



# Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

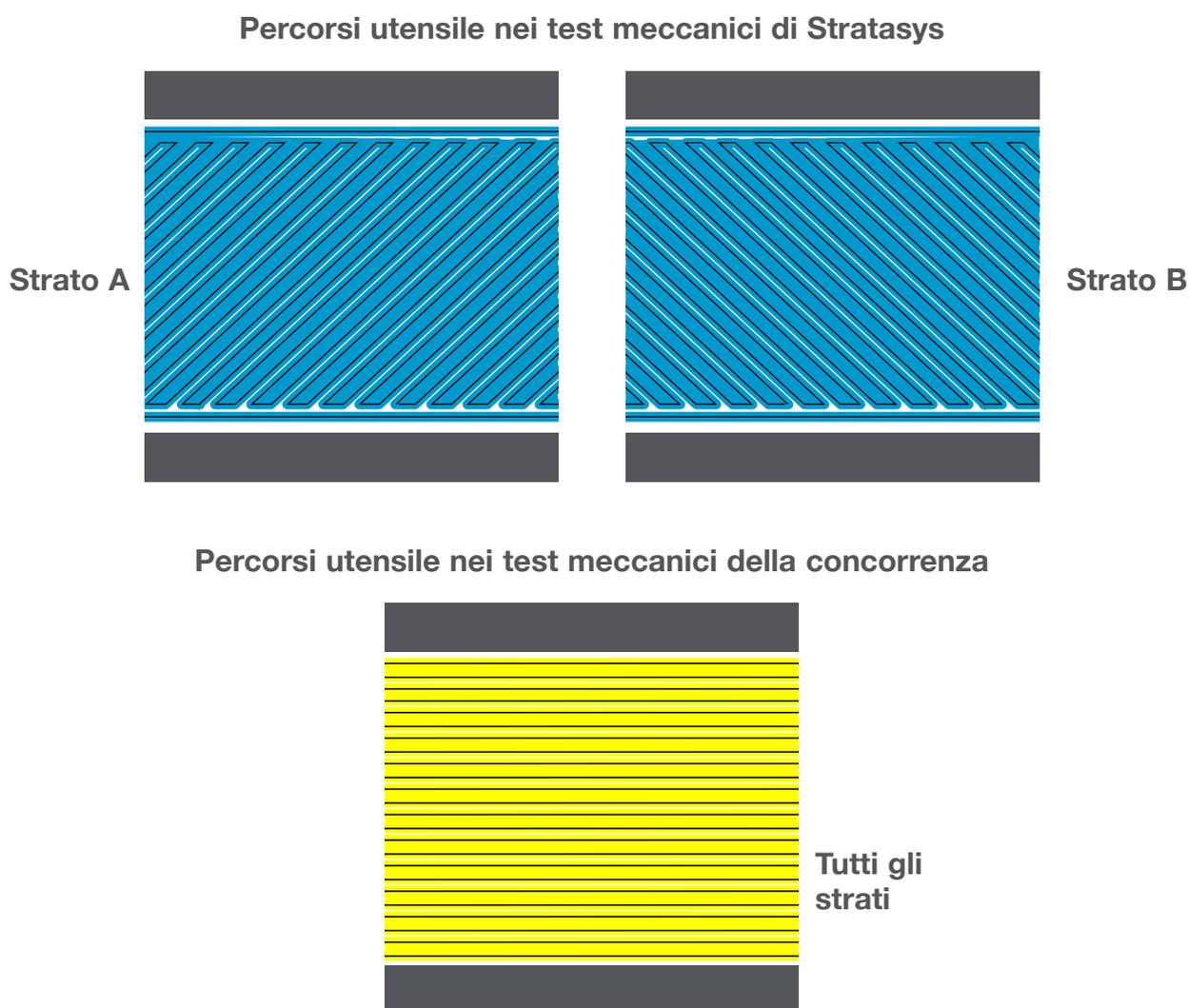
## Sommario

Questo white paper nasce dalla volontà di fare chiarezza su certe affermazioni dei concorrenti in merito a proprietà superiori dei materiali FFF (Fabbricazione a Filamento Fuso), nonostante i test interni di Stratasys dimostrino il contrario. L'incongruenza tra le specifiche pubblicate e quelle comprovate deriva dalle differenze nei percorsi utensile e nell'orientamento di costruzione dei campioni di prova meccanici tra i metodi di test di Stratasys e quelli della concorrenza. Sottoponendo i provini ai percorsi utensile unidirezionali ottimizzati utilizzati dalla concorrenza invece dei percorsi utensile standard di Stratasys, rispetto alle specifiche effettive pubblicate, il Nylon-CF10 FDM® ha registrato una performance migliore del 160% per la temperatura di deflessione del calore (HDT), del 152% per il modulo di trazione e del 94% per la resistenza alla trazione. La stampa di campioni meccanici con percorsi unidirezionali è utile per mostrare la massima resistenza di un materiale rinforzato con fibra di carbonio, ma non è rappresentativa della resistenza interna del materiale di un tipico pezzo FFF.

# Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

## Introduzione

In Stratasys, le proprietà meccaniche vengono testate in modo coerente e trasparente ([vedi Procedura di test dei materiali Stratasys per prove standard per FDM](#)). I percorsi utensile seguono la nostra configurazione predefinita, con un orientamento degli strati a  $45^{\circ}/-45^{\circ}$  l'uno rispetto all'altro. Questo significa che il primo strato raster è inclinato di  $45^{\circ}$  sul piano **XY**, mentre lo strato successivo è perpendicolare rispetto al primo ( $-45^{\circ}$ ). In una geometria rettangolare semplice, questo corrisponde all'alternanza tra lo strato A e lo strato B rappresentata nella **Figura 1**. Testare le proprietà meccaniche con raster a  $45^{\circ}/-45^{\circ}$  produce prestazioni più isotropiche sul piano **XY** ed è rappresentativo dei percorsi utensile utilizzati per pezzi di grandi dimensioni, come quelli impiegati in produzione.



**Figura 1** - Differenza tra i percorsi utensile nei test meccanici di Stratasys e della concorrenza. Stratasys predispone raster con un angolo di  $45^{\circ}$  e un offset perpendicolare tra gli strati. I concorrenti utilizzano percorsi utensile unidirezionali che non variano da uno strato all'altro.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

Nella costruzione dei pezzi con la tecnologia FDM, gli strati vengono sovrapposti singolarmente e questo si traduce in una minore coesione tra di essi e, di conseguenza, in una minore resistenza nella direzione verticale (Z) rispetto al piano XY. Nella stampa di un materiale rinforzato come il Nylon-CF10 o l'ABS-CF10, questo aspetto è accentuato in quanto la fibra di carbonio si allinea nei percorsi utensile e accresce la resistenza all'interno del piano XY. Stratasys testa le proprietà meccaniche sul pezzo orientato sul bordo laterale (XZ) e in verticale (ZX) (vedi Figura 2). Offrendo i dati corrispondenti alla posizione verticale (ZX) si prospetta la condizione di maggiore debolezza di modo che i componenti possano essere progettati tenendo conto delle prestazioni meccaniche del "caso peggiore" e garantendo così un più ampio margine di sicurezza.

