

Volumi ridotti a prezzi accessibili

Prestazioni affidabili
di un sistema di
stampa 3D ad alta
precisione





Introduzione

La stampa 3D o fabbricazione additiva è una soluzione economicamente vantaggiosa per la produzione in serie di quantitativi ridotti. Si tratta infatti di un sistema che non necessita di attrezzature costose o che comportano lunghi tempi di consegna. Sebbene molti sistemi di stampa 3D abbiano fatto progressi significativi nel soddisfare i requisiti di produzione, garantire i massimi livelli di precisione e ripetibilità continua a essere un compito arduo.

Con la nuova soluzione Origin®, le aziende manifatturiere hanno ora a disposizione un'alternativa per la produzione in serie in grado di soddisfare i requisiti più rigorosi, segnando un passo in avanti delle tecnologie additive rispetto al passato. In questo white paper dimostriamo la validità della piattaforma come soluzione pronta per la produzione.

Quando le applicazioni delle tecnologie additive si spostano in ambito produttivo, diventa sempre più importante riuscire a misurare la performance del processo. Per le parti di produzione per l'uso finale, la valutazione della precisione e della capacità di controllo del processo deve essere rigorosa.

E in questo documento ci proponiamo precisamente di esaminare in modo approfondito le capacità della stampante Origin® Two in termini di accuratezza e ripetibilità. Questo studio dimostra infatti come la Origin® Two riesca a produrre pezzi con una precisione e una qualità costanti, seppure con macchine, stampe, geometrie, materiali e piattaforme di costruzione differenti.





Conclusioni

In questo studio vengono descritti i risultati ottenuti dall'esame di 258 pezzi, per un totale di 15.999 misurazioni, stampati su tre stampanti diverse, con sei testine di stampa, con due materiali e due geometrie diverse:

- 1) Un componente di un connettore generico stampato in Loctite 3955™ FST
- 2) Un campione di prova stampato in Loctite 3843™ Black.

I pezzi sono stati misurati accuratamente con uno scanner ottico e uno scanner 3D. Abbiamo valutato i risultati ottenuti sia da stampanti diverse che da una stessa stampante.

Dai risultati emerge che le capacità di precisione del processo di stampa e polimerizzazione di Origin® Two e Origin Cure™ sono pari alle tolleranze standard dello stampaggio a iniezione, dimostrando la validità della piattaforma per la produzione industriale di parti in materiali polimerici. Il 95% dei diametri dei fori del connettore generico che sono stati misurati si è attestato su un valore medio di 50 µm e il 99,7% di tutte le caratteristiche si è mantenuto entro un valore medio di 100 µm. I valori 3-sigma medi (entro cui si è attestato il 99,7% delle misurazioni) sono stati pari a 0,067 mm pur variando cicli di stampa, stampanti e testine. A titolo di riferimento, la tolleranza standard tipica dello stampaggio a iniezione per elementi da 1 a 20 mm in nylon rinforzato con vetro al 30% è di 60µm e di 120µm per elementi da 21 a 100 mm.

In tutte le misurazioni del campione di prova, il 91,3% delle caratteristiche misurate si è mantenuto entro una media di 50 µm e il 100% di tutte le caratteristiche misurate entro una media di 100 µm. I valori 3-sigma del campione si sono attestati su una media di 97 µm per tutte le caratteristiche/dimensioni misurate dei diversi cicli di stampa. A titolo di riferimento, la tolleranza standard tipica dello stampaggio a iniezione di elementi da 1 a 20 mm in ABS è di 100 µm e di 150µm per elementi da 21 a 100 mm.

L'insieme di questi dati dimostra che la stampante Origin® Two, associata all'unità di post-polimerizzazione Origin Cure™, è in grado di produrre pezzi di alta qualità con un elevato grado di ripetibilità pur variando stampante, ciclo di produzione e piattaforma. La soluzione completa è in grado di soddisfare le esigenze di chi necessita di una produzione su scala di parti polimeriche omogenee e funzionali per l'uso finale.

Per trovare posto nella produzione industriale, le attrezzature e i processi di lavorazione devono essere affidabili e in grado di garantire risultati costanti. L'obiettivo di questo studio era proprio quello di testare il sistema in condizioni rappresentative della situazione reale in cui l'utente si trova a operare in un ambiente di produzione. Per maggiori informazioni, invitiamo il lettore a prendere visione dei dati riepilogati e dei grafici contenuti in questo documento.

Tali dati dimostreranno l'accuratezza e la precisione che è possibile ottenere con la stampante Origin® Two associata all'unità di post-polimerizzazione Origin Cure™.

Per trovare applicazione in ambito di produzione, la stampa 3D deve garantire precisione e ripetibilità

Fin dalla sua nascita, la stampa 3D è stata apprezzata per applicazioni di prototipazione. Tuttavia, negli ultimi anni gli utenti hanno iniziato a orientarsi verso i casi d'uso della tecnologia additiva, ovvero la produzione su scala di parti funzionali e di uso finale, come alternativa economica alla manifattura tradizionale in grandi volumi.

I requisiti di un processo di fabbricazione in un ambiente di produzione sono diversi da quelli della prototipazione. La produzione richiede una soluzione/un flusso di lavoro di stampa 3D accurato in termini di dimensioni geometriche e proprietà dei materiali delle parti prodotte. E oltre a essere accurati i risultati devono essere anche ripetibili, sia all'interno di un singolo ciclo di stampa sia da un ciclo all'altro che tra varie stampanti.

La soluzione completa per la produzione additiva di parti finali accurate e ripetibili non si esaurisce con la stampante. Occorre considerare l'intero flusso di lavoro, dalla preparazione della stampa alla post-lavorazione, seguire le procedure operative standard (SOP) e utilizzare le attrezzature appropriate. Stratasy pubblica guide alla lavorazione dei materiali P3™ DLP che descrivono nel dettaglio le attrezzature, i processi e il flusso di lavoro end-to-end per ciascun materiale. Le guide alla lavorazione dei materiali descrivono nel dettaglio il flusso di lavoro completo per produrre pezzi di qualità con ciascuno dei materiali convalidati: procedure e suggerimenti per la preparazione della stampa, operazioni di pulizia e di asciugatura e programma di post-polimerizzazione.

L'utilizzo delle attrezzature e delle SOP specificate, unitamente a un processo controllato, produce una varianza prevedibile e si traduce in una resa migliore, in un'operazione di produzione stabile e nella migliore qualità possibile dei pezzi.

La produzione additiva si declina in diverse tipologie. Basata sulla tecnologia P3™, la Origin® Two proietta un'immagine DLP UV per polimerizzare selettivamente una resina fotopolimerica. In associazione al meccanismo di separazione P3 e al sistema di post-polimerizzazione Origin Cure™, produce pezzi e caratteristiche di alta precisione. Quanto è precisa? Continua a leggere per saperne di più.



Accuratezza e precisione

Accuratezza, precisione (ovvero ripetibilità) e uniformità sono tre termini correlati, ma non sinonimi. Nella lingua comune, accuratezza e precisione possono essere usate in modo intercambiabile, ma in ambito ingegneristico sono due concetti distinti.

