di leghe di alluminio commercialmente chiamate "Ergal[®]"), che è composta da: 90% Al, 5.6% Zn, 2.5% Mg, 0.23% Cr e 1.6% Cu e dove, la sigla "T6" indica un particolare trattamento termico

detto di "invecchiamento" che viene eseguito sui connettori alla fine del processo di formatura e che conferisce alla lega un giusto bilanciamento tra carico di rottura, durezza e duttilità tali da ottenere le massime performance in termini di prestazioni meccaniche. Nella tab. 2, riassumiamo a puro scopo informativo/comparativo le caratteristiche meccaniche (carico di rottura e di snervamento e modulo elastico) e fisiche (densità) della lega di alluminio sopra descritta e dell'acciaio inossidabile AISI 316, dalla quale si può vedere come il rapporto "peso-prestazione meccanica", sia decisamente più performante per l'Ergal[®] rispetto all'acciaio inox se comparato in termini di "peso".

I processi costruttivi dei connettori

Dedichiamo qualche riga alla descrizione, in modo sempre molto discorsivo, dei due principali processi produttivi utilizzati per la costruzione di questi dispositivi. Si tratta sostanzialmente dello stampaggio a freddo e/o della forgiatura a caldo. I due sistemi sono completamente diversi e portano a una diversa struttura cristallina interna del materiale che a sua volta manifesta modi differenti di reagire a una sollecitazione di flessione "pura" da parte dei connettori. I moschettoni considerati per eseguire le prove nel caso specifico, prodotti tramite forgiatura a caldo, sono stati prima preformati a freddo partendo da una barra di alluminio (Ergal[®]), e successivamente formati a caldo, ovvero, portati a una certa temperatura e inseriti in una pressa contenente una matrice che genera geometria e sezione finale desiderate. In seguito a questo processo è stata aggiunta la leva in acciaio se a filo o in alluminio se con dito classico. I connettori analizzati e stampati a freddo, invece, sono stati prodotti nel corpo e nella leva partendo da barre di alluminio: una preformatura su una dima ha portato alla creazione del corpo e in seguito è stata unita la leva di chiusura.

materiale	carico di rottura [N/mm ²]	carico di snervamento [N/mm ²]	Modulo Elastico [Mpa]	densità [kg/m ³]
Ergal [®]	500 ÷ 700	200	200000	≈7900
Acciaio AISI 316	510 ÷ 570	503	70000	≈2700



I TEST E LE METODOLOGIE DI PROVA

Per i moschettoni presi in esame sono state analizzate due condizioni di esercizio considerate pericolose e/o gravose:

- la prima si riferisce ad una situazione in cui il moschettone si trovi a lavorare nel suo asse maggiore ma a leva aperta (fig. 2).
- la seconda, invece, fa riferimento al moschettone che si trova ad avere la leva chiusa, ma che viene sollecitato a flessione. Questa configurazione è stata a sua volta suddivisa e studiata assumendo due tipi di vincolo diversi, per cercare di coprire tutte le potenziali criticità che si possano manifestare nell'utilizzo reale a seconda di dove il moschettone si trova a operare. Queste tipologie di vincolo portano a studiare la cosiddetta: *flessione su perno* e *flessione su incastro* (figg. 3 e 4).

Le prove di trazione sono state realizzate presso il laboratorio del CSMT-CAI di Villafranca, mentre le analisi della microstruttura e delle superfici di frattura dei moschettoni è stata realizzata presso il laboratorio di metallurgia del Dipartimento di Ingegneria Industriale della facoltà di Ingegneria Meccanica dell'Università degli Studi di Padova.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Essendo le proprietà meccaniche strettamente legate alla microstruttura interna del materiale, come ci si aspettava e in coerenza con quanto dichiarato dai produttori, per i moschettoni stampati a caldo queste risultano mediamente superiori. La grana cristallina più fine e la maggiore omogeneità microstrutturale fanno sì che le caratteristiche meccaniche siano migliori e aumentino una maggiore tenacità intesa come resistenza all'urto (resilienza).

Risultati dei test statici

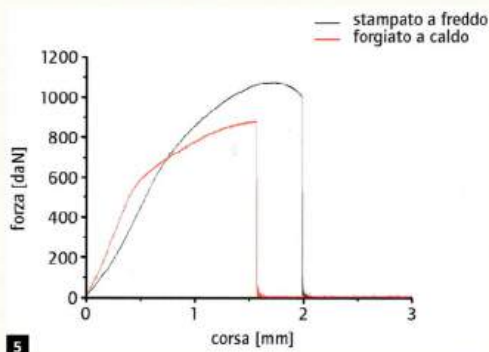
Nella tab. 3 riportiamo i risultati dei test effettuati in condizione statica.

