



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale




CTN01\_00176\_163601



## TRIM

### Tecnologia e Ricerca Industriale per la Mobilità Marina

#### Individuazione materiali metallici e ceramici per inserti antiusura

Sotto-Progetto	Alleggerimento	
Obiettivo Realizzativo	Studio di un sistema velico alleggerito per una unità da diporto di 70 m a vela	
Descrizione attività	Individuazione materiali metallici e ceramici per inserti antiusura	
Tipo di documento	Rapporto Tecnico	
Codice del documento	SP.1-OR.1-D.3	
Data di emissione	28/02/2022	
Redazione	Andrea Corvi	 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE



FINCANTIERI



AZIMUT BENETTI  
GROUP







## Indice

<b>Elenco delle figure</b>	<b>2</b>
<b>Sommario</b>	<b>3</b>
<b>1 Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>2 Attività sperimentale</b>	<b>5</b>
2.1 Progetto dei tamburi . . . . .	5
2.2 Realizzazione . . . . .	5
2.3 Progetto e realizzazione di un banco prova . . . . .	7
2.3.1 Accoppiamento puleggia cilindro . . . . .	8
2.3.2 Telaio . . . . .	9
2.3.3 Motore, albero e cuscinetti . . . . .	10
2.3.4 Parte elettrica e di controllo . . . . .	11
2.4 Conduzione delle prove . . . . .	12
2.5 Risultati delle prove . . . . .	13
<b>3 Conclusioni</b>	<b>14</b>
<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>15</b>

## Elenco delle figure

1	Schema della soluzione con inserti inserite sulla superficie del tamburo. .	5
2	Stampo del cilindro durante l'applicazione degli inserti in ceramica inserti.	6
3	Cilindro senza inserti ceramici. . . . .	7
4	Cilindro con inserti ceramici. . . . .	7
5	Schema del sistema puleggia-cilindro. . . . .	8
6	Bozzelli 2, 3 e 4. . . . .	8
7	Telaio. . . . .	9
8	Banco prova assemblato. . . . .	9
9	Motore utilizzato per la realizzazione del banco prova. . . . .	10
10	Giunto di collegamento tra albero motore e albero condotto. . . . .	10
11	Cuscinetti con supporto. . . . .	11
12	Inverter per il controllo del motore trifase. . . . .	12
13	Tachimetro digitale. . . . .	12
14	Banco prova. . . . .	13



## Sommario

Nell'ambito del Progetto TRIM il CNR-INM ha affidato al DIEF lo svolgimento di attività di ricerca che fanno riferimento al programma del Progetto "Tecnologia e Ricerca Industriale per la Mobilità Marina" (TRIM) e si riferiscono in particolare allo sviluppo del Sotto-Progetto 1 (SP 1) "Alleggerimento". Questo si articola su sette Obiettivi Realizzativi (OR).

Le attività oggetto della presente convenzione sono inquadrare nell'OR 1.1 "Studio sistema velico alleggerito per una unità da diporto di 70 m a vela", nel cui ambito il DIEF è impegnato temi:

1.1.5 Analisi strutturale winch e progetto nuova campana

1.1.6 Individuazione materiali metallici e ceramici per inserti antiusura

Il presente rapporto tecnico è relativo all'attività 1.1.6.

## 1 Introduzione

Nello svolgimento dell'attività 1.1.5, i calcoli effettuati hanno potuto dimostrare che un cilindro di adeguato spessore, realizzato in vetroresina, è in grado di sopportare i carichi di esercizio con un peso finale inferiore a un analogo realizzato in materiale metallico.

Lo svantaggio dell'impiego della vetroresina nei confronti dell'acciaio è però principalmente quello della minore resistenza all'usura di tale materiale [1, 2, 3].

In letteratura si trovano alcuni esempi di processi per l'incremento della durezza superficiale di componenti in materiali compositi e quindi della loro resistenza all'usura. La maggior parte di questi sono basati su rivestimenti, anche con tecniche plasma spray, del manufatto con uno strato di materiale ceramico [4]. Altri autori propongono l'utilizzo di fibre ceramiche ( $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) come rinforzo del composito [5]. Si ritiene però che le tecnologie considerate in questi lavori siano troppo costose per la realizzazione di componenti quali i tamburi dei captive winch.

Si è previsto quindi che in questa fase (1.1.6) si potesse valutare la possibilità di realizzare il cilindro con l'inserimento di elementi duri (materiale metallico o ceramico) in grado di ridurre il danneggiamento del manufatto e quindi di prolungarne la vita.

