

# Onyx FR-A e Fibra di carbonio FR-A

Materiali per il settore aerospaziale



## Panoramica

Onyx FR è un nylon ignifugo riempito con fibre di carbonio corte destinato all'impiego in applicazioni in cui sono richieste parti resistenti alla combustione. Il materiale ha ottenuto la certificazione Blue Card UL ed è considerato V-0 (autoestinguente) a uno spessore pari o superiore a 3 mm. Può essere rinforzato con qualsiasi fibra continua ed è compatibile con le stampanti 3D di compositi industriali.

La fibra di carbonio FR è una variante ignifuga dell'esclusiva fibra di carbonio continua dalla resistenza ultra elevata: quando si utilizza per rinforzare un materiale composito come Onyx FR, può produrre componenti resistenti al pari dell'alluminio 6061-T6. È estremamente rigido e forte e può essere disteso con precisione in un'ampia varietà di geometrie. Puoi tracciare in modo programmato forme curve, rinforzare fori e simulare strati di fibra, tutto con pochi clic.

Onyx FR-A e Fibra di Carbonio FR-A sono appositamente costruiti per i requisiti dell'industria aerospaziale, dei trasporti e automotive. I materiali FR-A tracciano i materiali a livello di lotto e superano la serie di test necessari per la qualificazione, secondo quanto previsto dal Titolo 14 del CFR 25.853 (Code of Federal Regulations), per la maggior parte dei componenti stampabili in 3D. Per Onyx FR-A e Fibra di carbonio FR-A stampati con Markforged X7 è in corso l'iter di qualificazione attraverso il processo NCAMP.

Per informazioni specifiche contattare [aerospace@markforged.com](mailto:aerospace@markforged.com)

## Prestazioni dei materiali

Le varianti FR-A di Onyx e della fibra di carbonio sono impiegate in modo simile alle loro controparti standard. La Fibra di carbonio FR-A può migliorare le proprietà meccaniche delle parti Onyx FR-A. La regola delle miscele può essere usata per approssimare le proprietà meccaniche compressive dei compositi stampati. I risultati ottenuti possono variare in base ad una serie di fattori, tra cui condizioni ambientali, geometria delle feature, orientamento di stampa e condizioni di carico.

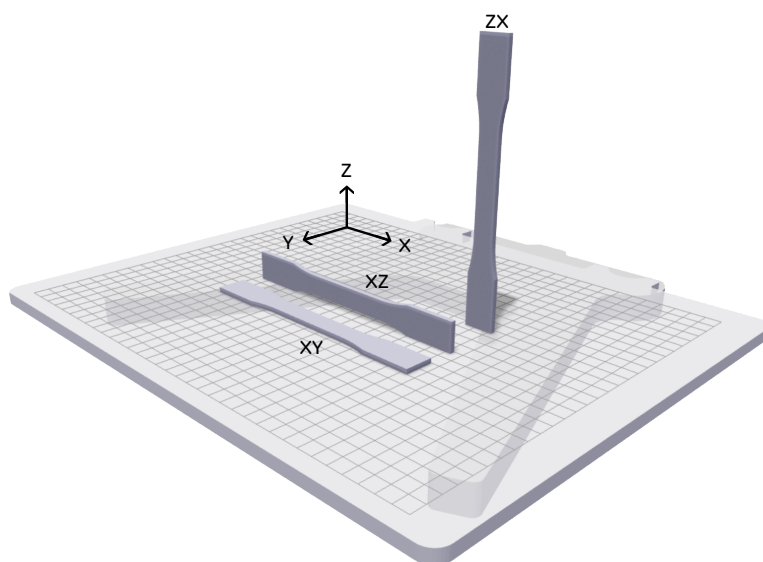
### Proprietà meccaniche

Proprietà	Unità	Prova (ASTM)	Onyx FR-A	Prova (ASTM)	CF FR-A
Resistenza a trazione	MPa (ksi)	D638	40 (5,8)	D3039	760 (110)
Modulo elastico a trazione	GPa (ksi)	D638	3 (440)	D3039	57 (8280)
Deformazione in trazione a rottura	%	D638	18	D3039	1,6
Resistenza a flessione	MPa (ksi)	D790	71 (10,3)	D790	540 (78,32)
Modulo elastico a flessione	GPa (ksi)	D790	3,6 (520)	D790	50 (7250)
Deformazione in flessione a rottura	%		—	D790	1,6
Prova d'urto di Izod - con intaglio	J/m (ft•lb/in)	D256-10 A	—	D256-10 A	810 (15,2)
Densità	g/cm <sup>3</sup>	—	1,2	—	1,2
Temperatura di rammollimento a flessione	gradi C (gradi F)	D648 B	145 (293)	D648 B	105 (221)
CTE XY medio, 25-145 °C	µm/(m•°C)	—	30	—	—