Test a trazione assiale a leva aperta

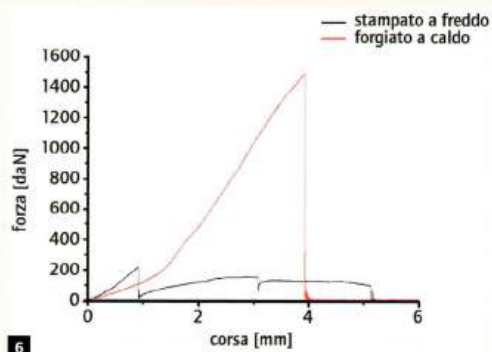
Riguardo ai test a trazione assiale a leva aperta si può notare come entrambe le tipologie di moschettoni abbiano garantito i carichi dichiarati dai produttori, con addirittura, per entrambi, un carico più elevato di circa una sessantina di decanewton (confronto tra tabb. 1 e 3). In queste condizioni di prova è doveroso sottolineare che non sia ha a che fare con un carico di trazione "pura", in quanto la forma stessa dei moschettoni porta a instaurare delle com-

prova	tipologia di moschettone	test	condizione	carico ⁽¹⁾ [kN]
statica	stampato a freddo	trazione assiale	leva aperta	10,6
		flessione su perno	leva chiusa	2,1
		flessione su incastro	leva chiusa	4,1
	forgiato a caldo	trazione assiale	leva aperta	8,6
		flessione su perno	leva chiusa	14,3
		flessione su incastro	leva chiusa	7,2
dinamica	stampato a freddo	trazione assiale	leva aperta	10,5
		flessione su perno	leva chiusa	prova non strumentata
	forgiato a caldo	trazione assiale	leva aperta	8,8
		flessione su perno	leva chiusa	prova non strumentata

(1) il carico riportato è ottenuto da una media di tre prove



5



6



7



8

ponenti di flessione che inducono un indebolimento del dispositivo stesso.

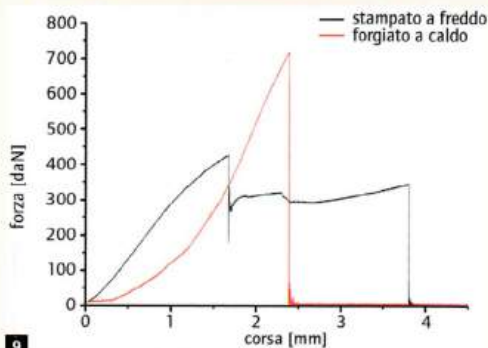
I risultati sperimentali riassunti nelle curve "forza-deformazione" proposti nella **fig. 5**, evidenziano il diverso comportamento delle due tipologie di moschettoni e, coerentemente con quanto detto più sopra, dal punto di vista microstrutturale, si nota una performance migliore in termini di resistenza, per i moschettoni stampati a freddo.

Test a flessione su perno

Nel caso di flessione su perno, il diverso comportamento delle due tipologie di moschettoni è evidenziato nella **fig. 6**.

Se nel caso precedente le prestazioni dei moschettoni stampati a caldo erano superiori ma non in modo così eclatante, al contrario, in questa conformazione di prova il moschettone stampato a caldo manifesta una capacità di sopportare dei carichi flessionali quasi sette volte maggiore rispetto allo stampato a freddo. L'analisi delle curve mostra come il moschettone forgiato a caldo presenti una curva di risposta alla sollecitazione molto più regolare con il picco di resistenza che si presenta in corrispondenza della rottura dell'intero moschettone. Viceversa, nel moschettone stampato a freddo, si registra la presenza di tre distinti picchi di carico: il primo (massimo) si verifica in corrispondenza della rottura della leva, il secondo determina il cedimento del punto di chiusura e il terzo identifica lo sfilamento dal perno di prova.

Per tutti i moschettoni analizzati possiamo dire che



9

per quelli stampati a freddo la rottura avviene sempre nel punto di chiusura della leva che presenta una microstruttura diversa da quella del corpo (in ragione alle differenti operazioni meccaniche di costruzione); la **fig. 7** fa vedere come il moschettone riesca a sopportare molta deformazione senza rompersi, mentre al contrario, la leva non risulta per nulla deformata. Per i moschettoni forgiati a caldo, invece (**fig. 8**), si vede come la deformazione statica sia notevole.

Flessione su incastro

In presenza di un vincolo diverso dal caso precedente e che riproduce una situazione più simile a quella presentata nella **fig. 1**, quello che si osserva e che viene rappresentato nel grafico di **fig. 9**, è una meno marcata differenza nei valori di resistenza alla sollecitazione nei due tipi di moschettone.