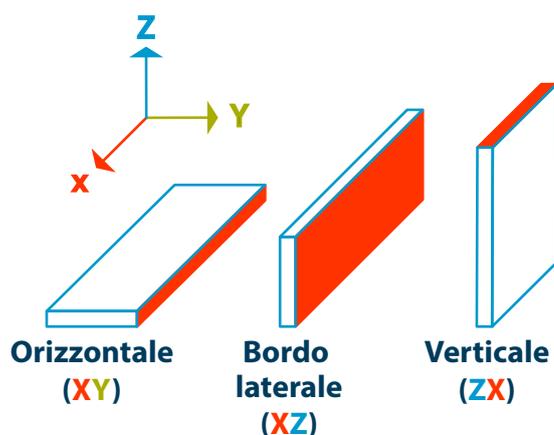
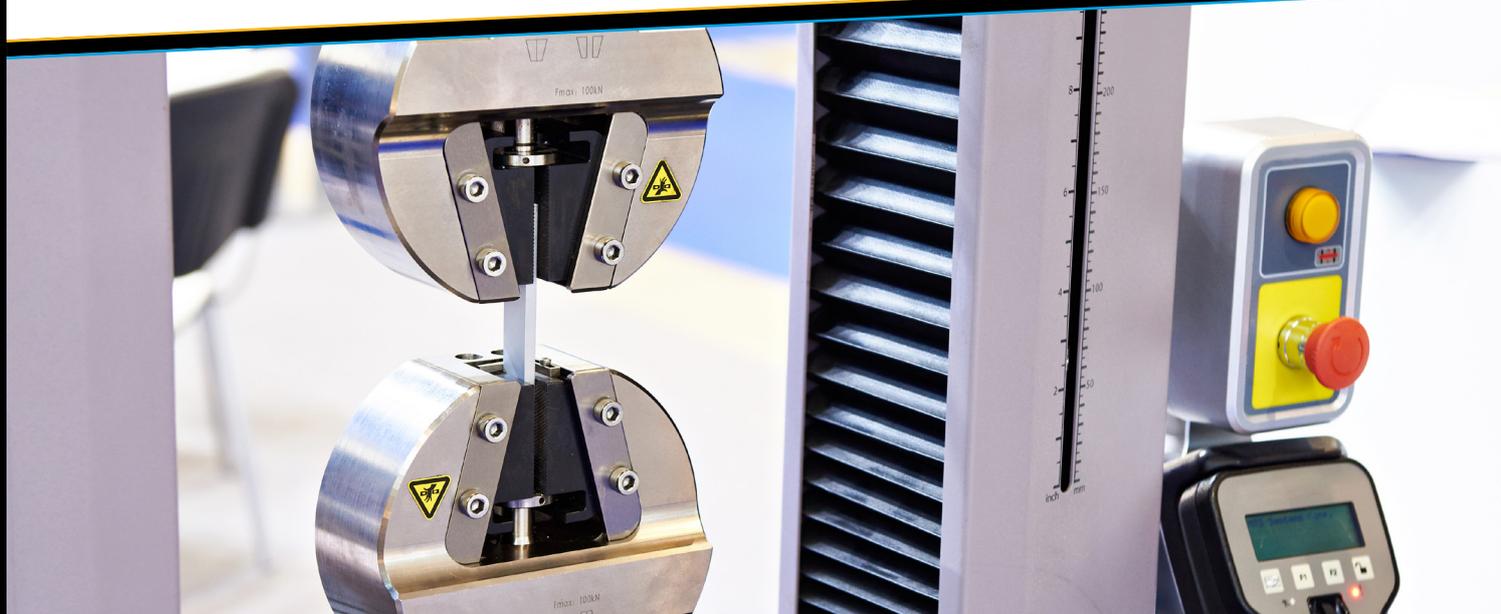


Figura 2- Orientamenti di stampa.

I produttori di tecnologie FFF concorrenti tendono a selezionare e presentare le proprietà meccaniche e fisiche ottenute da percorsi utensile ottimizzati in fase di impostazione del test. Ad esempio, uno dei concorrenti fornisce solo i dati relativi all'orientamento orizzontale (XY) con percorsi utensile unidirezionali, come quelli illustrati nella Figura 1. Utilizzando un materiale rinforzato, le fibre di carbonio allineate contribuiscono ad accrescere la resistenza sul piano di costruzione XY. Questo metodo di ottimizzazione dei percorsi utensile è utile per mostrare la resistenza massima dei materiali rinforzati, ma va usato con cautela in quanto non è rappresentativo dei percorsi utensile e della resistenza tipica di un pezzo.

Per illustrare le migliori prestazioni con i percorsi utensile unidirezionali, Stratasys ha stampato campioni in ABS-CF10 e Nylon-CF10 sottoponendoli a temperatura di deflessione del calore (HDT), flessione, trazione e impatto con intaglio. Questo white paper descrive le procedure e le prestazioni migliorate dei materiali quando si utilizzano percorsi utensile unidirezionali.



## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Procedura del test

Per elaborare i file di stampa con percorso utensile unidirezionale per provini per HDT, trazione, flessione e impatto, è stato utilizzato il software Insight™. Sono stati predisposti campioni di entrambi i materiali, ABS-CF10 e Nylon-CF10. Nelle sottosezioni seguenti sono riportati i dati specifici relativi ai parametri di lavorazione e ai metodi di prova. Salvo diversamente specificato, sono stati applicati i parametri e gli standard di elaborazione predefiniti. Per l'elaborazione dei file, i campioni comparativi in questi materiali con raster standard a 45°/-45° sono stati sottoposti ai protocolli previsti dalla [Procedura di test dei materiali Stratasys](#).

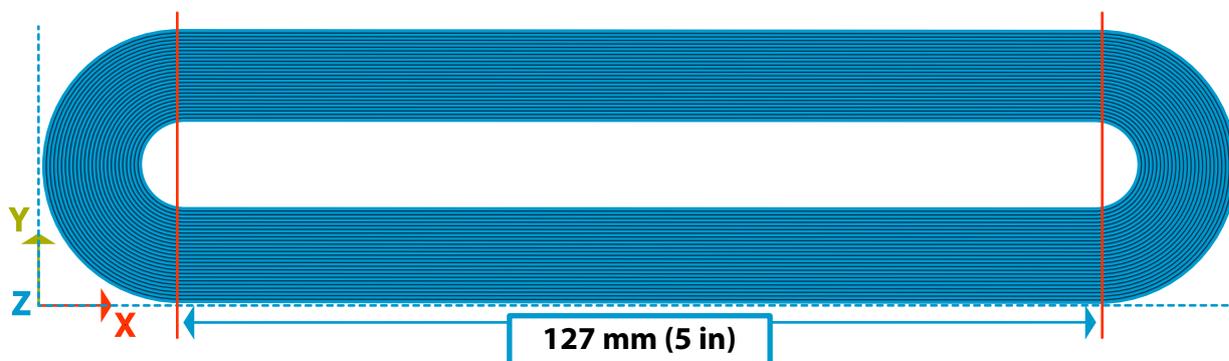
Tutti i pacchetti di costruzione sono stati creati con il software Control Center™ seguendo il processo descritto nella Procedura di test dei materiali Stratasys. I campioni in ABS-CF10 sono stati stampati con una F370® e i campioni in Nylon-CF10 con una F370®CR. Per ciascun tipo è stato utilizzato materiale proveniente dal medesimo lotto. In entrambi i casi, è stato utilizzato anche il materiale QSR Support™. Per rimuovere il supporto i provini di Nylon-CF10 sono stati messi in vasca per 4-6 ore, mentre dai campioni in ABS-CF10 è stato asportato manualmente.