A seguito di considerazioni preliminari, date le caratteristiche dei materiali da impiegare, si è scelto di focalizzare l'attività su rinforzi in materiale ceramico caratterizzati da una resistenza agli agenti chimici aggressivi, che si hanno in mare, superiore a quella dei metalli. Inoltre, si ritiene che i materiali ceramici offrano migliori caratteristiche di adesione alle resine che impregnano le fibre del composito.

## 2 Attività sperimentale

È stata condotta un'attività sperimentale finalizzata alla verifica di realizzabilità di un tamburo di avvolgimento in materiale composito con inserti in materiale ceramico. I test sono stati effettuati su prototipi al fine di valutare differenze sul comportamento a usura dei tamburi.

### 2.1 Progetto dei tamburi

Al fine di verificare la possibilità di realizzare dei tamburi in materiale composito con adeguate caratteristiche di resistenza all'usura, si è affrontata la problematica della realizzazione di cilindri con inserti in ceramica posti lungo le direttrici. Uno schema della soluzione proposta è riportato in Figura 1.

L'ipotesi è che la scotta non sia a contatto con la superficie di vetroresina se non per le parti tra gli inserti. In questo modo, si troverà a scorrere o comunque caricare elementi con una durezza superiore a quella della resina e quindi in grado di resistere maggiormente all'usura. L'inserimento degli elementi in ceramica, non porterà ad aumentare il peso della struttura in modo significativo.

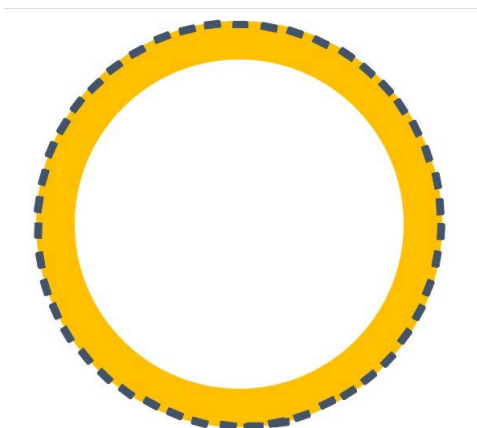


Figura 1: Schema della soluzione con inserti inserite sulla superficie del tamburo.

### 2.2 Realizzazione

Si è pertanto deciso di realizzare due cilindri di uguale diametro in vetroresina di cui una con inserti ceramici lungo le direttrici.

Per tale realizzazione è stata incaricata la ditta Starplast Srl di Quarrata (PT). Come stampi si sono utilizzati dei tubi in pvc del diametro di 400 mm.

Per la realizzazione è stato utilizzato un tessuto in fibra di vetro E MAT + stuoia accoppiata da 950 g/m<sup>2</sup> impregnato con resina isoftalica Distitron 1629 XYQ con una percentuale di fibra nel composito del 45%.

La tecnologia utilizzata è quella della stratificazione manuale (*manual lay up*). Lo spessore del composito è stato realizzato di 15 mm in modo da dare ai cilindri sufficiente rigidità.

Per la realizzazione del cilindro con gli inserti di ceramica sono state utilizzate delle matite in pasta bianca smaltata lunghe 200 mm di larghezza 15 mm. Gli inserti sono stati posti ad una distanza tra loro di circa 50 mm.

Per la realizzazione del manufatto, gli inserti sono stati prima inseriti nello stampo e posizionati secondo le specifiche (Figura 2); poi si è provveduto a effettuare la stratificazione in modo da poterli inglobare nella vetroresina.

In Figura 3 è mostrato il cilindro realizzato senza inserti mentre in Figura 4 si vede il cilindro con gli inserti in ceramica.



Figura 2: Stampo del cilindro durante l'applicazione degli inserti in ceramica.





Figura 3: Cilindro senza inserti ceramici.



Figura 4: Cilindro con inserti ceramici.

### 2.3 Progetto e realizzazione di un banco prova

Il dispositivo si pone l'obiettivo di studiare la differenza di usura tra un cilindro di materiale composito senza ulteriori inserti e uno con degli inserti ceramici sulla sua superficie.

Il test ideato consiste nell'utilizzare due cilindri, uno con inserti e l'altro semplice, sui quali è fatta scorrere in condizioni di strisciamento una cima in tensione; al fine di rendere il più oggettiva possibile la prova gli accoppiamenti cinematici e la tensione dei due cilindri sarà la stessa e l'albero che si occupa del moto delle pulegge condiviso.