L'**accuratezza** indica il grado di corrispondenza dimensionale tra una singola parte stampata e le misure del file CAD da cui trae origine. L'accuratezza riflette la correttezza di una singola parte stampata senza tener conto della ripetibilità.

La **precisione** indica il grado di variabilità, ovvero il livello di somiglianza, tra pezzi prodotti in grandi volumi mantenendo invariate le condizioni. La precisione può essere considerata come la "propagazione" dei dati. Questo documento valuta l'accuratezza dimensionale e la precisione delle parti stampate e delle loro caratteristiche. In questo documento utilizziamo i termini "precisione" e "ripetibilità" in modo intercambiabile.



Le inaccuranze possono essere compensate mediante un processo sufficientemente preciso e avvalendosi delle tecniche di compensazione software rese disponibili da Origin® Two e GrabCAD Print™. La ripetibilità/precisione è un limite o una capacità del sistema e definisce le tolleranze che possono essere specificate. Pertanto, la capacità di un sistema di produrre risultati ripetibili è la preoccupazione principale per i clienti che producono pezzi funzionali in scala.

Siamo consapevoli di quanto sia importante garantire un'accuratezza dimensionale costante e diversi altri aspetti legati alla qualità dei pezzi, per favorire l'adozione della produzione additiva. E anche le prove contano. Ecco perché abbiamo deciso di condurre questo studio che mostra le performance della Origin® Two in termini di precisione dimensionale e ripetibilità.

L'accuratezza dimensionale è fondamentale per la maggior parte delle applicazioni, ma un processo con un buon livello di precisione dimensionale può compensare le inaccuranze dimensionali con tecniche software. La ripetibilità/precisione è invece un limite o una capacità del sistema e definisce le tolleranze che possono essere specificate. Per questo motivo, la ripetibilità rappresenta l'aspetto più importante per i clienti che producono in scala pezzi funzionali di uso finale.





Metodologia

La metodologia di prova di questo studio esamina la variabilità del nostro processo additivo raccogliendo dati quantitativi attraverso varie misurazioni dimensionali e analizzando i dati risultanti con varie tecniche statistiche.

L'errore medio e le deviazioni standard delle dimensioni delle caratteristiche sono misure standard di accuratezza e precisione, rispettivamente, e vengono riportate come tali. Inoltre, abbiamo calcolato e misurato i valori massimi e minimi, gli intervalli, i coefficienti di variazione e i valori 2-, 3- e 6-sigma.

Tutte le parti sono state stampate con le impostazioni standard predefinite per ogni materiale e lavorate con il flusso di lavoro standard di Stratasys, come indicato nelle guide alla lavorazione dei materiali: impostazioni di stampa, predisposizione della stampante e del materiale, rimozione dei pezzi, pulizia e post-polimerizzazione. Le parti non sono state sottoposte ad alcun trattamento aggiuntivo di messa a punto o finitura. Abbiamo utilizzato la funzione di "compensazione Z" del software GrabCAD per correggere l'inaccuratezza Z iniziale e abbiamo filtrato 16 punti di dati che erano stati acquisiti in modo errato dallo scanner ottico.

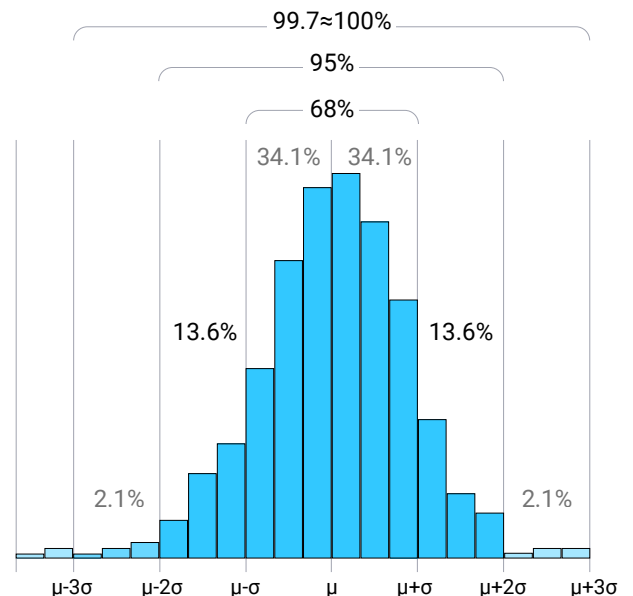
Dopo la stampa, le parti sono state pulite in bagni di sonicazione con alcol isopropilico (IPA) per due cicli di 2 minuti, seguiti da un'asciugatura ad aria compressa e da 60 minuti di ulteriore asciugatura in un ambiente di laboratorio controllato. Quindi, sono state sottoposte al trattamento di post-polimerizzazione Origin Cure™ utilizzando il programma più appropriato per ciascun materiale.

Le parti del campione di prova sono state pulite con alcool isopropilico sonicato e post-polimerizzate con Origin Cure, mentre i connettori generici sono stati puliti con Loctite® Cleaner T e post-polimerizzati in un forno termico programmabile secondo le Guide alla lavorazione dei materiali Stratasys. Dopo la pulizia, le parti sono state asciugate con aria compressa e quindi sottoposte a un'ulteriore asciugatura di 60 minuti in un ambiente di laboratorio controllato. Quindi, sono state sottoposte al trattamento di post-polimerizzazione Origin Cure utilizzando il programma più appropriato per ciascun materiale.

La stampa, il post-processing, il condizionamento, l'ispezione e le misurazioni sono stati eseguiti in un ambiente di laboratorio ben ventilato, a temperatura e umidità controllate. Tutte le misurazioni sono state effettuate tra le 24 e le 48 ore successive alla polimerizzazione.

In questo documento si riportano molteplici parametri statistici, definiti come segue:

- **Media:** La somma delle misurazioni divisa per il numero di misurazioni.
- **Massimo:** Il valore massimo rilevato.
- **Minimo:** Il valore minimo rilevato.
- **Mediana:** Punto centrale della serie di dati: metà delle misure rilevate sono più grandi e metà più piccole.
- **Intervallo:** Differenza tra il valore massimo rilevato e il valore minimo.
- **Deviazione standard (σ):** Dispersione del set di dati rispetto alla media. In una distribuzione normale, il 68% dei punti rientra in $\pm \sigma$.
- **2 sigma (2σ):** Doppio della deviazione standard. In una distribuzione normale, il 95% dei punti rientra in $\pm 2\sigma$.
- **3 sigma (3σ):** Triplo della deviazione standard. In una distribuzione normale, il 99,7% dei punti rientra in $\pm 3\sigma$.
- **6 sigma (6σ):** Sei volte la deviazione standard. In una distribuzione normale, il 99,9997% delle misurazioni rientrano in $\pm 6\sigma$.



Oltre alle misure definite sopra, riportiamo anche la percentuale di pezzi misurati che rientrano in tre valori di tolleranza (35 μm , 50 μm e 100 μm). Questo è utile perché definisce la performance per la tolleranza scelta. Questi valori saranno riportati sia per i risultati di più stampanti sia per quelli relativi a una singola stampante.