Per le prove di trazione, flessione e impatto sono stati testati 10 campioni per ogni tipo di materiale e percorso utensile. Per l'HDT sono stati eseguiti test su tre campioni di ciascun materiale alle diverse pressioni [0,45 MPa e 1,8 MPa (66 e 264 psi)]. I dati dei test fisici e meccanici per questo studio sono riportati di seguito nel dettaglio.

Per l'elenco completo delle versioni di software e delle apparecchiature di prova vedi l'Appendice A.

### Test di temperatura di deviazione del calore

Per il test di HDT sono stati utilizzati provini di 127 x 12,7 x 5,1 mm (5 x 0,5 x 0,2 in), stampati con orientamento orizzontale (XY) e percorsi utensile unidirezionali. Per fare questo, i provini sono stati stampati a forma di "circuiti" dai contorni continui, ottenendo così due campioni di lunghezza sovradimensionata ed estremità arrotondate, come mostrato nella [Figura 3](#). Le estremità sono state quindi tagliate a misura e rimosse nei punti indicati nella [Figura 3](#).



**Figura 3** - Circuito con due provini HDT uniti per consentire la continuità dei contorni. Le estremità semicircolari sono state rimosse lasciando solo il campione HDT.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

In fase di elaborazione in Insight, i parametri del percorso utensile sono stati modificati specificando 15 contorni e una larghezza di contorno di 0,0210 in per il Nylon-CF10 e 0,0208 in per l'ABS-CF10. Quando è stata utilizzata la larghezza di contorno predefinita di 0,02 in, al centro del campione è apparso un piccolo raster (vedi Figura 4). Visivamente si nota una piccola lacuna nei percorsi utensile del campione ABS-CF10 in Insight, ma al momento della stampa il provino presentava un riempimento eccessivo sulla superficie superiore ed è stato necessario ridurre la larghezza del contorno a 0,0208 in. La Figura 5 mostra un esempio delle impostazioni di Insight per i campioni HDT.

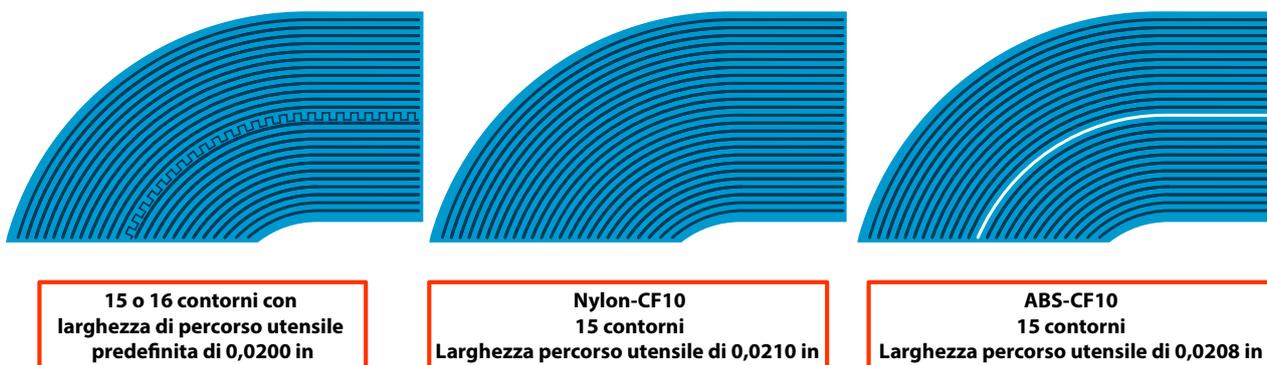
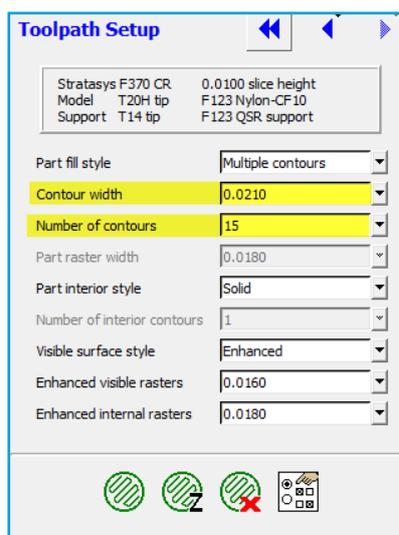


Figura 4 - Esempio di contorni sul circuito HDT. Utilizzando l'ampiezza di contorno predefinita, al centro del campione era visibile una piccola traccia raster. Per l'ABS-CF10 e il Nylon-CF10, la larghezza del contorno è stata aumentata di 0,0008-0,0010" per i percorsi utensile completamente unidirezionali.



I provini HDT unidirezionali sono stati testati a 0,45 e 1,8 MPa (66 e 264 psi). Sono stati esaminati tre provini per ciascun materiale e valore di pressione, seguendo la Procedura B ASTM D648 con lunghezze di ~51 mm (~2 in). Prima di eseguire il test, tutti i campioni HDT sono stati sottoposti a condizionamento per un minimo di 16 ore a  $70 \pm 0,5$  °C ( $158$  °F  $\pm 0,9$  °F) in un forno a vuoto a meno di 100 mbar.

Figura 5 - Esempio di parametri del percorso utensile modificati per HDT. I parametri modificati sono evidenziati in giallo.