### 2.3.1 Accoppiamento puleggia cilindro

Come si vede in Figura 5 è stato scelto di realizzare un sistema di pulegge per il tensionamento della cima che permettesse di non variare l'angolo di avvolgimento attorno al cilindro.

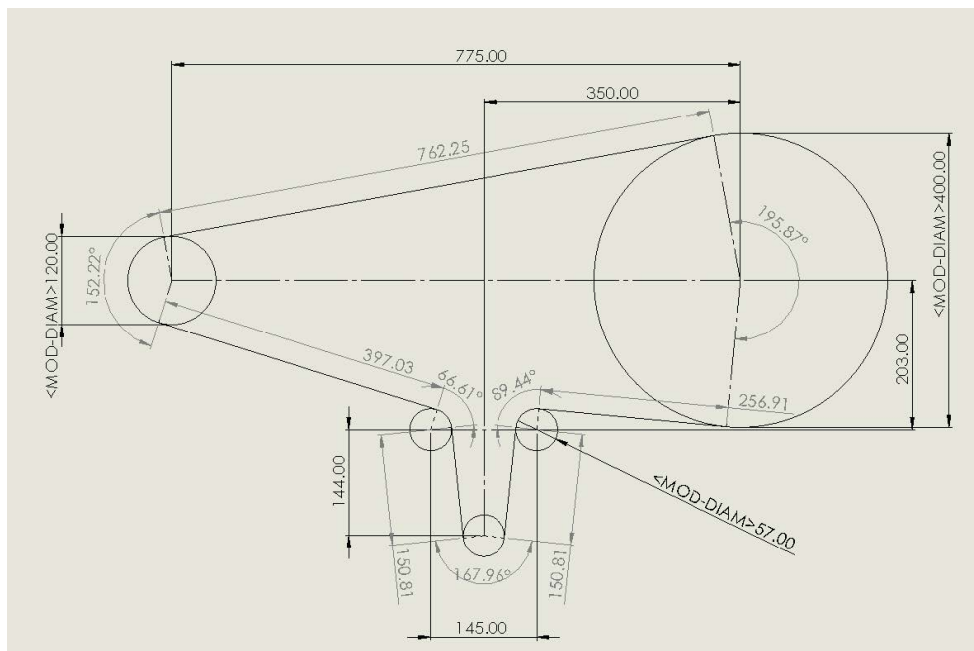


Figura 5: Schema del sistema puleggia-cilindro.

In questo schema la puleggia 1 è la puleggia conduttrice: è stata scelta una puleggia con sede trapezoidale in modo da massimizzare l'attrito tra la puleggia e la cima e non permettere lo slittamento tra i due componenti. Le pulegge 2 e 3 sono invece fissate sul telaio mentre la 4 è mobile, sospesa e tenuta in posizione dalla cima stessa, a questa puleggia viene applicata una massa sospesa che permette il corretto tensionamento della cima che avvolge il cilindro 5. I bozzelli 2, 3 e 4 hanno come requisito la possibilità di essere smontabili in quanto altrimenti sarebbe stato impossibile farci passare l'anello di cima all'interno e dovevano avere delle dimensioni sufficienti da permettere il corretto passaggio anche dell'impiombatura della cima. Sono stati quindi acquisiti i bozzelli in Figura 6.



Figura 6: Bozzelli 2, 3 e 4.

### 2.3.2 Telaio

Per semplicità costruttiva e di reperimento del materiale è stato scelto di costruire il telaio con profilati di ferro  $50 \times 50 \times 2$  opportunamente tagliati e saldati, ne è riportata una vista schematica in Figura 7.

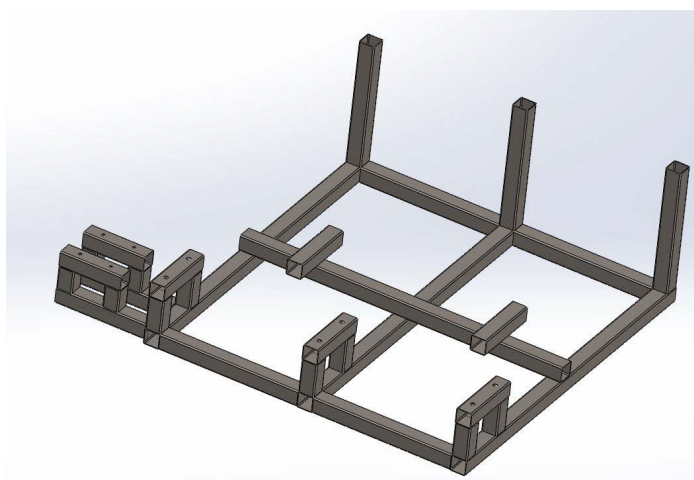


Figura 7: Telaio.