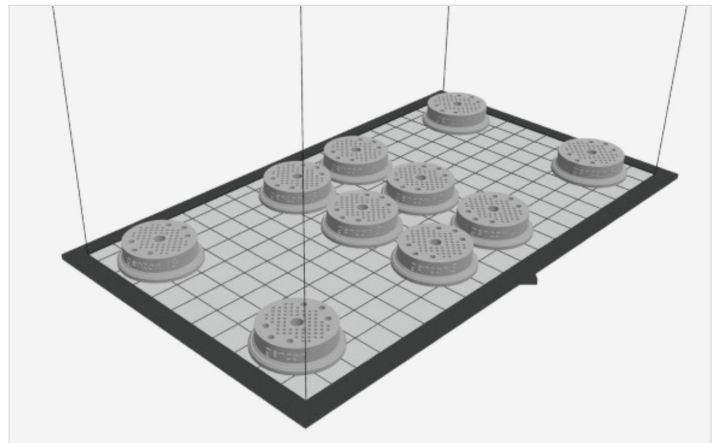
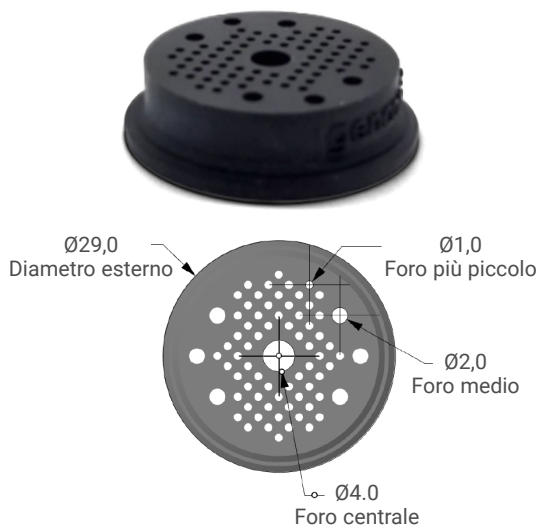
Parti

Abbiamo stampato e valutato geometrie in due parti:

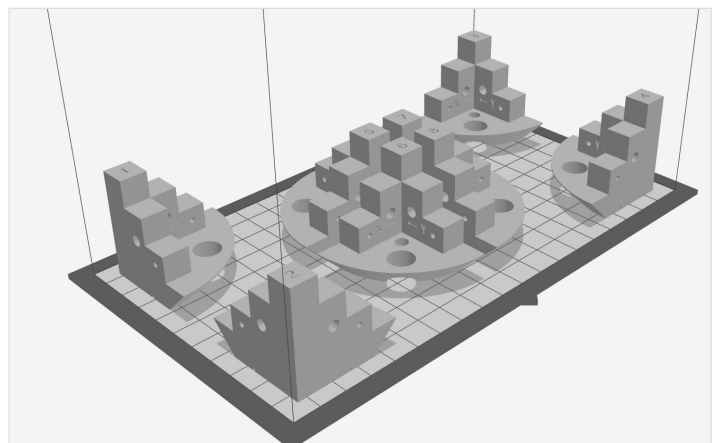
- Un componente di un connettore generico stampato in Loctite 3955™ FST
- Un campione di prova stampato in Loctite 3843™ Black.

Ogni geometria è stata realizzata in un processo di stampa a sé stante. In ciascun processo di stampa sono stati realizzati dieci connettori e otto campioni di prova. Ogni processo di stampa è stato eseguito due volte, su tre stampanti e con tre testine di stampa diverse. In totale sono state stampate e ispezionate 210 parti per connettori generici. Le parti del campione di prova sono state pulite con alcool isopropilico sonicato e post-polimerizzate con Origin Cure, mentre i connettori generici sono stati puliti con Loctite® Cleaner T e post-polimerizzati in un forno termico programmabile secondo le Guide alla lavorazione dei materiali Stratasys.

Connettore generico



Campione di prova



Ogni parte ha uno scopo diverso e viene ispezionata in modi diversi:

- Il connettore generico è rappresentativo di un'applicazione funzionale di uso finale del mondo reale ed è stampato in un materiale specifico (Loctite 3D 3955™). Questo pezzo è stato ispezionato con uno scanner ottico Keyence serie IM. Abbiamo misurato il diametro esterno (DE) da 29 mm e i diametri di ciascun foro (1, 2 e 4 mm). Ogni pezzo ha un volume di 3,6 cc.
- Il campione di prova integra diverse funzioni per valutare l'accuratezza e la precisione in un intervallo di geometrie. Questo pezzo è stato ispezionato con lo scanner Keyence IM e con uno scanner GOM 3D. I dati GOM hanno confrontato la nuvola di punti risultante con il file CAD sovrapposto, utilizzando un software di scansione in 10 punti diversi del pezzo. Ogni pezzo ha un volume di 17,5 cc e misura 39,5 x 39,5 x 40 mm.



Limiti

Tutti gli studi presentano dei limiti e questo non è da meno. Riportiamo di seguito alcuni dei limiti riscontrati nel nostro studio.

Geometria: Per questo studio abbiamo stampato e misurato tre diverse geometrie di pezzi, ciascuna progettata per valutare caratteristiche specifiche e capacità di precisione del sistema. È stato esaminato un numero di parti e di caratteristiche limitato. Sappiamo per esperienza che l'accuratezza e la ripetibilità dipendono in larga misura dalla geometria, quindi i risultati descritti di seguito potrebbero non essere applicabili a tutte le geometrie. Il componente del connettore generico è stato progettato per simulare un connettore elettrico standard, ma non copre tutte le geometrie tipiche dell'ampio spettro della geometria additiva. Il campione di prova integra caratteristiche di varie dimensioni, laddove la più grande è di 40 mm.

Materiale: Per esperienza, sappiamo anche che l'accuratezza e la precisione non dipendono solo dalla geometria ma anche dal materiale. In questo studio abbiamo utilizzato due materiali possibile, ma con materiali differenti i risultati potrebbero essere diversi. Lo scopo di questo studio non era quello di valutare gli effetti del lotto di resina o dell'età sulla precisione e sulla ripetibilità. Tutta la resina utilizzata per questo studio è stata prodotta da Henkel Loctite®, partner di Stratasys per i materiali. La resina utilizzata per questo studio non è stata preparata in modo specifico, ma è stata scelta tra quelle disponibili in commercio. Il materiale non era scaduto ed è stato consumato entro una settimana dall'apertura.

Processo di stampa: Le parti sono state tutte stampate presso la sede centrale di Stratasys a Rehovot, in Israele, da ingegneri Stratasys in condizioni di laboratorio adeguatamente controllate su stampanti Origin® Two con firmware standard. Le parti in Loctite 3843™ sono state sottoposte a un intervento di post-processing con un pulitore a ultrasuoni Branson con IPA e quindi post-polimerizzate con Origin Cure™. Le parti in Loctite 3955 sono state sottoposte a un intervento di post-processing con un pulitore a ultrasuoni Branson in Loctite Cleaner T. Tutti i lavori di stampa sono stati preparati con GrabCAD Print™. Sugeriamo di utilizzare le stampanti e i trattamenti di post-processing Origin® in un ambiente di laboratorio controllato e ben ventilato. Eventuali scostamenti dalle condizioni standard possono avere un impatto sull'accuratezza e sulla ripetibilità dei pezzi e causare altri problemi di qualità.