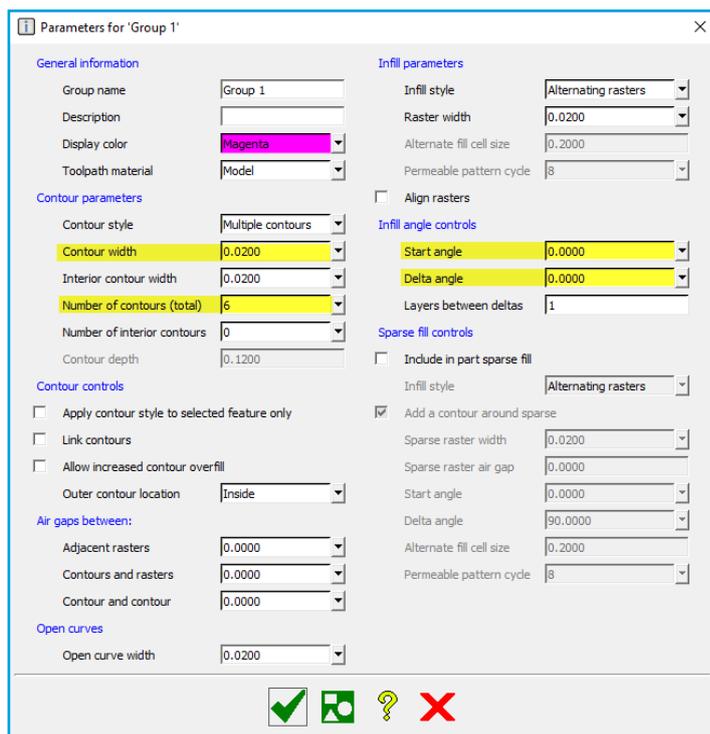
# Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

## Resistenza alla trazione

I test meccanici di trazione sono stati eseguiti su campioni di Tipo I come da ASTM D638, spessore = 3,3 mm (0,130 in). Per creare i percorsi utensile unidirezionali, tutte le curve del campione sottoposto a test di trazione sono state aggiunte a un gruppo personalizzato in Insight. Il gruppo personalizzato si è reso necessario per poter applicare un angolo delta di 0° ed evitare che la sezione raster del provino fosse perpendicolare a strati alternati. All'interno del gruppo personalizzato, i percorsi utensile modificati hanno utilizzato sei contorni e i parametri dell'angolo di riempimento sono stati impostati con un angolo iniziale di 0° e un angolo delta di 0°. Per il Nylon-CF10 si è mantenuta la larghezza di contorno predefinita di 0,02 in, mentre per l'ABS-CF10 la larghezza del contorno è stata impostata su 0,0198 in, in quanto al valore predefinito di 0,02 in la parte risultava eccessivamente piena. La **Figura 6** mostra i provini di trazione con i percorsi utensile unidirezionali in posizione nella zona utile centrale. La **Figura 7** mostra i parametri del percorso utensile modificati all'interno del gruppo personalizzato applicato per la parte.



Figura 6 - Provino di trazione D638 con percorsi utensile unidirezionali in posizione nella zona utile centrale.



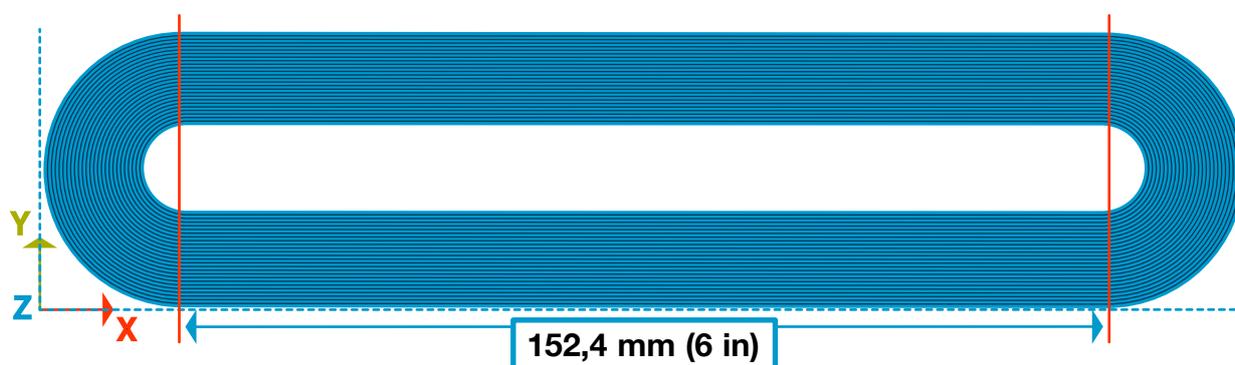
I test meccanici di trazione sono stati eseguiti secondo la norma ASTM D638 con una velocità di traslazione di 0,2 in/min. Il modulo di trazione è stato calcolato sui valori di sollecitazione-deformazione dal 15% al 35% del carico massimo. Prima di eseguire il test, tutti i campioni sono stati sottoposti a condizionamento per un minimo di 40 ore a 23 ± 2 °C (73 °F ± 3,6 °F) e 50 ± 10% UR.

Figura 7 - Esempio di gruppi personalizzati per provini di trazione unidirezionali. I parametri modificati per il Nylon-CF10 sono evidenziati in giallo.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Resistenza alla flessione

I test meccanici di flessione sono stati eseguiti su provini ASTM D790 di 10,2 x 6,1 x 152,4 mm (0,4 x 0,24 x 6 in). Come nel caso del test HDT, i provini sono stati realizzati a forma di "circuitino" con solo contorni, le cui estremità sono state poi eliminate (vedi **Figura 8**). Per assicurare il pieno riempimento di ogni parte del provino sono state apportate piccole modifiche alla larghezza del contorno, poi ridotte in caso di riempimento eccessivo durante la stampa. Riguardo ai parametri del percorso utensile modificati in Insight, i contorni sono stati impostati su 10 con una larghezza di contorno di 0,0201 in per il Nylon-CF10 e di 0,02005 in per l'ABS-CF10.

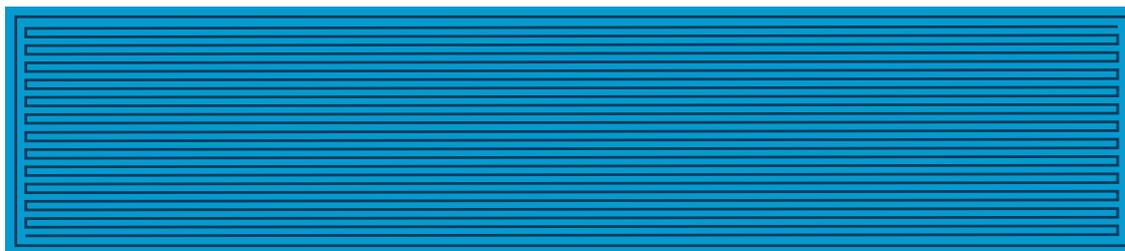


**Figura 8** - Circuito con due provini per test di flessione uniti per consentire la continuità dei contorni. Le estremità semicircolari sono state rimosse lasciando solo il campione di flessione.

I test meccanici di flessione sono stati eseguiti sui campioni seguendo la procedura A ASTM D790 con lunghezze di ~ 2 in e una velocità di deformazione di 0,01 in/min. Prima di eseguire il test, tutti i campioni sono stati sottoposti a condizionamento per un minimo di 40 ore a  $23 \pm 2$  °C ( $73$  °F  $\pm 3,6$  °F) e  $50 \pm 10\%$  UR.