La traversa 1 non viene saldata al telaio in quanto, essendo il supporto per i bozzelli deve essere possibile farla passare all'interno dell'anello di cima, il telaio 2 è il supporto del motore e sui supporti 3 vengono montati i cuscinetti che supportano l'albero motore. Il telaio è pensato per essere appoggiato tra due supporti in modo che la puleggia con la massa per tensionare la cima non tocchi in terra. I profilati verticali servono per supporto ai due cilindri, che vengono tenuti in posizione con delle cinghie che avvolgono lo stesso cilindro e la parte orizzontale del telaio indicata con 4.

Il disegno del telaio assemblato è riportato in Figura 8.

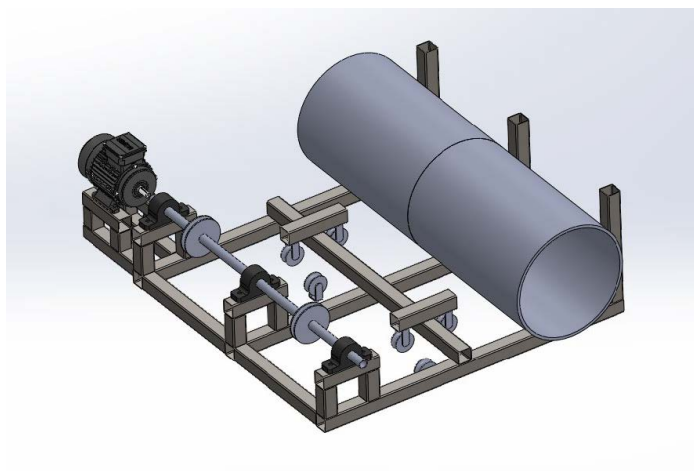


Figura 8: Banco prova assemblato.

### 2.3.3 Motore, albero e cuscinetti

Il motore scelto per questa applicazione è un motore sincrono trifase, in Figura 9, che può operare a 220 V in configurazione a triangolo, la sua potenza è di 0.75 kW e la velocità massima di rotazione di 1500 rpm, le dimensioni del motore sono le standard B3-80, quindi con un albero di 19 mm.



Figura 9: Motore utilizzato per la realizzazione del banco prova.

Per l'accoppiamento del motore con l'albero, che ha un diametro di 30 mm è stato scelto l'utilizzo del giunto Trasco serie GRB (Figura 10), che permette l'accoppiamento dell'albero motore con il giunto tramite una bussola conica, nel nostro caso di dimensione standard 1610. Il componente elastico centrale è stato scelto di elasticità intermedia, adatto, secondo il produttore, agli utilizzi di tipo generico.

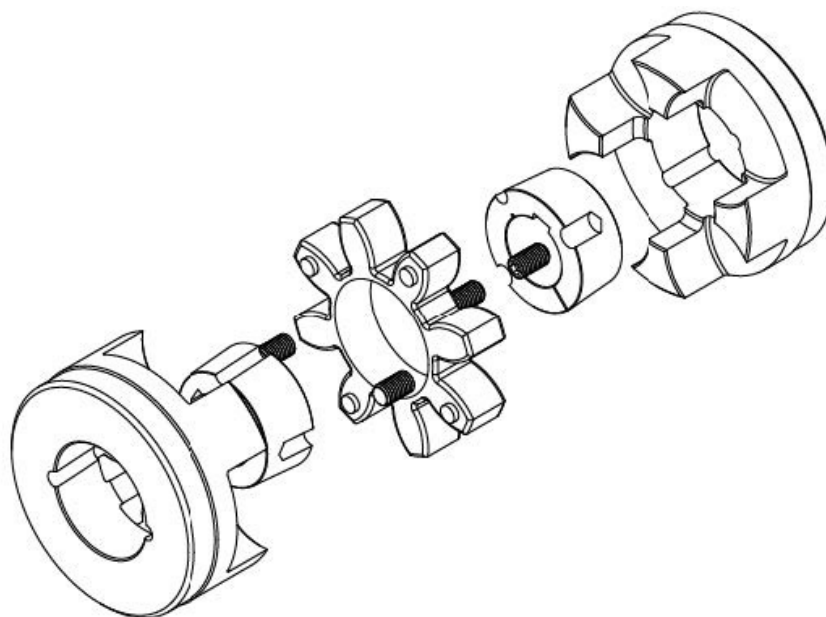


Figura 10: Giunto di collegamento tra albero motore e albero condotto.