Rispetto alla flessione su perno, dove la forma

sferica del vincolo porta il connettore a lavorare in una condizione limite, in quanto il fulcro di flessione viene gradualmente spostato verso il punto di minore sezione della leva causandone la rottura, in questa condizione di incastro, il punto di flessione viene imposto dalla geometria stessa del vincolo. In ogni caso, anche in questa conformazione, la leva risulta essere il punto in cui avviene il primo cedimento (picco massimo), dopodiché la condizione di vincolo imposta al moschettone (incastro), permette che vengano sopportati sforzi maggiori prima del cedimento definitivo del corpo in quanto, a differenza della flessione su perno, non si determina uno sbilanciamento delle tensioni verso la parte del connettore con sezione minore.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si sono riassunti i risultati relativi al confronto delle caratteristiche resistenziali in regime statico di due tipologie di moschettoni ottenuti mediante due differenti processi produttivi (stampaggio a freddo e formatura a caldo), analizzando le risposte dei componenti a due condizioni di esercizio considerate le più gravose: la resistenza a leva aperta in direzione dell'asse maggiore e la resistenza a flessione su perno e incastro a leva chiusa.

Mentre la prima condizione di carico è prevista dalla norma EN12275 di riferimento per omologare i moschettoni, la seconda (flessione) è volta a verificare la loro risposta nel caso in cui, per i più svariati motivi di utilizzo, si manifestino degli sforzi flessionali. Per quanto riguarda le prove a trazione si è visto come entrambe le tipologie di moschettone soddisfino le caratteristiche imposte dalla norma sia a regime statico che dinamico, essendo i valori registrati superiori al minimo richiesto (che per i moschettoni di tipo B ricordiamo essere di almeno 7 kN). Le prove di flessione su perno (e in minor entità quelle su incastro), invece, hanno evidenziato una minore resistenza dei componenti stampati a freddo rispetto a quelli forgiati a caldo; resistenza che nel caso della flessione su perno risulta essere inferiore di un fattore pari a sette e che pone i moschettoni stampati a freddo in una condizione di minore sicurezza in esercizio se soggetti a sollecitazioni flessionali di tipo statico. Le analisi hanno permesso di individuare il punto debole del componente stampato a freddo nella leva in alluminio e di attribuire il verificarsi di questa riduzione delle prestazioni a fattori legati alla microstruttura e di progetto. Infatti, mentre il corpo dei moschettoni stampati a freddo ha sempre manifestato un sufficiente grado di plasticità, la criticità dell'interfaccia leva/corpo risiede nel fatto che nel punto di contatto tra questi due elementi

del moschettone, la sezione resistente della leva è ridotta rispetto alle altre parti e il suo stato metalurgico, caratterizzato da un notevole grado di incrudimento e una microstruttura fortemente orientata, non permette il raggiungimento di deformazioni adeguate e ne favorisce la rottura.

Un'altra considerazione deriva dall'analisi delle curve di carico registrate nelle due condizioni flessionali di carico (perno e incastro) che mostrano una netta differenza di risposta alla sollecitazione tra le due tipologie di moschettoni, ma anche le due diverse condizioni di vincolo hanno un ruolo determinante nel garantire le prestazioni desiderate. Infatti, nel caso del vincolo sferico si porta il moschettone in una condizione di lavoro più sfavorevole (la più gravosa), in quanto il fulcro della flessione viene gradualmente spostato verso il punto di minore sezione della leva, causandone la rottura a bassi carichi, mentre questa cosa non accade nel caso dell'incastro, dove invece il punto di flessione viene imposto dal vincolo adottato. In ogni caso, dall'analisi dei risultati si può ragionevolmente affermare che i componenti forgiati a caldo, seppure posseggano una minore resistenza a trazione lungo l'asse longitudinale, possono essere ritenuti più adeguati nel caso dell'insorgere di sollecitazioni flessionali. Il presente lavoro rappresenta la sintesi di un articolo più ampio presente nella sezione "download/articoli e dispense/materiali/connettori" del sito del Centro Studi Materiali e Tecniche (www.caimateriali.org), intitolato: "Analisi comparativa di caratteristiche resistenziali su moschettoni in lega di alluminio 7075-T6", di M. Breda, M. Pizzo, I. Calliari, M. Polato, P. Ramous, S. Maratea, G. Bressan.

RINGRAZIAMENTI

Un doveroso ringraziamento va a tutte le persone che hanno collaborato alla stesura di questo lavoro. In particolare modo, oltre che al tecnico di Laboratorio Sandro Bavaresco per la sempre attenta e scrupolosa esecuzione dei test, ai componenti del CSMT Simone Maratea e del CSMT-VFG Paolo Ramous, oltre a Marco Breda del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DII) dell'Università di Padova e di Unilab Laboratori Industriali S.r.l. (Monselice).

NOTA

Il newton - "N" - è un'unità di misura della forza nel Sistema Internazionale; un N è la forza che applicata a una massa di 1 kg le imprime l'accelerazione di 1 m/s^2 . Un decanewton - "daN" (10 newton) viene spesso usato perché equivale a circa 1 kg peso. Un kilonewton "kN" (1000 newton) equivale quindi a circa 100 kg peso.