### Proprietà meccaniche direzionali di Onyx FR

Le proprietà meccaniche dei materiali stampati in 3D possono variare con l'orientamento di stampa. In tensione, la maggior parte delle parti dimostra massima resistenza quando l'orientamento di stampa e la direzione di carico sono paralleli, e resistenza minima quando l'orientamento di stampa e la direzione di carico sono perpendicolari.

Proprietà	Orientamento di stampa	Media	Deviaz. st.
Carico di snervamento* (MPa)	XY	46,6	0,16
	ZX	15,7	0,9
	XZ	40,6	0,6
Resistenza a trazione (MPa)	XY	46,7	0,3
	ZX	16,2	0,8
	XZ	40,3	1,2
Modulo elastico a trazione (GPa)	XY	3,27	0,08
	ZX	1,05	0,08
	XZ	2,94	0,11
Allungamento a rottura (%)	XY	14,0	0,4
	ZX	3,9	0,4
	XZ	25,5	7,6



## Prestazioni FST (fiamma, fumo e tossicità)

Onyx FR-A da solo e Onyx FR-A con rinforzo in fibra di carbonio FR-A hanno dimostrato prestazioni relative alla prova di infiammabilità che soddisfano le specifiche CFR 25.853 a uno spessore di 3,7 mm, ad eccezione del rilascio di calore. Per informazioni sui limiti per le potenziali applicazioni, consultare PS-ANM-25.853-01-R2. Le prestazioni relative alla prova di fumo hanno soddisfatto le specifiche CFR 25.853 a uno spessore di 3,7 mm, ma non a uno spessore di 2 mm. Le prestazioni relative alla prova di tossicità di combustione

hanno soddisfatto le specifiche Boeing BSS 7239 Flaming a uno spessore di 2 mm. I campioni generalmente più sottili hanno maggiore difficoltà a superare le prove. Le prestazioni dei campioni più sottili che hanno superato le prove (e il rilascio di calore per il campione testato con spessore massimo che non ha superato la prova) sono illustrate in basso. Tutti i campioni sono stati stampati con riempimento solido.

Categoria di prova	Dettaglio prova	Specificata	Spessore	Caricamento con fibre continue	Prova	Criteri di superamento	Risultato della prova	Esito
Infiammabilità	Verticale (60 sec)	FAR 25.853 Appendice F, Parte I (a) (1) (i)	2 mm	Nessuna	Tempo di comb. Durata di comb. Durata comb. massima	$\leq 15$ sec $\leq 6$ pollici $\leq 3$ sec	9 sec 4,1 pollici Nessuno	Prova superata
			2 mm	Completo	Tempo di comb. Durata di comb. Durata comb. massima	$\leq 15$ sec $\leq 6$ pollici $\leq 3$ sec	9 sec 4,3 pollici Nessuno	Prova superata
	Verticale (12 sec)	FAR 25.853 Appendice F, Parte I (a) (1) (ii)	2 mm	Nessuno	Tempo di comb. Durata di comb. Durata comb. massima	$\leq 15$ sec $\leq 8$ pollici $\leq 5$ sec	2 sec 1,0 pollici Nessuno	Prova superata
			2 mm	Completo	Tempo di comb. Durata di comb. Durata comb. massima	$\leq 15$ sec $\leq 8$ pollici $\leq 5$ sec	0 sec 1,3 pollici Nessuno	Prova superata
	Orizzontale (15 sec)	FAR 25.853 Appendice F, Parte I (a) (1) (iv)	2 mm	Nessuna	Vel. di comb. media	$\leq 2,5$ poll/min	0 poll/min	Prova superata
			2 mm	Completo	Vel. di comb. media	$\leq 2,5$ poll/min	0 poll/min	Prova superata
Rilascio di calore*	FAR 25.853 Appendice F, Parte IV	3,7 mm	Nessuna	Media max Media totale 2 min	$\leq 65$ kW/m <sup>2</sup> $\leq 65$ kW-min/m <sup>2</sup>	196 kW/m <sup>2</sup> 158 kW-min/m <sup>2</sup>	Prova non superata	
		3,7 mm	Completo	Media max Media totale 2 min	$\leq 65$ kW/m <sup>2</sup> $\leq 65$ kW-min/m <sup>2</sup>	97 kW/m <sup>2</sup> 114 kW-min/m <sup>2</sup>	Prova non superata	
Fumo	Densità di fumo - modalità di infiammabilità	FAR 25.853 Appendice F, Parte V	3,7 mm	Nessuna	Ds	$\leq 200$	191	Prova superata
			3,7 mm	Parziale**	Ds	$\leq 200$	139	Prova superata
			3,7 mm	Completo	Ds	$\leq 200$	115	Prova superata
Tossicità	Tossicità di combustione	BSS 7239	2 mm	Nessuna	HCN CO NO / NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> HF HCL	$\leq 150$ PPM $\leq 3500$ PPM $\leq 100$ PPM $\leq 100$ PPM $\leq 200$ PPM $\leq 500$ PPM	— / — 351 / 368 20 / 34 7 / 9 <1 / <1 15 / 25	Prova superata
			2 mm	Completo	HCN CO NO / NO <sub>2</sub> SO <sub>2</sub> HF HCL	$\leq 150$ PPM $\leq 3500$ PPM $\leq 100$ PPM $\leq 100$ PPM $\leq 200$ PPM $\leq 500$ PPM	35 / 40 81 / 49 5 / 3 0 / 0 <1 / <1 25 / 30	Prova superata

