



Verifica sperimentale della resistenza a fatica di seggiolini in composito per imbarcazioni da canottaggio

S. Bettinelli, L. Susmel, R. Tovo

Università di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Via Saragat 1, 44100 Ferrara - Italy
stefano.bettinelli@unife.it

A. Musi

Tecnonautica Snc, Via Del fosso 29/E, 57024 Donoratico (LI) - Italy
ufftecnico@tnautica.it

RIASSUNTO. In questo lavoro si riportano i risultati di prove meccaniche a fatica condotte su sedili in composito prodotti da *Tecnonautica Snc* per l'utilizzo su imbarcazioni da canottaggio da competizione.

I sedili sono costituiti da una seduta in materiale composito di fibre di carbonio e vetro, fissata su uno *chassy* che può essere in alluminio o in materiale plastico. Le dimensioni del carrello (e quindi della seduta) sono standard e cambiano con il tipo di imbarcazione; nel presente lavoro si sono studiati seggiolini di larghezza 280mm comunemente impiegati su barche a quattro e a otto rematori.

Sono state provate nei laboratori dell'Università di Ferrara due tipi di sedute montate su carrelli in alluminio: due in materiale nuovo e due invecchiati artificialmente in ambiente salino.

I sedili sono stati sottoposti a carichi pulsanti (con rapporto di sollecitazione $R=0.1$) applicati in direzione normale alla seduta e di intensità pari a quella riscontrata in esercizio; la durata obbiettivo è stata fissata pari a 10^6 cicli.

La storia di carico utilizzata nelle prove è stata definita sulla base di misurazioni di forza fatte in acqua con equipaggi professionisti e i carichi al banco sono stati applicati in modo da riprodurre l'azione dell'atleta. In particolare, la forza di spinta applicata dall'attuatore idraulico è stata distribuita sulla superficie della seduta per mezzo di una piastra in acciaio e di un cuscino elastico. Al termine di ogni prova si è accertata l'assenza di danneggiamenti a mezzo di tecniche non distruttive.

Lo studio ha permesso di verificare gli effetti di carichi ciclici su componenti di questo tipo, (progettati principalmente per esigenze di rigidità, design e confort), in termini di formazione di difetti superficiali o delaminazioni tra gli strati di materiale diverso.

PAROLE CHIAVE. Fatica; Compositi; Canottaggio.

INTRODUZIONE

Le forme e i materiali impiegati nei componenti delle imbarcazioni da canottaggio hanno subito nel tempo importanti modifiche spinte da esigenze di alleggerimento e riduzioni dei costi, ponendo sempre più attenzione alle prestazioni della barca e al comfort dall'atleta.

Nel caso dei seggiolini il materiale principe, usato tuttora da certe case produttrici, è il legno (spesso sotto forma di laminato) perchè combina resistenza, leggerezza, durata ed estetica.



Tale materiale tuttavia comporta raffinate lavorazioni di fresatura e successiva lucidatura delle superfici. L'avvento dei materiali compositi ha consentito ridurre il peso di tutti i componenti dell'imbarcazione (dal 60% all'80% a parità di rigidità rispetto ai materiali tradizionali), ma soprattutto i tempi di fabbricazione. Infatti una volta realizzato lo stampo risulta molto agevole dare al materiale composito la forma desiderata prima dell'essiccazione della resina.

All'inizio la scelta di fabbricare i seggiolini con questi materiali innovativi ha portato alla realizzazione di geometrie cave all'interno (del tipo scatolato), costruendo i sedili in due gusci incollati lungo il perimetro: quello superiore sagomato come gli originari in legno, e quello inferiore piano per consentire il fissaggio su un carrello standard.

Successivamente l'interesse di sfruttare al meglio le potenzialità del materiale, di ridurre la quantità ma soprattutto di semplificare ulteriormente il processo produttivo, ha condotto allo studio di sedute in laminato di fibre miste carbonio-vetro a sezione aperta anziché chiusa, irrigidita con nervature nei punti di fissaggio e di maggiore sollecitazione.

È importante sottolineare che in questo ambito il comfort è un requisito essenziale per l'atleta, per cui l'obiettivo della progettazione è stato quello di trovare il migliore compromesso tra un corretto utilizzo dei materiali compositi impiegati e la rigidità complessiva (piuttosto che alla resistenza).