Dimensione del campione: L'ideale era effettuare il test su ciascuna delle stampanti e delle piattaforme di stampa con molti più cicli e pezzi per stampa. Abbiamo utilizzato tre stampanti e tre piattaforme per ciascuna stampante. Invitiamo i nostri clienti a replicare i nostri risultati con la propria Origin® Two.

Dati e analisi: I dati di questo studio sono stati raccolti su un PC con l'apparecchiatura di ispezione di cui alla sezione "Parti". L'analisi dei dati che è alla base di questo studio è stata completata in Microsoft Excel. Sono stati utilizzati metodi statistici e di calcolo standard. È possibile che esistano metodi statistici avanzati o alternativi per valutare i nostri dati. Ci auguriamo che i dati qui presentati rispondano a molte domande iniziali sulle capacità di precisione e accuratezza del sistema Origin® Two e Origin Cure™.

Non noti: Potrebbero sussistere ulteriori limiti a noi non noti. Il nostro intento è quello di fornire uno studio solido e rigoroso, ma non possiamo escludere la presenza di errori. Ci auguriamo che questa analisi sia rappresentativa delle prestazioni delle stampanti future, ma questo richiederà un impegno continuo. In fase di produzione, valuteremo l'accuratezza e la qualità di stampa di ciascuna delle stampanti che escono dalla linea di produzione di Stratasys. I dati ottenuti saranno utilizzati per attestare la conformità della stampante e per informare gli studi futuri che esamineranno in modo più approfondito le prestazioni di accuratezza e ripetibilità su un numero maggiore di stampanti.





Risultati dettagliati

Di seguito si riporta l'elenco completo dei due pezzi con le misurazioni relative:

Connettore generico

- **Metriche statistiche**
 - Fori da 1-4 mm di diametro
 - Fori da 1 mm di diametro
 - Fori da 2 mm di diametro
 - Fori da 4 mm di diametro
 - Diametro esterno (DE) da 29 mm
- **Punti entro la media del x%**
 - Fori da 1-4 mm di diametro
 - Fori da 1 mm di diametro
 - Fori da 2 mm di diametro
 - Fori da 4 mm di diametro
 - Diametro esterno (DE) da 29 mm
- **Rappresentazione grafica della variabilità**
 - Tra diverse stampanti
 - All'interno di ciascuna stampante

Campione di prova

- Dati di confronto della nuvola di punti della scansione 3D
- Metriche statistiche
- Rappresentazione grafica della variabilità

Nelle rappresentazioni grafiche della variabilità riportate di seguito, l'asse X mostra il numero di misurazioni mentre l'asse Y mostra l'unità di misura in mm.

Connettore generico

Tutti i dati da 1 a 4 mm insieme (metriche statistiche). Scanner ottico Keyence, 6482 fori misurati.

		Tutte le stampanti	Stampante 1	Stampante 2	Stampante 3
Media di tutti i diametri di foro	Intervallo medio	0,083	0,092	0,055	0,102
	Deviazione standard media	0,020	0,014	0,014	0,020
	Media di 2 sigma	0,041	0,028	0,028	0,041
	Media di 3 sigma	0,061	0,041	0,042	0,061
	Media di 6 sigma	0,123	0,083	0,084	0,122

Tutti i dati per il diametro da 1 a 4 mm insieme (valori entro la media di x%). Scanner ottico Keyence, 6482 fori misurati.

		Tutte le stampanti	Stampante 1	Stampante 2	Stampante 3
Tutti i diametri di foro	% entro 35 µm di media	95,5%	98,8%	95,5%	92,3%
	% entro 50 µm di media	98,9%	100,0%	99,4%	97,4%
	% entro 100 µm di media	99,7%	100,0%	99,6%	99,4%

Si tratta di un set di dati robusto con un totale di n=6.482 misurazioni del diametro su molti pezzi e caratteristiche. Tra le stampanti e le testine di stampa, ci si può attendere un intervallo di circa 83 µm, una deviazione standard di circa 20 µm e un valore 3-sigma di circa 66 µm (o migliore) per i fori nell'intervallo 1-4 mm.



Conclusioni

Tra tutte le stampanti, le testine di stampa, i cicli di stampa e le dimensioni delle caratteristiche, i risultati per il connettore generico indicano un alto grado di precisione per i fori passanti da 1, 2 e 4 mm stampati con Origin® Two. Considerando tutte le dimensioni dei fori insieme, il 95% delle misurazioni si è mantenuto entro la media di 50 µm e il 99,7% entro la media di 100 µm,

Diametro esterno da 29 mm (metriche statistiche) n=83*

		Tutte le stampanti	Stampante 1	Stampante 2	Stampante 3
29 mm DE	Max	29,100	29,081	29,067	29,100
	Min	28,949	28,950	28,949	28,991
	Media	29,026	29,015	29,015	29,052
	Errore medio	0,026	0,015	0,015	0,052
	Mediana	29,028	29,015	29,017	29,060
	Intervallo	0,151	0,131	0,118	0,109
	Deviazione standard	0,036	0,036	0,118	0,030
	2 sigma	0,072	0,071	0,029	0,060
	3 sigma	0,108	0,107	0,059	0,089
	6 sigma	0,216	0,213	0,088	0,179

Diametro esterno da 29 mm (valori entro la media di x%) n=83

		Tutte le stampanti	Stampante 1	Stampante 2	Stampante 3
29 mm DE	% entro 35 µm di media	72,6%	63,3%	78,6%	76,0%
	% entro 50 µm di media	89,4%	83,3%	92,9%	92,0%
	% entro 100 µm di media	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

*Si noti che per il diametro esterno da 29 mm, era presente solo una caratteristica per parte, per un totale di 83 misurazioni, il numero inferiore rispetto alle 90 parti effettivamente misurate è dovuto a dati errati o mancanti,

Conclusioni

Tra tutte le stampanti, le testine di stampa, i cicli di stampa e le dimensioni delle caratteristiche, i risultati per il connettore generico indicano un alto grado di precisione per il diametro esterno da 29 mm stampato con Origin® Two. Con un errore medio di 26 µm (0,026 mm) e un intervallo di 151 µm, misurando 210 parti ottenute da stampanti e testine di stampa diverse, la Origin® Two dimostra di essere costante e affidabile.

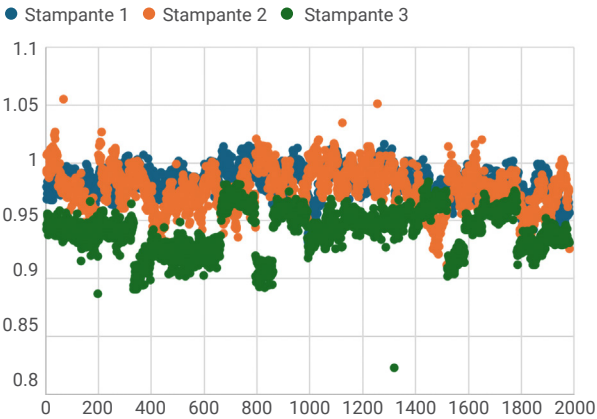


Rappresentazioni grafiche della variabilità e dati interni alla stampante

Fori passanti da 1 mm di diametro

Le seguenti rappresentazioni grafiche mostrano la variabilità delle misurazioni dei fori passanti da 1 mm di diametro su tutte e tre le stampanti. Le misurazioni sono colorate in base al numero della stampante e includono i dati raccolti dalle tre testine di ciascuna stampante.