\*Secondo PS-ANM-25.853-01-R2, la prova di rilascio di calore non è richiesta per la maggior parte delle parti rivolte internamente stampabili sulla X7, in quanto presentano un'area di superficie esposta al di sotto della soglia specificata per i componenti di cabina.

\*\*Campione parziale prodotto come pannello a sandwich a 2 strati

## Compatibilità stampanti e materiali

### Onyx FR-A

Disponibile per l'utilizzo su tutte le stampanti 3D industriali Markforged (X7, X5, X3).

Può essere rinforzato con fibre continue disponibili.

### Fibra di carbonio FR-A

Disponibile per l'utilizzo sulla X7.

Compatibile solo come rinforzo per Onyx FR-A.

Stampante	Base composita	Fibra continua
X7	Onyx FR-A	Fibra di carbonio FR-A Fibra di carbonio Fibra di vetro HSHT Kevlar Fibra di vetro Nessun rinforzo
X5	Onyx FR-A	Fibra di vetro Nessun rinforzo
X3	Onyx FR-A	Nessun rinforzo

## Dati futuri

I materiali Onyx FR-A e Fibra di carbonio FR-A sono attualmente in fase di qualificazione NCAMP, che fornirà risultati aggiuntivi dopo il completamento, tra cui:

Dati meccanici direzionali espansi

Dati meccanici ambientali

Temperatura di transizione vetrosa

Coefficiente di espansione termica (CTE)

Esposizione ai raggi UV

Sensibilità del fluido a fluidi aerospaziali comuni tra cui carburanti, lubrificanti e agenti pulenti

Per maggiori informazioni sulle condizioni di prova specifiche o per richiedere parti da esaminare nelle prove interne, contattare un rappresentante Markforged. Tutte le parti dei clienti devono essere testate secondo le specifiche del cliente.

Questi dati rappresentativi sono stati testati, misurati o calcolati utilizzando metodi standard e sono soggetti a modifica senza preavviso. Markforged non fornisce garanzie di alcun tipo, esplicite o implicite, incluse, a titolo esemplificativo, garanzie di commerciabilità, idoneità per un uso particolare o protezione dalla violazione di brevetti, e non si assume alcuna responsabilità in relazione all'uso di queste informazioni. I dati riportati nel presente documento non devono essere utilizzati per fissare limiti relativi a progettazione, controllo qualità o specifiche, e non sono destinati a sostituire i test eseguiti internamente dall'azienda per determinare l'idoneità per un'applicazione specifica. Nulla di quanto contenuto nella presente scheda tecnica deve essere interpretato come una licenza a operare in base a, o una raccomandazione a violare qualsiasi diritto di proprietà intellettuale.