Nelle Fig. 1 e 2 sono riportate le viste di un seggiolino oggetto di studio nel presente lavoro; nella vista inferiore è visibile la nervatura che segue il bordo e realizzata in materiale sandwich, ovvero *pell*i a strati di tessuto di carbonio e vetro e *core* in espanso polivinilico; sulla nervatura ai lati è fissato il carrello con viti autofilettanti.



Figura 1: Seduta lato superiore.



Figura 2: Seduta lato inferiore.

I carrelli (o *chassy*) possono essere in alluminio o materiale plastico; la scelta per l'utente è motivata principalmente da ragioni costo. I carrelli in alluminio sono tuttavia più scorrevoli ma hanno l'inconveniente di pesare di più, mentre quelli in plastica hanno il vantaggio di consentire corse maggiori grazie ad un'ulteriore guida di scorrimento alloggiata tra la seduta e lo *chassy*.

I seggiolini sono prodotti con forme e dimensioni standard in base al tipo di imbarcazione su cui vengono montati: vi sono sedili di larghezza 170mm per impieghi su barche singole, larghezza 240mm per doppi e 280mm per imbarcazioni a quattro e a otto rematori.

In questo studio sono stati scelti per le prove sedili per imbarcazioni da quattro/otto rematori, con carrello in alluminio. Il peso di queste sedute è di circa 0.290 kg (0.266 kg solo per uno *chassy* in alluminio).

PROVE SPERIMENTALI

Definizione dei carichi di prova

La scelta dei carichi di prova derivano dall'analisi di dati precedentemente acquisiti in acqua su un'imbarcazione a due rematori (*2x senior*) per mezzo di trasduttori a lamina appositamente realizzati per questo tipo di misura [1, 2, 3], e di una centralina di acquisizione *National Instruments* (CompactRIO®).

Nella stessa campagna di misure erano state inoltre misurate tutte le grandezze meccaniche di ogni punto di lavoro del vogatore, tra cui le forze agli scalmi, le forze sulle pedane, gli spostamenti dei seggiolini e le rotazioni dei remi [3].

Il sensore usato per misurare il peso sul carrello è costituito da una lamina estensimetrica interposta tra la seduta e lo *chassy*. La misura di forza avviene indirettamente rilevando la deformazione normale in mezzzeria della seduta. Il sistema deve quindi essere tarato applicando una serie di pesi noti e registrando la costante di taratura.

Nelle Fig. 3 e 4 si mostrano il set-up e la calibrazione del sensore prima dell'esecuzione delle prove in acqua. I dati sono stati successivamente acquisiti con frequenza di campionamento di 100Hz e filtrati a 20Hz, durante un *run* di 2000m di lunghezza in una sessione allenamento.

In Fig. 5 si riportano gli andamenti della forza agente sul sedile e di spostamento del remo nell'arco di un ciclo di vogata della durata di circa 4,5 secondi.



Figura 3: Sensore di forza installato sul lato inferiore del sedile (carrello in alluminio).



Figura 4: Taratura del sensore di forza del seggiolino.

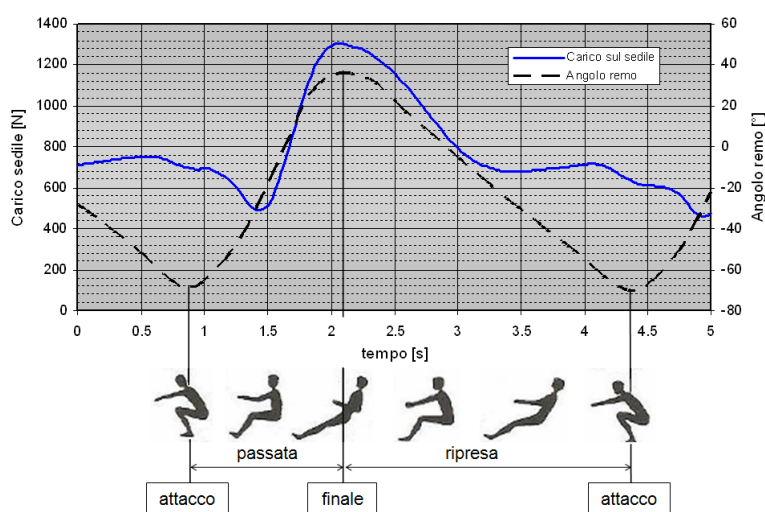


Figura 5: Andamento nel tempo del carico applicato dal vogatore sul seggiolino.