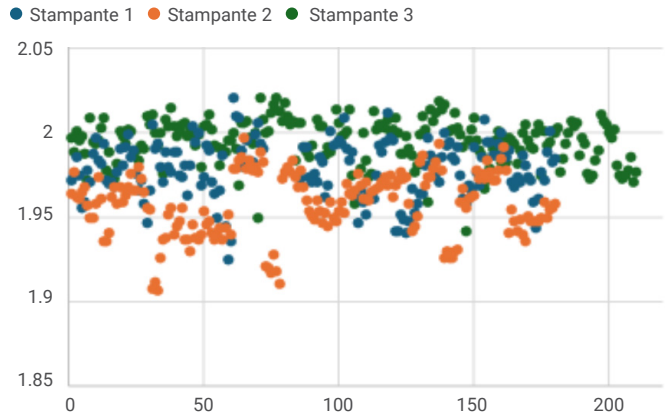
Dati sulla variabilità del diametro del foro da 1 mm n=5916



Fori passanti da 2 mm di diametro

Le seguenti rappresentazioni grafiche mostrano la variabilità delle misurazioni dei fori passanti da 2 mm di diametro su tutte e tre le stampanti. Le misurazioni sono colorate in base al numero della stampante e includono i dati raccolti dalle tre testine di ciascuna stampante.

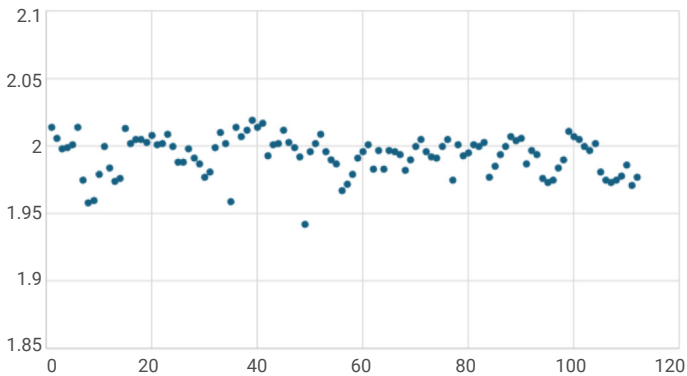
Dati sulla variabilità del diametro da 2 mm n=5916



Considerando i dati delle singole stampanti, i risultati sono persino migliori. La tabella seguente riporta le metriche statistiche interne di ciascuna stampante per tutte le stampe. All'interno di ciascuna stampante, su tutte le piattaforme di stampa, l'utente può aspettarsi una deviazione standard ancora più ristretta, pari a circa 0,011 - 0,016 μm , e un intervallo ancora più breve, pari a circa 0,048 - 0,072 μm .

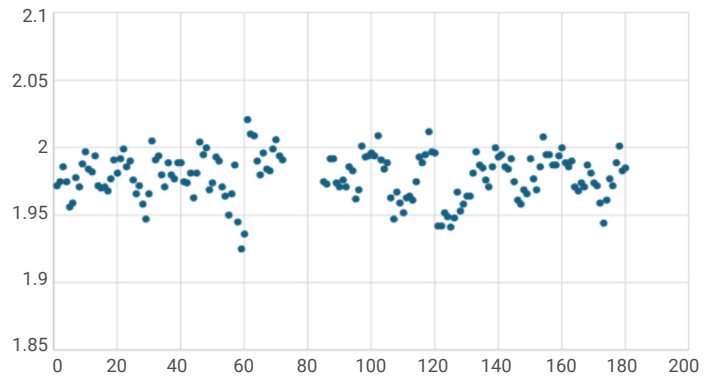
Stampante 1

Variabilità del diametro di foro da 2 mm



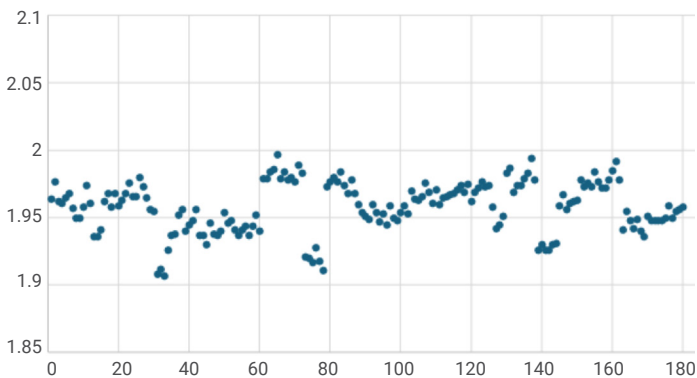
Stampante 2

Variabilità del diametro di foro da 2 mm



Stampante 3

Variabilità del diametro di foro da 2 mm



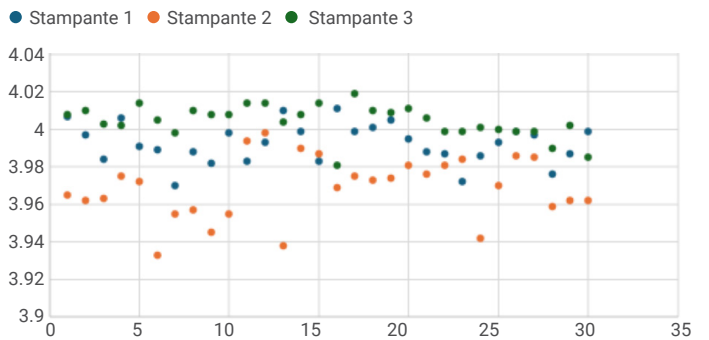


Fori passanti da 4 mm di diametro

Le seguenti rappresentazioni grafiche mostrano la variabilità delle nostre misurazioni dei fori passanti da 4 mm di diametro su tutte e tre le stampanti.

Le misurazioni sono colorate in base al numero della stampante e includono i dati raccolti dalle tre testine di ciascuna stampante.

Dati sulla variabilità del diametro del foro da 4 mm n=90

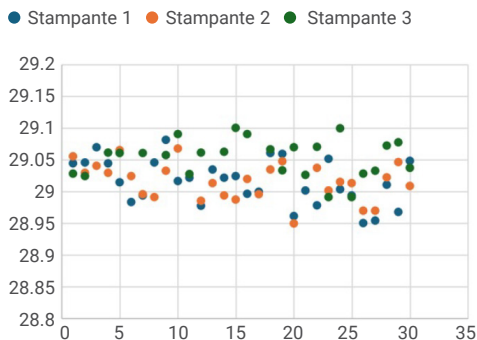


Diametro esterno 29 mm

Le seguenti rappresentazioni grafiche mostrano la variabilità delle nostre misurazioni dei fori da 29 mm di diametro esterno su tutte e tre le stampanti.

