

GIUNTI RIVETTATI IN MATERIALE COMPOSITO

Risultati delle prove sperimentali condotte su tre geometrie di giunti rivettati a doppia sovrapposizione in materiale composito volte alla determinazione della resistenza a carico quasi statico e a fatica

Per ogni tipologia geometrica di giunto a doppia sovrapposizione (double-lap), sono state effettuate prove di caratterizzazione volte alla determinazione della resistenza del collegamento a carico statico e a fatica e, soprattutto, alla individuazione del cedimento.

Le prove quasi statiche sono state condotte in controllo di carico ad una velocità di 0,02 kN/s. In tabella 3 vengono riportati i carichi di rottura determinati e, in figura 5, le tipologie di frattura per tutti i tipi di geometria (analoghe a quelle a fatica, come successivamente riscontrato).

I valori del carico di rottura medio ottenuto in queste prove è stato considerato come valore di riferimento per le prove di fatica, come spiegato nel seguito.

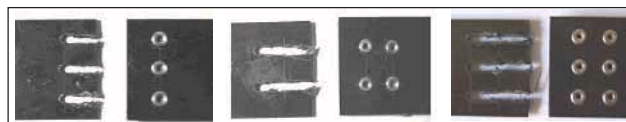
Il valore del massimo carico sopportato dalla giunzione è risultato proporzionale al numero di rivetti. Tale proporzionalità è uno degli indici che ha consentito di affermare e verificare a posteriori che la distanza tra due rivetti tra loro è sufficiente per eliminare effetti di sovrapposizione delle tensioni nell'area compresa tra due intagli.

In figura 6, sono riportati gli andamenti delle curve in tensione quasi statica tipiche per i vari giunti.

PROVE A FATICA

Gli obiettivi prefissati per le prove a fatica a rapporto di carico $R=0$, sono stati la ricerca e la determinazione di curve di vita del componente che potessero essere equivalenti alle curve S-N classicamente considerate per la vita a fatica di provini lisci.

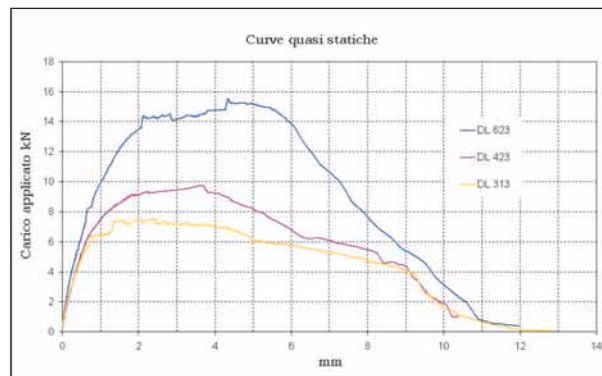
Le curve sono state determinate per interpolazione polinomiale di 4 punti sperimentali in scala semi lo-



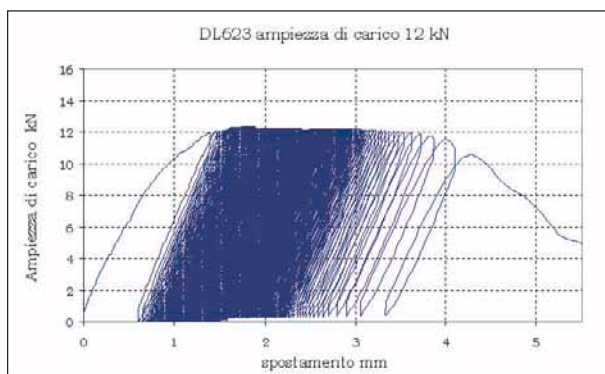
5. Tipo di rottura comune alle diverse geometrie di giunto: DL313, DL423, DL623.

TIPO DI GIUNTO	FULT [kN]
DL 313	7.5
DL 423	10
DL 623	15

Tabella 3.
Resistenza ultima media in kN per i vari giunti studiati.



6. Curve quasi statiche sperimentali per tre diversi componenti.



3. Curva a fatica per ampiezza pari a $-10\% F_{ult}$ del giunto DL 623.

garitmica. Le prove sono state condotte in controllo di carico a frequenza di 1 Hz e ad ampiezza fissata a 90%, 80% e 70% del carico di rottura F_{ult} determinato per il giunto nelle prove quasi statiche, come presente in tabella 3. Una tipica curva di fatica a basso numero di cicli, a carico imposto -10% di F_{ult} , tipico per il giunto Double-Lap 623 è rappresentata nella figura 7.

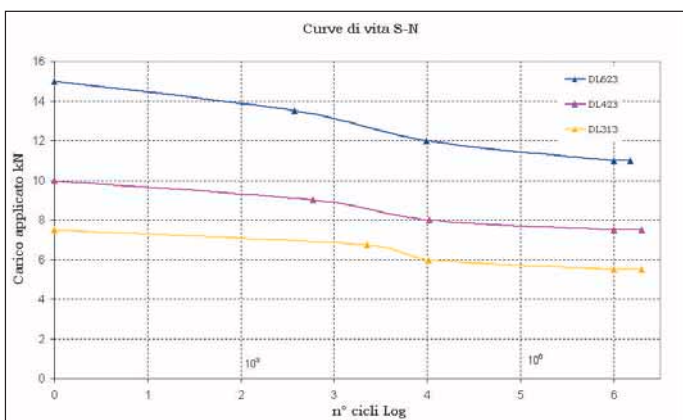
Come si può notare, la curva indica inizialmente un processo di adattamento dei rivetti nel foro; il primo ciclo infatti mostra un elevato valore dello spostamento che si stabilizza quasi immediatamente ai cicli

lo spostamento. In questa situazione, la velocità di progressione del danneggiamento del giunto diviene molto elevata in quanto la distanza del rivetto dal bordo della giunzione, o dalla fila di rivetti limitrofi, diminuisce a tal punto da causare sovrapposizione degli effetti nella concentrazione delle tensioni e, quindi, crollo repentino della resistenza.