Le pulegge motrici sono a gola singola a sede trapezoidale in modo che si massimizzi l'attrito con la cima, la dimensione della gola è la standard SPB, il diametro primitivo è di 125 mm e l'accoppiamento con l'albero è demandato a delle bussole coniche di misura standard 1610. I cuscinetti, in Figura 11, sono stati scelti già provvisti di supporto al fine di facilitarne il montaggio e il modello è stato scelto della serie UCP, indicata dal costruttore come adatta agli usi generici.

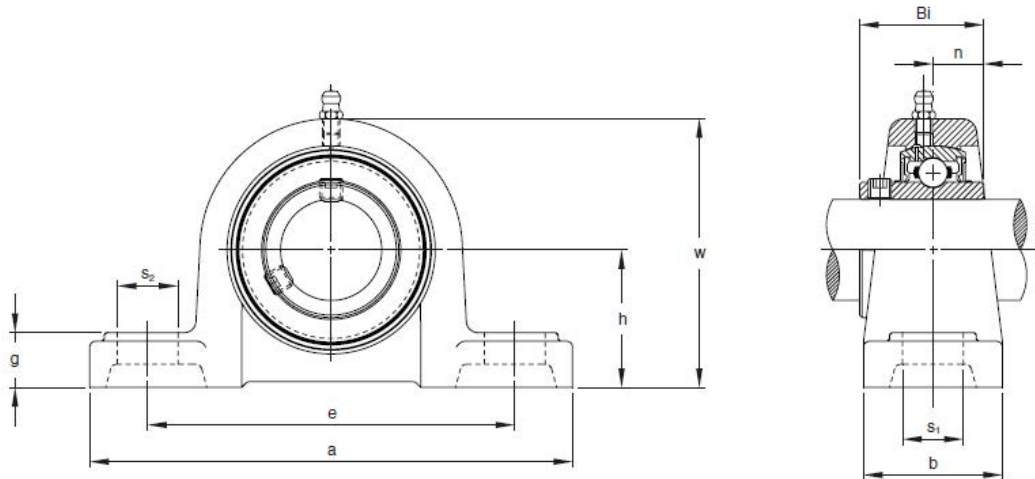


Figura 11: Cuscinetti con supporto.

Tutti i componenti sono stati scelti in modo da poter utilizzare un albero liscio e non dover fare lavorazioni su di esso, infatti sia i cuscinetti, tramite grani, che le pulegge e il giunto Trasco, tramite bussole coniche, sono assemblabili e bloccabili all'albero in maniera semplice e senza l'ausilio di macchinari complessi.

Si riporta di seguito la lista dei componenti acquistati con i relativi codici:

- 2 mozzi Trasco con codice GRMB 42/55 B2;
- Anello elastico AR 42/55;
- Bussola conica con codice BC 1610 F19;
- 2 pulegge con sede trapezoidale con codice PBT 125 SPB 1;
- 3 bussole coniche con codice BC 1610 F30;
- 3 cuscinetti con supporto UCP 206.

#### 2.3.4 Parte elettrica e di controllo

Per alimentare il motore è stato scelto un inverter, riportato in Figura 12 che potesse supportare la potenza richiesta e che fosse modulabile in frequenza al fine di poter variare la velocità del motore.



Figura 12: Inverter per il controllo del motore trifase.

Per avere una seconda lettura della velocità di rotazione è stato scelto di utilizzare anche un tachimetro digitale laser, in Figura 13, che permettesse un'accurata lettura del parametro.



Figura 13: Tachimetro digitale.

## 2.4 Conduzione delle prove

Le prove sono state condotte per 48 ore. La velocità di scorrimento della scotta è stata impostata in 0.5 m/s.

La tensione della scotta è stata mantenuta costante per tutta la durata dei test con delle masse calibrate da 3 kg.

Ogni due ore, la prova è stata interrotta e si sono analizzate le superfici dei cilindri. Le prove sono state condotte durante il giorno (9:00-17:00) e sospese durante la notte.

È noto come la temperatura influisca in modo rilevante sulle caratteristiche tribologiche dei manufatti in vetroresina [6, 7] per cui si è posta particolare attenzione a evitare che il cilindro potesse riscaldarsi eccessivamente durante il test.