Le misurazioni sono colorate in base al numero della stampante e includono i dati raccolti dalle tre testine di ciascuna stampante.

Dati sulla variabilità DE da 29 mm n=90



Considerando i dati delle singole stampanti, i risultati sono persino migliori. La tabella seguente riporta le metriche statistiche interne di ciascuna stampante per tutte le stampe. All'interno di ciascuna stampante, su tutte le piattaforme di stampa, l'utente può aspettarsi una deviazione standard ancora più ristretta, pari a circa 31 - 36 μm , e un intervallo ancora più breve, pari a circa ~ 122 -144 μm .

Considerando i dati delle singole stampanti/combinazioni di testine di stampa i risultati sono anche migliori. La tabella seguente riporta le metriche statistiche interne di ciascuna stampante/combinazione di testine di stampa. All'interno di ciascuna stampante/piattaforma di stampa, l'utente può aspettarsi una deviazione standard ancora più ristretta, pari a circa 26-36 μm , entro un intervallo ancora più breve di circa 86-119 μm .

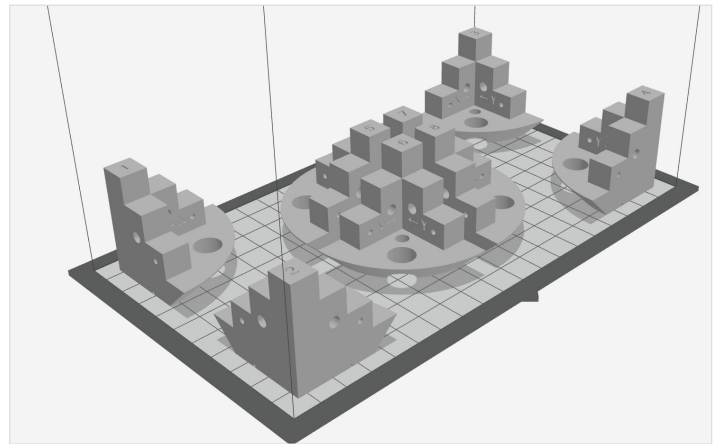
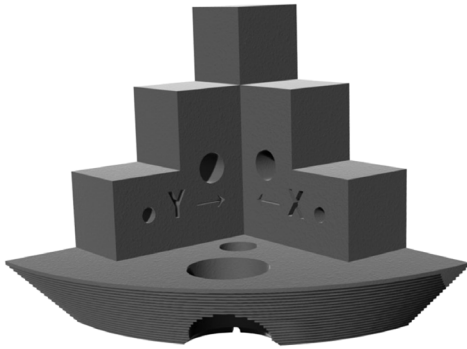
Conclusioni per il connettore generico

I nostri risultati indicano che con la stampante Origin® Two e la post-polimerizzazione di Origin Cure™, il sistema P3™ DLP è in grado di soddisfare requisiti di precisione controllati e rigorosi. Casi d'uso diversi comportano requisiti diversi e la ripetibilità è legata alla geometria, pertanto la convalida interna dovrebbe essere parte integrante di qualsiasi processo di qualificazione delle applicazioni.





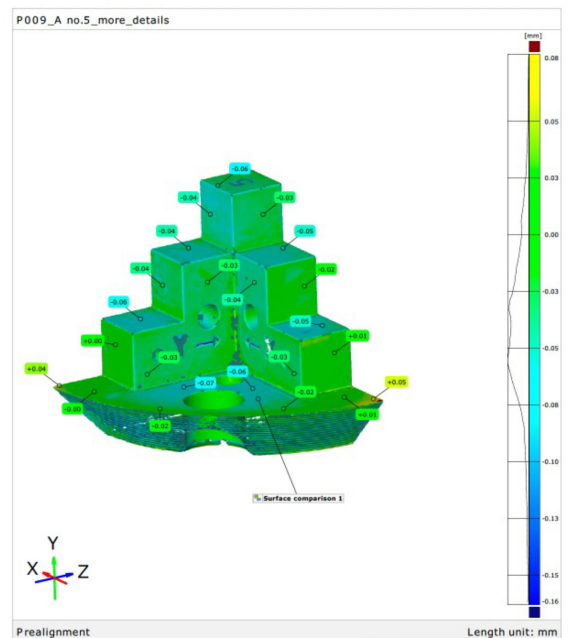
Campione di prova



Dati della scansione

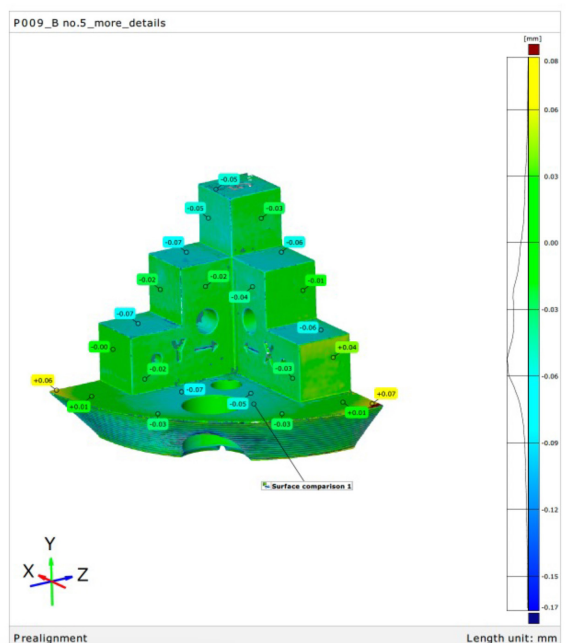
Abbiamo scansionato queste parti con uno scanner 3D GOM e abbiamo confrontato la nuvola di punti prodotta con i dati CAD originari utilizzando il software ATOS Professional. I dati dello scanner dimostrano l'accuratezza e la ripetibilità non solo sulle misure dimensionali, ma anche su superfici e parti intere.