La curva di posizione del remo (in gradi) riportata nel grafico è utile per individuare le varie fasi della vogata relativamente alla curva di carico: in posizione di attacco gli angoli dei remi assumono valori minimi e negativi (remi verso prua), mentre valori crescenti individuano la fase di passata in acqua fino al raggiungimento della posizione detta “finale”. Valori di 0° corrispondono alla posizione dei remi perpendicolare allo scafo.

Dalla rianalisi statistica di tutte le acquisizioni eseguite si è osservato come il valore massimo di forza raggiunto risultasse di circa 1300 N, con atleta di circa 75 kg di peso corporeo. Visto che un atleta senior può arrivare a pesare anche 90 kg, si è deciso di applicare nelle prove di laboratorio un carico verticale pulsante con ampiezza massima di 1600 N e andamento sinusoidale. In accordo con l'andamento della forza osservato sperimentalmente, il rapporto di sollecitazione, $R = F_{\min}/F_{\max}$, è stato fissato pari a 0.1, e il carico è stato applicato con una frequenza massima di 4 Hz.

La durata obbiettivo è stata fissata in 10^6 cicli di carico senza rotture nel materiale. Questo valore è stato calcolato considerando una garanzia del costruttore di due anni e allenamenti degli atleti in acqua di 6 run a regime di gara da 250 colpi ciascuno per 330 giorni all'anno. Da qui la necessità per l'azienda committente che il seggiolino presenti una durabilità a fatica di almeno 990000 cicli (ovvero, colpi).

Materiali testato e attrezzatura

Sono stati provati al banco quattro sedili, di cui due trattati dall'azienda in ambiente salino con l'obiettivo di valutare anche l'effetto di ambienti altamente salini (acqua di mare) e studiarne l'eventuale cambiamento della resistenza a fatica.

Il trattamento, eseguito direttamente dal produttore, è consistito nell'immergere le sedute in acqua salata con il 7% di NaCl in peso, alla temperatura di 50°C, lasciando i seggiolini a bagno per 30 giorni. Successivamente le sedute sono state lavate e asciugate a temperatura ambiente. Il trattamento non è stato applicato seguendo una precisa normativa di riferimento, ma in base ad un protocollo consolidato interno all'azienda.

I seggiolini sono stati posizionati uno ad uno su un banco prove per mezzo di un'attrezzatura appositamente realizzata in modo da riprodurre le condizioni di utilizzo sulle imbarcazioni. A tale scopo sono state fissate le rotaie in alluminio di



scorrimento dei carrelli (ovvero, quelle solitamente impiegate sulle imbarcazioni), su due profilati in acciaio a “C” imbullonati al banco (Fig. 7).



Figura 6: Prova di fatica in corso.



Figura 7: Particolare delle guide di supporto e cuscino di carico.

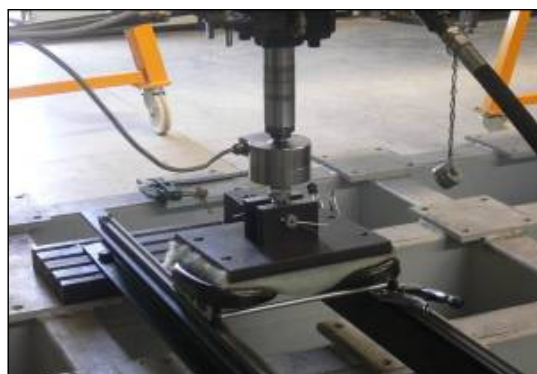


Figura 8: Prova su un seggolino.