### Prova d'urto Izod (tenacità intaglio)

La prova d'urto Izod è stata eseguita su campioni ASTM D256 dello spessore di 3,175 mm (0,125 in). Come nel caso del provino di trazione, i percorsi utensile sono stati creati configurando un gruppo personalizzato, in modo da poter impostare l'angolo delta del raster su 0°. Il gruppo personalizzato è stato impostato con un contorno singolo, riempimento solido, angolo di riempimento iniziale di 0° e angolo delta di 0°, larghezze di contorno e raster predefinite. Ne è risultato un riempimento di ciascuno strato del provino come quello mostrato nella **Figura 9**.



**Figura 9** - Percorsi utensile del campione d'urto Izod unidirezionale.

Le prove d'urto Izod sono state eseguite secondo il Metodo A ASTM D256 con una capacità di pendolo di 2 o 16,1 ft\*lb. L'intaglio è stato creato dopo la stampa in conformità alla norma ASTM D256. Prima di eseguire il test, tutti i campioni sono stati sottoposti a condizionamento per un minimo di 40 ore a  $23 \pm 2$  °C ( $73$  °F  $\pm 3,6$  °F) e  $50 \pm 10\%$  UR.

## Oltre la scheda tecnica:

# i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

## Risultati e analisi

Nella valutazione dei risultati dei test unidirezionali sono stati inclusi i dati esistenti delle schede tecniche dei materiali e altri set di dati testati secondo la Procedura di test dei materiali Stratasys per confrontare le prestazioni meccaniche. I dati non elaborati per il test unidirezionale sono disponibili su richiesta. Nell'**Appendice B** si trovano le tabelle con sistema di unità imperiali.

## Test HDT

L'HDT è la temperatura alla quale un materiale sottoposto a carico inizia a rammollirsi o a deformarsi, indicandone la resistenza al calore. Aiuta a determinare la temperatura massima che un materiale può sopportare senza subire deformazioni o cedimenti significativi.

La **Tabella 1** mostra i dati HDT per l'ABS-CF e il Nylon-CF. I percorsi utensile unidirezionali nell'ABS-CF10 evidenziano aumenti incrementali rispetto ai percorsi standard 45°/-45° a entrambe le pressioni. Il Nylon-CF10 mostra aumenti significativi di circa il 160% tra i percorsi utensile unidirezionali e gli standard di Stratasys. Va notato anche che i percorsi utensile unidirezionali sono superiori ai dati HDT del pezzo stampato. Allineando le fibre di carbonio lungo i percorsi utensile, invece di lasciare che si dispongano in modo più casuale durante il processo di stampaggio a iniezione, si ottiene un aumento dal 13 al 40% della HDT ottenuta.

	HDT (°C)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Bassa (0,45 MPa)	Alta (1,8 MPa)	Bassa (0,45 MPa)	Alta (1,8 MPa)
Percorsi utensile unidirezionali (orientamento XY)	117	112	153	133
Percorsi utensile standard 45°/-45° (orientamento XY)	112	111	58	52
Stampato	100	99	109	105

Tabella 1 - HDT di ABS-CF10 e Nylon-CF10

## Resistenza alla trazione

Il test di trazione valuta la resistenza, la duttilità e l'allungamento di un materiale tirando le estremità del campione fino a quando non si rompe. La **Tabella 2** mostra i risultati del test di trazione per i percorsi utensile unidirezionali, così quelli sul piano **XY** per i normali percorsi 45°/-45° di Stratasys, utilizzando in entrambi i casi le stesse macchine e gli stessi lotti di materiale. Con i percorsi utensile unidirezionali, entrambi i materiali registrano un incremento del modulo di trazione, della resistenza allo snervamento e della sollecitazione a rottura, nonché una riduzione dei valori di allungamento. Questo accade perché le fibre di carbonio allineate sull'asse sotto tensione aiutano a migliorare la forza, ma diminuiscono la capacità del materiale della matrice di allungarsi.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

Nel caso dell'ABS-CF10, i percorsi utensile unidirezionali fanno registrare una resistenza allo snervamento e alla sollecitazione a rottura maggiore del 25% e un incremento del 71% del modulo elastico rispetto ai percorsi utensile standard. Per il Nylon-CF10, con i percorsi utensile unidirezionali il modulo elastico aumenta del 152% e la resistenza allo snervamento del 94%.

Inoltre, come mostra la **Figura 10**, i dati di resistenza alla trazione sono relativamente bassi. La resistenza allo snervamento per trazione aumenta utilizzando percorsi utensile unidirezionali. Il coefficiente di variazione (COV), definito come la deviazione standard divisa per la media, è inferiore al 4% per il modulo di trazione complessivo e la resistenza allo snervamento per i dati di trazione **XY**.

Nel caso dell'ABS-CF10, i percorsi utensile unidirezionali fanno registrare una resistenza allo snervamento e alla sollecitazione a rottura maggiore del 25% e un incremento del 71% del modulo elastico rispetto ai percorsi utensile standard. Per il Nylon-CF10, con i percorsi utensile unidirezionali il modulo elastico aumenta del 152% e la resistenza allo snervamento del 94%.

Percorsi utensile	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirezionale	Standard 45°/-45°	Unidirezionale	Standard 45°/-45°
Modulo di elasticità (GPa)	5.22	3.04	6.03	2.39
Resistenza allo snervamento (MPa)	44.9	35.8	68.1	35.1
Allungamento allo snervamento (%)	1.2	3.0	4.0	5.6
Resistenza a rottura (MPa)	44.6	35.6	64.4	20.0
Allungamento a rottura (%)	1.2	3.0	5.1	8.2

Tabella 2 - Dati di trazione di ABS-CF10 e Nylon-CF10 nell'orientamento XY

### Il carico di snervamento a trazione influenzato dai percorsi utensile

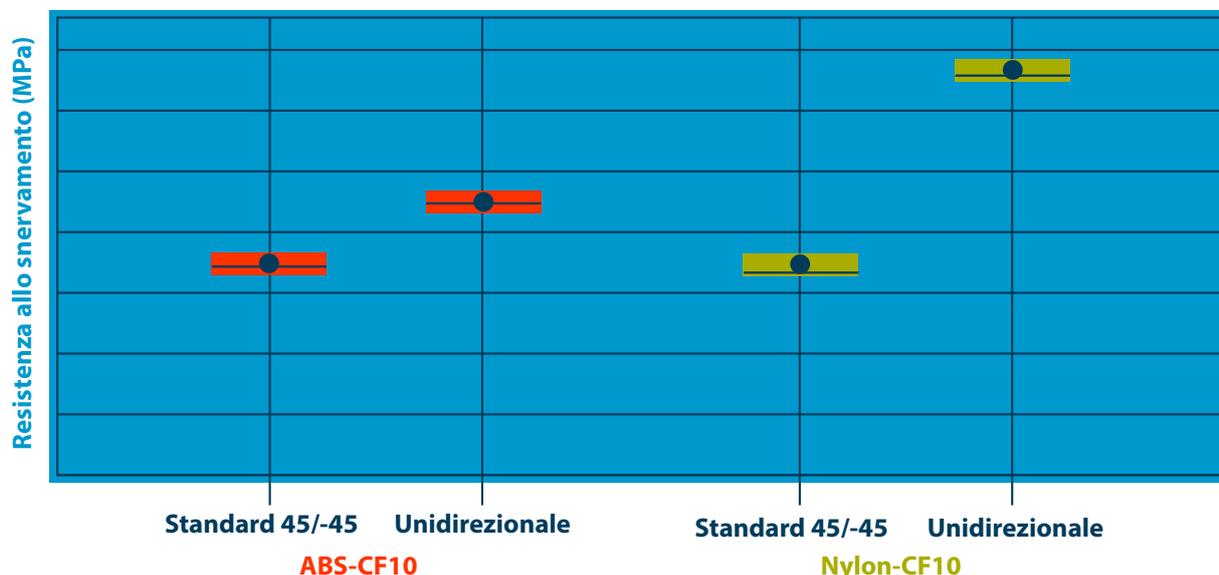


Figura 10 - La resistenza allo snervamento da trazione aumenta utilizzando percorsi utensile unidirezionali.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Resistenza alla flessione