La temperatura sui cilindri è stata monitorata tramite termometro a infrarossi Ketotek senza contatto. Il riscaldamento dovuto all'attrito tra scotta e cilindro non ha mai

portato a superare su quest'ultimo la temperatura di 45°C.

In Figura 14 è mostrato il banco prova durante il test sul cilindro con stratificazione tradizionale.



Figura 14: Banco prova.

## 2.5 Risultati delle prove

Un primo risultato dell'attività è stato quello di verificare la realizzabilità in modo non particolarmente complesso e costoso di un cilindro in materiale composito con inserti in ceramica.

Il cilindro ottenuto presso la ditta Starplast Srl è risultato perfettamente coerente con l'idea progettuale e gli inserti si sono mostrati perfettamente inglobati nel laminato in vetroresina.

Nel corso delle prove di scorrimento di una scotta sui due cilindri realizzati (quello standard e quello con inserti in ceramica) si sono potute rilevare tracce sul cilindro in vtr standard di un inizio di asportazione del materiale per usura. Nel cilindro con gli inserti in ceramica invece non si è notato alcuna asportazione di materiale.

Si ritiene quindi che la soluzione di utilizzare come tamburo del captive winch un cilindro in materiale composito con inserti in ceramica sia applicabile anche su imbarcazioni di lunghezza fuori tutto superiore ai 70 m.

### 3 Conclusioni

Nella presente attività è stato analizzato il comportamento strutturale di un captive winch progettato da Perini Navi per l'installazione su imbarcazioni a vela di lunghezza superiore a 70 m.

L'analisi ha permesso di evidenziare la possibilità di sostituire alcuni componenti, attualmente previsti in materiali metallici, con altri realizzati in materiali compositi.

In particolare, è stato effettuato un progetto di massima di un nuovo tamburo di avvolgimento della scotta per verificare la possibilità di realizzarlo in un composito di vetro e resina epossidica.

I calcoli effettuati hanno potuto dimostrare che un cilindro di adeguato spessore, realizzato in vetroresina, è in grado di sopportare i carichi di esercizio con un peso finale inferiore a un analogo realizzato in materiale metallico.

Il limite di una tale realizzazione è rappresentato dalla minore resistenza all'usura del composito rispetto al metallo. Analizzate le soluzioni proposte in letteratura per l'indurimento superficiale dei compositi, si è potuto verificare come queste comportino costi troppo elevati per la realizzazione dei tamburi dei captive winch. Si è pertanto proceduto alla valutazione della possibilità di realizzare un cilindro con inserti in materiale ceramico in modo da aumentare la resistenza all'usura del manufatto. Il cilindro così concepito è stato realizzato e sono stati condotti alcuni test per verificare la sua resistenza all'usura. I test sono stati effettuati su un banco prova appositamente realizzato e si è confrontato il comportamento di un cilindro con inserti in ceramica e di un uguale cilindro senza inserti. Il cilindro con inserti si è dimostrato capace di sopportare un numero superiore di cicli, rispetto a quello con laminazione standard, senza mostrare sensibile usura.



## Riferimenti bibliografici

- [1] Agrawal S., Singh K. K. e Sarkar P. K. A comparative study of wear and friction characteristics of glass fibre reinforced epoxy resin, sliding under dry, oil-lubricated and inert gas environments. *Tribology International*, 96(C):217–224, 2016.
- [2] Chairman C. A., Kumaresh B. e P. Subramani. Mechanical and abrasive wear behavior of glass and basalt fabric-reinforced epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(1):120–130, 2013.
- [3] Kumar S. e Singh K. K. Tribological behaviour of fibre-reinforced thermoset polymer composites: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 234(11):1439–1449, 2020.
- [4] Kanaginahal G. M., Kumar Muniraju A. e Murthy M. Coatings for enhancement of properties of polymer matrix composites: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(1, Part 3):2462–2465, 2018. International Conference on Advanced Materials and Applications (ICAMA 2016), June 15-17, 2016, Bengaluru, Karanataka, INDIA.
- [5] Kumar R., R. Singh e Hashmi M. S. J. Polymer-ceramic composites: A state of art review and future applications. *Advances in Materials and Processing Technologies*, pages 1–14, 2020.
- [6] Samyn P. e Zsidai L. Temperature effects on friction and wear of thermoset polyester fabric composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 56(9): 1003–1016, 2017.
- [7] Shahabaz S. M., Sharma S., Shetty N., Shetty S. D. e Gowrishankar M. Influence of temperature on mechanical properties and machining of fibre reinforced polymer composites: A review. *Engineered Science*, 16:26–46, 2021.