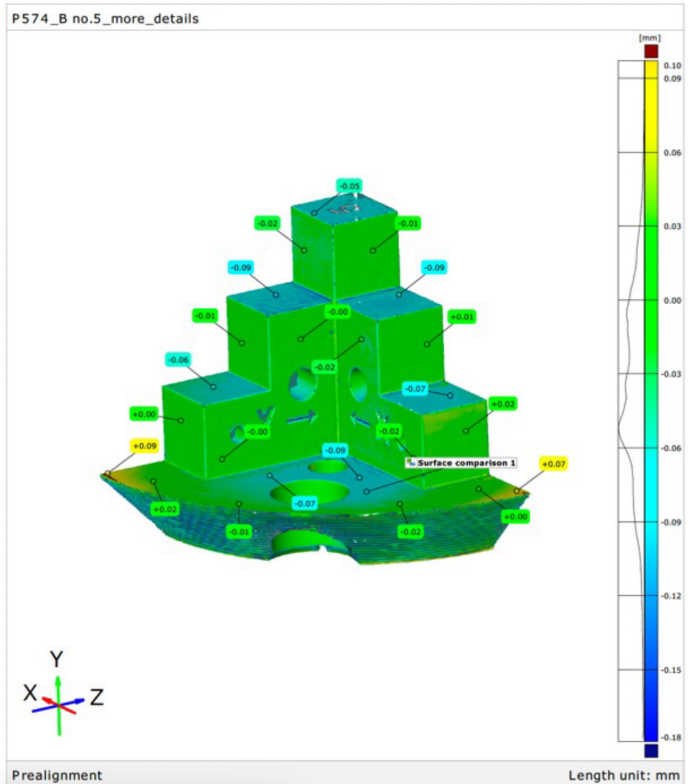
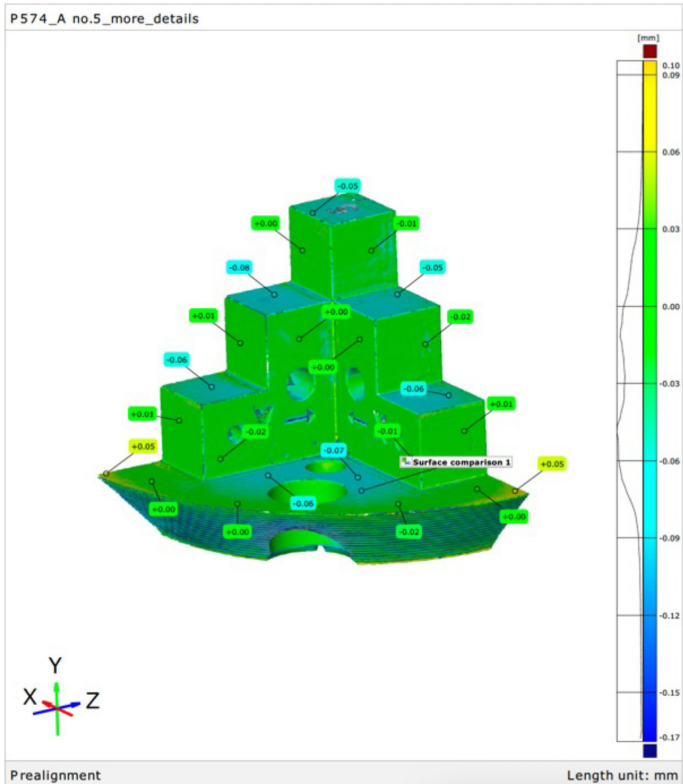
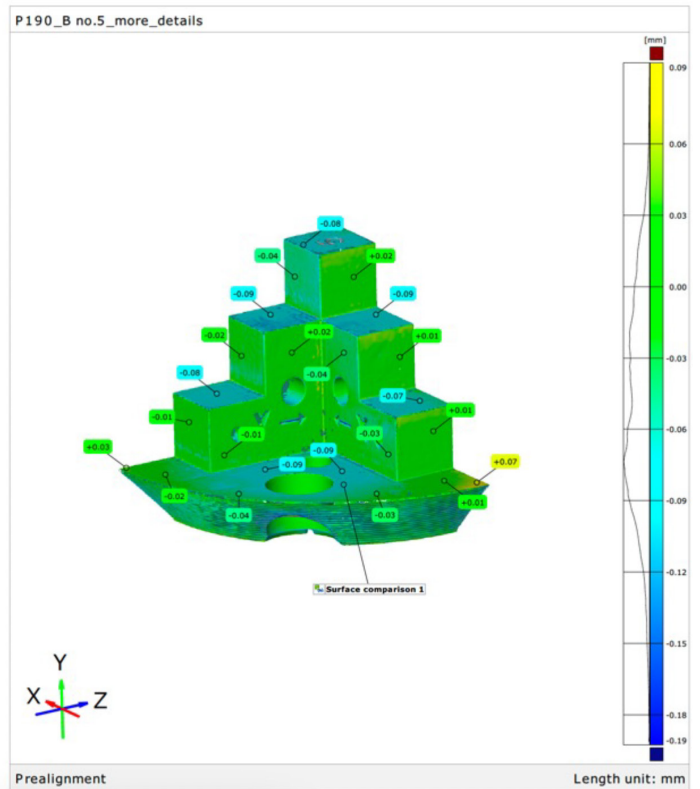
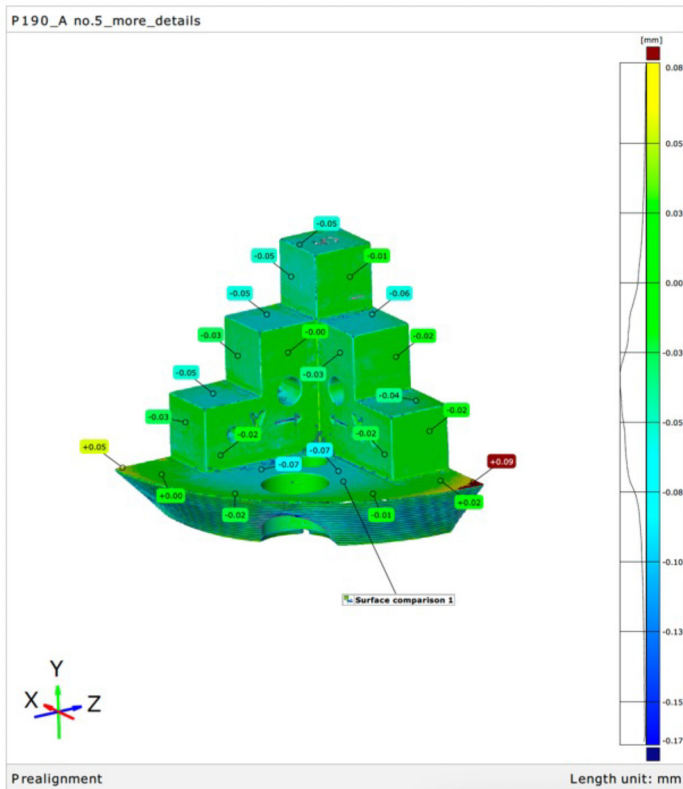
Per prima cosa, esamineremo i risultati di una parte, di una stampa, di una stampante (009), su due piattaforme di costruzione diverse (A e B). Ogni immagine mostra la deviazione dei dati di scansione rispetto ai dati CAD originari della parte. Ognuno dei 23 numeri del riquadro mostra la deviazione nel punto indicato.



L'immagine successiva mostra una parte realizzata dalla stessa stampante (009), ma con una testina di stampa diversa. Sebbene i colori e i valori siano leggermente cambiati, le tendenze sono le stesse e l'entità delle deviazioni è simile.

Se si analizzano due parti realizzate da altre stampanti (190, 574) con due testine di stampa, i risultati sono simili.





Ora analizziamo i risultati combinati delle sei parti: due stampanti, due testine di stampa e una parte (parte n. 5) per ciascuna stampante/testina. Si noti che ogni punto della parte ora mostra un grafico con sei punti, la deviazione media e la deviazione minima e massima per ogni punto. Il valore XYZ corrisponde alla tolleranza specificata (0,1 mm). Gli altri valori, Pp e Ppk, sono metriche di controllo del processo spesso utilizzate per valutare le prestazioni del sistema nel campo dell'ingegneria industriale e/o della qualità.