Il test di resistenza alla flessione misura la capacità di un materiale di resistere alla flessione o alla deformazione in una configurazione di carico su tre punti. Indica la resistenza del materiale alla rottura o alla fessurazione quando viene sottoposto a forze di flessione, fornendo indicazioni sulla sua integrità strutturale e sulla capacità di sopportare carichi in applicazioni reali. La **Tabella 3** riporta i dati della resistenza alla flessione unidirezionale indicata nella **Figura 11**. I valori ottenuti dai 10 campioni sono altamente ripetibili, con un COV inferiore al 4% per il modulo di flessione e la resistenza alla flessione a rottura per ciascun materiale.

Resistenza alla flessione del provino XY con percorsi utensile unidirezionali		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Modulo di elasticità (GPa)	4.96	6.96
Resistenza flessione a rottura (%)	2.6	3.4
Sollecitazione a flessione a rottura (MPa)	89.3	138.2

Tabella 3 - Resistenza alla flessione di ABS-CF10 e Nylon-CF10 nell'orientamento XY con percorsi utensile unidirezionali

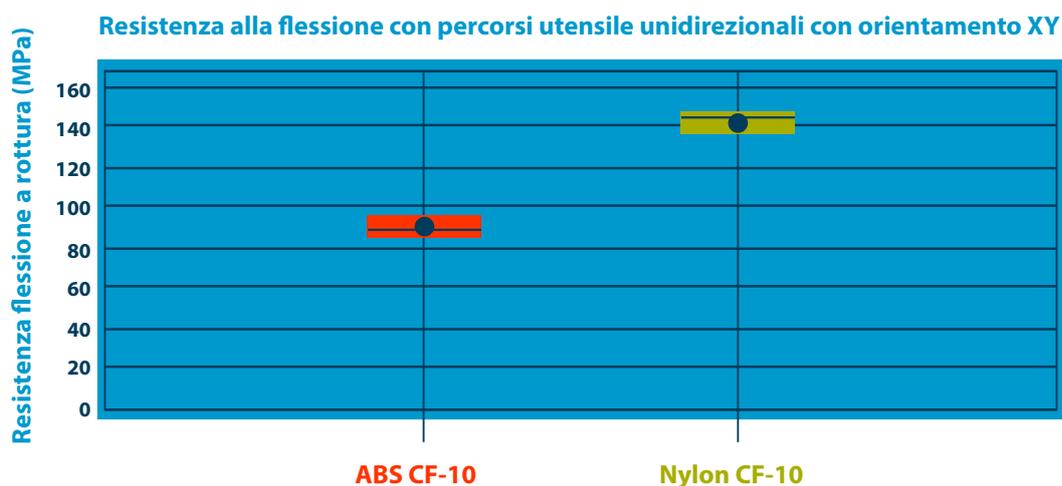


Figura 11 - Sollecitazione di flessione alla rottura con percorsi utensile unidirezionali nell'orientamento XY.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Prova d'urto Izod (tenacità intaglio)

La prova d'urto Izod a intaglio è un metodo utilizzato per valutare la resistenza agli urti di un materiale misurando l'energia necessaria per rompere un provino sottoposto all'impatto di un pendolo. Serve a indicare la capacità del materiale di resistere a impatti improvvisi o carichi d'urto e fornisce indicazioni sulla sua tenacità e resistenza alla frattura. Questo test è molto utile per selezionare materiali da impiegare in applicazioni in cui gli impatti o i carichi dinamici possono rappresentare un rischio, contribuendo a garantire che il materiale scelto sia in grado di resistere a potenziali impatti senza subire conseguenze catastrofiche.

Nella **Tabella 4** sono riportati i dati del test di impatto per ABS-CF10 e Nylon-CF10. I dati per i percorsi utensile standard sono tratti dalla scheda tecnica del materiale. Stampando percorsi utensile unidirezionali in posizione orizzontale, si registra un incremento rispettivo del 54% e del 26% della massima resistenza all'urto registrata da ABS-CF10 e Nylon-CF10. Nello stampaggio FDM, la minore aderenza tra gli strati fa sì che la direzione verticale (**Z**) sia più debole rispetto al piano **XY** (orizzontale). Se Stratasys si limitasse a riportare i dati unidirezionali, la resistenza agli urti del Nylon-CF10 sarebbe 7,5 volte superiore rispetto all'orientamento verticale (**XZ**), mentre quella dell'ABS-CF10 sarebbe 3,9 volte superiore. In questo modo, il dato relativo all'effettiva resistenza del materiale in un pezzo stampato, in cui il carico dinamico è un problema, sarebbe totalmente fuorviante. In fase di progetto è importante considerare anche la resistenza del materiale nell'orientamento **Z** per garantire limiti di progettazione e fattori di sicurezza adeguati.

Stampando con percorsi utensile unidirezionali nell'orientamento orizzontale, si registra un aumento della resistenza agli urti del 54% per l'ABS-CF10 e del 26% per il Nylon-CF10, ma questi valori non rispecchiano il comportamento reale del materiale nei pezzi effettivi, dove la resistenza verticale è fondamentale. Per una progettazione adeguata è necessario tenere conto della forza direzionale X, Y e Z per assicurare sicurezza e funzionalità.

Resistenza agli urti Izod di ABS-CF10 e Nylon-CF10 (J/m)			
Orientamento della stampa	Percorsi utensile	ABS-CF10	Nylon-CF10
Orizzontale (XY)	Unidirezionale	79.2	272
Bordo laterale (XZ)	Standard 45°-45°	51.4	202
Verticale (ZX)	Standard 45°-45°	20.3	36.3

Tabella 4 - Dati della prova d'urto Izod

# Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

## Confronto con il concorrente più diretto

Questo white paper nasce dalla volontà di fare chiarezza su certe affermazioni dei concorrenti in merito a proprietà superiori dei loro materiali. Testando anche i nostri materiali con percorsi unidirezionali, è possibile fornire un quadro più chiaro per un confronto equo. In tal senso, la **Tabella 5** sintetizza i dati meccanici unidirezionali per ABS-CF10 e Nylon-CF10 a fronte di quelli riportati da un concorrente. Salvo diversamente indicato, i dati del concorrente sono estratti direttamente dalla scheda tecnica del materiale più recente (ovvero risalente all'inizio del 2022).