Le curve ottenute sono le stesse per tutti i tipi di configurazione di giunto studiati e per ampiezze di carico imposto comprese tra $70\% F_{ult} < F_{app} < F_{ult}$. Per ampiezze minori o uguali al 70% di F_{ult} , si nota una stabilizzazione immediata della curva di fa-

PROVA N.	AMPIEZZA (% DI F_{ult})	AMPIEZZA DL 623 kN	CICLI N.	AMPIEZZA DL 423 kN	CICLI N.	AMPIEZZA DL 313 kN	CICLI N.
1			640		980		3340
2	90%	13.5	310	9	430	6.75	2350
3			180		400		1130
4			7000		10050		13200
5	80%	12	11000	8	11130	6	9550
6			11320		10240		8530
7	70%	10.5	$>10^6$	7	$>10^6$	5.25	$>10^6$

Tabella 4. Risultati sperimentali complessivi per i test a fatica.



4. Curve S-N per le diverse configurazioni di giunto proposte.

successivi.

La presenza di una certa mobilità del rivetto nella sua sede è conseguenza di una realizzazione del giunto che, per quanto precisa è pur sempre di tipo manuale. La curva si mantiene al di sotto del carico im-

posto e presenta un continuo, se pur minimo incremento dello spostamento.

Questo comportamento resta valido fino ad un certo stadio della vita a fatica, in corrispondenza del quale vengono raggiunti grandi valori del-

lo spostamento. In questa situazione, la velocità di progressione del danneggiamento della sezione su cui agisce il rivetto, e non si perviene a rottura neanche al superamento del milione di cicli.

A 10^6 cicli di vita le giunzioni sono state osservate al microscopio riscontrando, sulla base di semplice analisi qualitativa (e, quindi, con considerazioni nelle quali non può essere esclusa una certa soggettività di valutazione), una completa integrità del giunto.

In tabella 4 vengono riportati i risultati relativi alle diverse configurazioni considerate nella campagna sperimentale di prove a fatica.

Per quanto variabili siano i risultati ottenuti, si può, comunque, constatare l'esistenza di notevoli analogie per quanto riguarda l'ampiezza (in termini di percentuale di F_{ult}) corrispondente ad una durata praticamente infinita del giunto.

I risultati ottenuti possono essere riassunti in curve di vita (del tipo S-

N) espresse in scala semilogaritmica (figura 8), ove si nota la presenza di una considerevole variazione del comportamento a 10^3 cicli di vita e una pendenza costante a 10^6 .

CONCLUSIONI

Dalle prove quasi statiche e a fatica di caratterizzazione del componente possono essere dedotte le seguenti considerazioni:

- il carico sopportato dalle tipologie di giunti studiati aumenta in modo proporzionale all'aumentare del numero dei rivetti.

Tale risultato consente di asserire che il disegno della giunzione scelto non permette alcuna sovrapposizione degli effetti di intaglio tra i rivetti vicini.

Tale considerazione è confermata dalla tipologia di rottura riscontrata;

- nelle prove eseguite, di tutti i possibili meccanismi di rottura descritti in letteratura, è stato riscontrato un unico meccanismo comune a tutte le configurazioni di giunto e ad entrambe le modalità di carico applicate (statico e ciclico).

Si tratta del *bearing mode*, ovvero di una rottura per compressione ed asportazione del materiale di fronte al rivetto stesso;

- è noto come un materiale composito, per la sua intrinseca eterogeneità, risenta meno del fenomeno di fatica rispetto ai materiali tradizionali.

Questo in generale si traduce in una curva di fatica S-N (per provini lisci) con pendenza molto bassa (pressoché rettilinea) che colloca la condizione di vita infinita al limite del 70% del carico di rottura statico corrispondente al materiale considerato. I risultati ottenuti su componente rivettato hanno condotto sorprendentemente allo stesso risultato, indipendentemente dalla geometria di giunto considerato.

Si è constatato infatti che i giunti studiati sottoposti a un carico ciclico di entità inferiore o uguale al 70% rispetto al loro carico di rottura statico, non sono apparsi danneggiati, sulla base di osservazioni non distruttive, a 10^6 cicli della loro vita.

In corrispondenza di tale ampiezza di carico la resistenza del giunto non

è stata, pertanto, compromessa dai cicli di carico applicati;

- il materiale considerato per la realizzazione delle giunzioni ed il suo lay up sono state le uniche variabili a incidere sulla vita del componente, indipendentemente dunque dalla geometria analizzata.

La prima parte dell'articolo è stata pubblicata sul numero 291, luglio/agosto 2005 di Progettare.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto Metodologie di progettazione a fatica di giunti in materiale composito (MURST 2002). Gli autori ringraziano in modo particolare A. Santoro, V. Ciavatti ed i tecnici del laboratorio del DIEM.

F. Ghezzi, F. Cesari, G. Caligiana,
S. Curioni,
Università degli Studi di Bologna.