Sopra ai seggolini è stato disposto un attuttore idraulico mantenuto in posizione verticale con una struttura a portale; la forza verticale di spinta è stata applicata alla seduta per mezzo di una piastra in acciaio di larghezza pari a quella del sedile. Per distribuire il carico nel modo più uniforme possibile è stato interposto tra la piastra e il seggolino un cuscino di materiale in fibra di poliestere, dello spessore di circa 100 mm (figure 6 e 8). Questo materiale è usualmente impiegato nei pannelli fonoassorbenti, ed è formato dalla sovrapposizione di sottili strati di “tessuto-non tessuto” in poliestere tra loro termolegati. L’effetto è quello di rendere il cuscino elastico e con coefficiente di Poisson circa nullo.

RISULTATI DELLE PROVE

Al termine di ognuna delle quattro prove non si sono verificati segni di cedimento nel composito; il cuscino non ha subito deformazioni o lacerazioni sulla superficie di contatto, e lo stesso chassy in alluminio impiegato in tutte le prove non ha subito danneggiamenti di alcun genere.

In Tab.1 sono riassunte le durate in cicli di ogni prova. L’ultima su un invecchiato è stata condotta per circa 250000 cicli in più rispetto alle precedenti.

Seggiolino	Cicli eseguiti
1 nuovo	1082200
2 nuovo	1005990
3 invecchiato	1022100
4 invecchiato	1296440

Tabella 1: Durata delle prove in cicli senza rottura.

È importante sottolineare come al termine di quest'ultima prova si sia riscontrata la presenza di un cricca superficiale di lunghezza di circa 4 mm, posizionata, sul lato inferiore e in prossimità di una piccola soffiatura della matrice, in mezzzeria della nervatura di irrigidimento (Fig. 9).

Da una accurata analisi ottica della superficie di rottura, si è riscontrato come tale cricca sia innescata da un difetto superficiale e la sua propagazione ha coinvolto solo in superficie la vernice epossidica (provocando una fessura nella direzione trasversale alla nervatura). Non si sono verificate comunque delaminazioni o rottura delle fibre sottostanti.

La prova ai liquidi penetranti ha messo in risalto le dimensioni del difetto (Fig. 11): appare evidente la piccola soffiatura di forma circolare al centro della marcatura.



Figura 9: Posizione del difetto superficiale riscontrato.

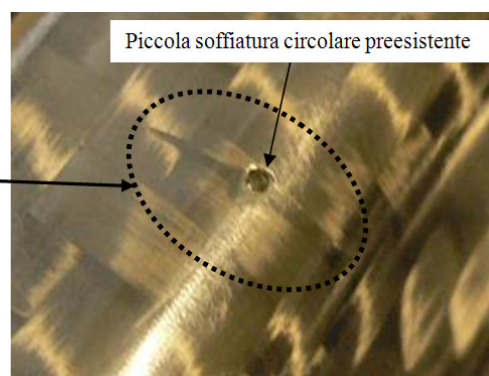


Figura 10: Particolare del difetto.



Figura 11: Cricca sottoposta a trattamento con liquidi penetranti.

CONCLUSIONI

Tutti i seggiolini provati presso i laboratori dell'Università di Ferrara hanno superato la prova di durabilità definita in base ai profili di carico applicati in esercizio da atleti professionisti. Durante tali test a secco non si sono verificate rotture importanti né nel materiale, né sulle sedute, né, tanto meno, sullo *chassy* in alluminio usato in tutte le prove. Il trattamento in ambiente salino applicato dall'azienda committente non ha comportato nessuna riduzione evidente della resistenza a fatica dei seggiolini testati. In particolare, solo una seduta ha presentato al termine della prova una cricca in mezzzeria della nervatura inferiore innescata da quello che si è ritenuto essere un difetto di fabbricazione. Per ogni seggiolino la rigidità è rimasta invariata durante tutto il tempo della prova, per un numero di cicli molto superiore a quello richiesto.



RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare la ditta *Tecnonautica Snc* di Donoratico per il supporto allo svolgimento del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Bettinelli, A. Placido, L. Susmel, R. Tovo, In: *AIAS 2008*, Roma (2008).
- [2] S. Bettinelli, A. Placido, L. Susmel, R. Tovo, In: *IGF Workshop on Fatigue of Welded Structures*, edited by B. Atzori and L. Susmel, Forni di Sopra (UD), Italy (2009).
- [3] S. Bettinelli, A. Placido, L. Susmel, R. Tovo, *An integrated data acquisition system for on-water measurement of performance in rowing*. *Strain*, (2010, in press).