Guardando la **Tabella 5**, occorre considerare l'ampiezza dei dati rappresentati. Per i materiali della concorrenza, ogni punto dati corrisponde a un test triplo, ovvero condotto solo su 3 campioni. Per l'ABS-CF10 e il Nylon CF10, il test HDT è stato condotto su 3 campioni, mentre i dati relativi a trazione, flessione e impatto sono stati ottenuti da 10 provini. Per i test meccanici tipici riportati sulle schede tecniche dei materiali FDM di Stratasys, i dati rappresentati sono ricavati da un minimo di 30 campioni (3 macchine x 10 provini). Quindi i materiali Stratasys sono supportati da una quantità di dati tre volte superiore, mentre le nostre schede tecniche contengono generalmente una quantità di dati dieci volte superiore rispetto a questo concorrente.

Questo white paper nasce dalla volontà di fare chiarezza su certe affermazioni dei concorrenti in merito a proprietà superiori dei loro materiali. Testando anche i nostri materiali con percorsi unidirezionali, è possibile fornire un quadro più chiaro per un confronto equo.

Per quanto riguarda i risultati dei test di trazione, i materiali Stratasys hanno un modulo e una resistenza alla trazione più elevati, mentre i materiali della concorrenza hanno un allungamento a rottura maggiore. Si tratta di un compromesso: aumentando la resistenza del materiale e la capacità di opporsi alla deformazione in presenza di una determinata forza, si riducono l'elasticità o la capacità di allungamento. Il modulo di trazione dell'ABS-CF10 e del Nylon-CF10 è circa il doppio rispetto alla concorrenza, il che indica che i materiali Stratasys sono più rigidi e in grado di sopportare forze maggiori con meno deformazioni.

Per quanto riguarda i risultati dei test di flessione, l'ABS-CF10 e il Nylon-CF10 possiedono un modulo di flessione e una sollecitazione a rottura maggiori rispetto ai materiali della concorrenza. Questo significa che sono in grado di sopportare un carico di flessione su 3 punti con una minore deformazione. Le fibre di carbonio dell'ABS-CF10 e del Nylon-CF10 sono più lunghe di quelle dei materiali della concorrenza, il che ne accresce la capacità di resistenza alla flessione se sottoposte a un dato carico.

Per l'HDT a 0,45 MPa, la scheda tecnica del materiale della concorrenza indica 145 °C, valore inferiore a quello del Nylon-CF10 (153 °C) e superiore a quello dell'ABS-CF10 (117 °C). Il concorrente non fornisce dati sulle prestazioni di HDT a 1,8 MPa, ma Stratasys ha testato l'unico materiale alla pressione più elevata per HDT. Il risultato è stato di una HTC di 71 °C, pari a un 51% in meno rispetto al valore ottenuto da quel materiale alla pressione più bassa. L'ABS-CF10 e il Nylon-CF10, invece, registrano una riduzione solo del 4% e del 13% del valore di HDT alla pressione più alta.

Per quanto riguarda la resistenza agli urti, il materiale della concorrenza è superiore all'ABS-CF10 e al Nylon-CF10. Utilizzando la stessa metodologia di test, si ottengono valori più congrui per un confronto con il materiale della concorrenza.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Confronto delle proprietà meccaniche e fisiche tra i materiali Stratasys e i materiali della concorrenza

	Proprietà del materiale	ABS-CF10	Nylon-CF10	Materiale Concorrente 1	Materiale Concorrente 2
Trazione <sup>2</sup>	Modulo di elasticità (GPa) <sup>1</sup>	5.22	6.03	2.4	3.0
	Resistenza allo snervamento (MPa)	44.9	68.1	40	41
	Allungamento allo snervamento (%)	1.2	4.0	non specificato	non specificato
	Resistenza a rottura (MPa)	44.6	64.4	37	40
	Allungamento a rottura (%)	1.2	5.1	25	18
Flessione	Modulo di elasticità (GPa)	4.96	6.96	3.0	3.6
	Resistenza flessione a rottura (%)	2.6	3.4	non specificato	non specificato
	Sollecitazione a flessione a rottura (MPa)	89.3	138	71	71
HDT	Temperatura di deviazione del calore - 0,45 MPa (°C)	117	153	145	145
	Temperatura di deviazione del calore - 1,8 MPa (°C)	112	133	105 (Test in laboratorio Stratasys <sup>3</sup> )	non specificato
Impatto	Resistenza agli urti Izod (J/M)	79.2	272	330	non specificato

Tabella 5 Confronto delle proprietà meccaniche e fisiche tra i materiali Stratasys e i materiali della concorrenza

**Note:**

1. Il modulo di trazione per ABS-CF10 e Nylon-CF10 è calcolato sui valori sollecitazione-deformazione dal 15% al 35% del carico massimo. L'intervallo per il calcolo del modulo di trazione del materiale della concorrenza non è noto.
2. I provini di ABS-CF10 e Nylon-CF10 sono stati stampati con la forma desiderata, utilizzando percorsi utensile unidirezionali. I provini di trazione del materiale della concorrenza sono stati tagliati nella forma desiderata.
3. Il concorrente non riporta il dato alla maggiore pressione del test di HDT. Stratasys ha condotto il test in laboratorio applicando la metodologia utilizzata dal concorrente a una pressione di 1,8 MPa e ne è risultato il valore indicato in tabella. Le misurazioni dell'HDT effettuate da Stratasys alla pressione di 0,45 MPa erano molto simili ai valori riportati dal concorrente.

## Oltre la scheda tecnica: i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Conclusioni

Data la notevole incidenza che i percorsi utensile hanno sulle proprietà meccaniche e fisiche, i clienti dei centri di produzione additiva devono prestare grande attenzione ai dati che vengono presentati per poter confrontare in modo accurato le proprietà dei materiali.

Passando dai nostri percorsi utensile standard a 45°/-45° a quelli unidirezionali ottimizzati, abbiamo dimostrato come le prestazioni dei materiali ABS-CF10 e Nylon-CF10 cambino drasticamente. Nel caso dell'HDT, cambiando il percorso utensile il Nylon-CF10 ha migliorato la performance del 160% sia a 0,45 MPa sia a 1,8 MPa. Per quanto riguarda la resistenza alla trazione, il modulo elastico dell'ABS-CF10 è migliorato del 71%. Con i percorsi utensile unidirezionali il modulo elastico del Nylon-CF10 aumenta del 152% e la resistenza allo snervamento del 94%. Non si tratta di variazioni minori della resistenza e, in ultima analisi, delle prestazioni del pezzo, ma di differenze sostanziali rispetto ai materiali della concorrenza, che vengono sempre testati con percorsi utensile unidirezionali ottimizzati. Le prove meccaniche, soprattutto se utilizzate per definire i limiti di progettazione, devono essere eseguite su provini rappresentativi delle geometrie delle parti. L'ottimizzazione dei percorsi utensile nell'orientamento più robusto è rappresentativa della massima resistenza possibile, ma potrebbe non corrispondere alla resistenza effettiva del pezzo, pertanto non è consigliata come metodologia di test standard.

**Appendice A** - Versioni software, apparecchiature di prova e cronologia di calibrazione

	ABS-CF10	Nylon-CF10
Software di elaborazione	Insight 16.10 (Build 4372)	
Software per pacchetti di costruzione	Control Center 16.10 (Build 4372)	
Stampante S/N di produzione	D80022	D80005
Software backend stampante	2.5.5966.0	2.6.5976.0
Informazioni materiale	PN: 333-90310 SN: 630755611 Data di produzione: 4 giu 2022 Lotto: 112995	PN: 333-90450 SN: 676936711 Data di produzione: 13 apr 2023 Lotto: 114590

**Tabella 6** - Versioni del software, informazioni sulla macchina e informazioni sul materiale

Test	Apparecchiatura	Numero di serie	Data di calibrazione
Test di trazione	Criterio MTS 43	5001678	6/15/2023
Cella di carico per trazione	Cella di carico da 10kN LPS-104C	1010933	6/16/2023
Estensimetro	2 in estensimetro 634-28E-24	10574728	6/15/2023
Test flessione	Criterio MTS 43	5000462	6/14/2023
Cella di carico per flessione	Cella di carico da 5kN LPS-503C	1021979	6/14/2023
HDT	DMA Q300	0800-1786	3/29/2023
Test impatto	Tester di impatto Tinuis Olsen 892	195795	1/31/2023

**Tabella 7** - Apparecchiatura di prova e data di calibrazione

## Oltre la scheda tecnica:

i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

### Appendice B - Tabelle sistema di unità imperiali

	HDT (°F)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
Percorsi utensile	Bassa (66 psi)	Alta (264 psi)	Bassa (66 psi)	Alta (264 psi)
Percorsi utensile unidirezionali (orientamento XY)	242	233	307	271
Percorsi utensile standard 45°/-45° (orientamento XY)	234	233	136	126
Stampato	212	210	228	221

Tabella 1 - HDT di ABS-CF10 e Nylon-CF10 (unità imperiali)

Percorsi utensile	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirezionale	Standard 45°/-45°	Unidirezionale	Standard 45°/-45°
Modulo di elasticità (ksi)	756	441	875	347
Resistenza allo snervamento (psi)	6500	5200	9880	5100
Allungamento allo snervamento (%)	1.2	3.0	4.0	5.6
Sollecitazione alla rottura (psi)	6470	5170	9330	3230
Allungamento a rottura (%)	1.2	3.0	5.1	8.2

Tabella 2 - Dati modulo di trazione di ABS-CF10 e Nylon-CF10 nell'orientamento XY (unità imperiali)

Resistenza alla flessione del provino XY con percorsi utensile unidirezionali		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Modulo di elasticità (ksi)	719	1010
Resistenza flessione a rottura (%)	2.6	3.4
Sollecitazione a flessione a rottura (ksi)	13.0	20.0

Tabella 3 - Resistenza alla flessione di ABS-CF10 e Nylon-CF10 nell'orientamento XY con percorsi utensile unidirezionali (unità imperiali)

Resistenza agli urti Izod di ABS-CF10 e Nylon-CF10 (ft*lb/in)			
Orientamento della stampa	Percorsi utensile	ABS-CF10	Nylon-CF10
Orizzontale (XY)	Unidirezionale	1.48	5.10
Bordo laterale (XZ)	Standard 45°/-45°	0.962	3.79
Verticale (ZX)	Standard 45°/-45°	0.381	0.68

Tabella 4 - Dati sulla resistenza agli urti Izod (unità imperiali)

## Oltre la scheda tecnica:

# i test unidirezionali sui materiali possono trarre in inganno il reparto di produzione

	Proprietà del materiale	ABS-CF10	Nylon-CF10	Materiale Concorrente 1	Materiale Concorrente 2
Trazione <sup>2</sup>	Modulo di elasticità (ksi) <sup>1</sup>	756	875	348	435
	Resistenza allo snervamento (psi)	6500	9880	5800	5950
	Allungamento allo snervamento (%)	1.2	4.0	non specificato	non specificato
	Sollecitazione alla rottura (psi)	6470	9330	5370	5800
	Allungamento a rottura (%)	1.2	5.1	25	18
Flessione	Modulo di elasticità (ksi)	719	1010	435	522
	Resistenza flessione a rottura (%)	2.6	3.4	non specificato	non specificato
	Sollecitazione a flessione a rottura (psi)	13000	20000	10300	10300
HDT	Temperatura di deviazione del calore - 66 psi (°F)	243	307	293	293
	Temperatura di deviazione del calore - 264 psi (°F)	233	271	160 (Test in laboratorio Stratasys <sup>3</sup> )	non specificato
Impatto	Prova d'urto Izod - tenacità intaglio (ft*lb/in)	1.48	5.10	6.18	non specificato

Tabella 5 - Confronto delle proprietà meccaniche e fisiche tra i materiali Stratasys e i materiali della concorrenza (unità imperiali)

**Note:**

1. Il modulo di trazione per ABS-CF10 e Nylon-CF10 è calcolato sui valori sollecitazione-deformazione dal 15% al 35% del carico massimo. L'intervallo per il calcolo del modulo di trazione del materiale della concorrenza non è noto.
2. I provini di ABS-CF10 e Nylon-CF10 sono stati stampati con la forma desiderata, utilizzando percorsi utensile unidirezionali. I provini di trazione del materiale della concorrenza sono stati tagliati nella forma desiderata.
2. Il concorrente non riporta il dato alla maggiore pressione del test di HDT. Stratasys ha condotto il test in laboratorio applicando la metodologia utilizzata dal concorrente a una pressione di 1,8 MPa e ne è risultato il valore indicato in tabella. Le misurazioni dell'HDT effettuate da Stratasys alla pressione di 0,45 MPa erano molto simili ai valori riportati dal concorrente.

**USA - Sede principale**

7665 Commerce Way  
Eden Prairie, MN 55344, USA  
+1 952 937 3000

**EMEA**

Airport Boulevard B 120  
77836 Rheinmünster, Germania  
+49 7229 7772 0



**CONTATTACI.**

[www.stratasys.com/contact-us/locations](http://www.stratasys.com/contact-us/locations)

**ISRAELE - Sede principale**

1 Holtzman St., Science Park  
PO Box 2496  
Rehovot 76124, Israele  
+972 74 745 4000

**Asia meridionale**

1F A3, Ninghui Plaza  
No.718 Lingshi Road  
Shanghai, Cina  
Tel. +86 21 3319 6000

[stratasys.com](http://stratasys.com)

Certificazione ISO 9001:2015