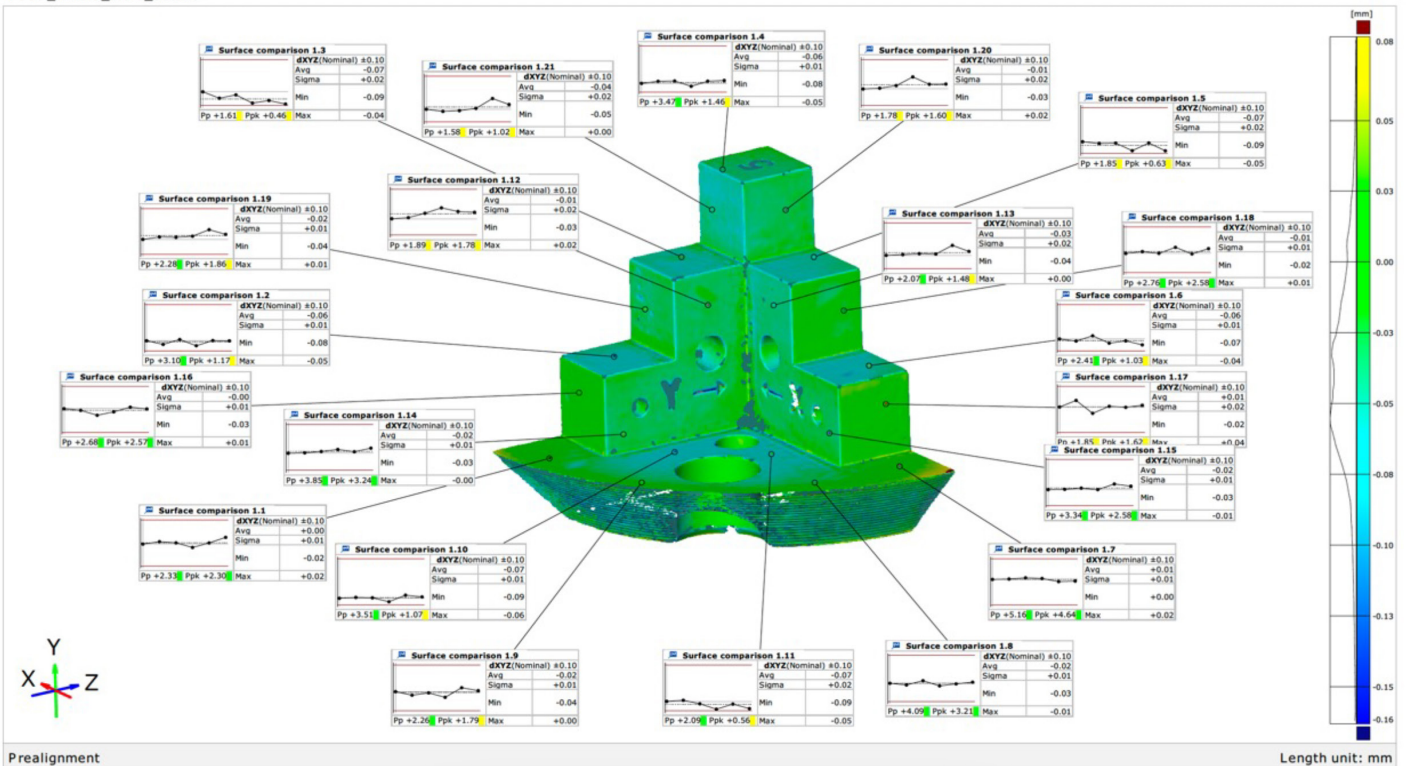


Pp è un "indice di performance". Misura la capacità dei dati di rientrare nei limiti delle specifiche (USL, LSL). I limiti delle specifiche sono un criterio di misurazione della tolleranza. Se per una parte si specificano dimensioni pari a 10 mm +/- 0,1 mm, la USL sarà 10,1 mm e la LSL sarà 9,9 mm. Per Pp, il valore non tiene conto di quanto il processo sia centrato sulla dimensione nominale, ma solo di quanto si adatterebbe se fosse centrato. Un Pp superiore a 1,50 è considerato accettabile secondo la metodologia per la gestione della qualità Six Sigma.

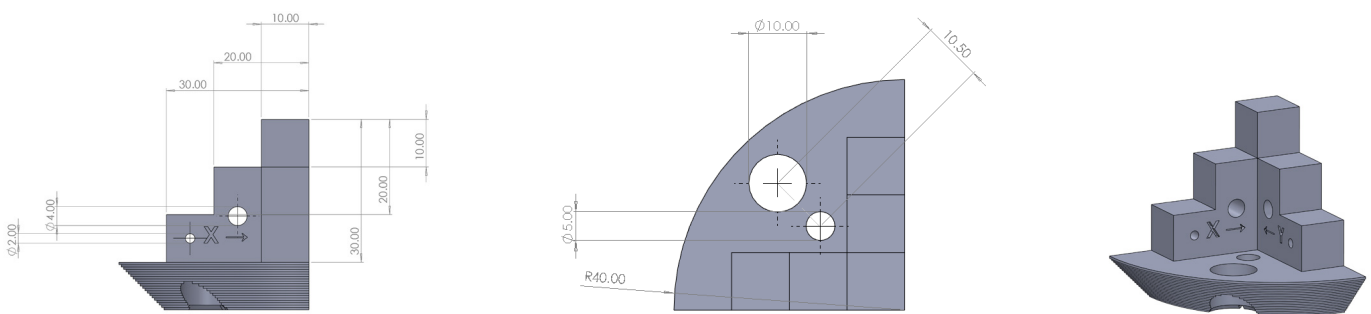
Ppk è un "indice di centratura della performance". Questo valore misura la capacità dei dati di collocarsi al centro all'interno dei limiti delle specifiche. Un Ppk superiore a 1,50 è considerato accettabile secondo la metodologia per la gestione della qualità Six Sigma.

I valori di Ppk ricavati dai dati di scansione di tutte le parti sono compresi tra 1,07 e 4,64. I valori di Pp sono compresi tra 1,61 e 5,16.

P009_A no.5_more_details



Anche se un'immagine può valere più di mille parole, le immagini da sole non sempre riescono a spiegare il quadro nella sua interezza; di solito i dati sono necessari e utili. Torniamo quindi allo scanner ottico Keyence e riportiamo i dati sull'accuratezza dimensionale e la ripetibilità tra stampe, stampanti, testine di stampa e parti diverse. La prima tabella mostra la parte scansionata appoggiata su ciascuno dei suoi due lati piatti, "Lato X" e "Lato Y". La seconda tabella mostra la parte in posizione verticale. I dati riportati di seguito sono stati ricavati da sei stampe di otto parti ciascuna, per un totale di 48 parti. Si noti che ogni colonna corrisponde a una caratteristica/dimensione nominale diversa.



Il campione di prova sopra riportato indica le dimensioni misurate dallo scanner Keyence.



Con tutte le stampanti

La tabella seguente riporta i dati statistici di tutte le stampe realizzate con tutte le stampanti e le testine di stampa.

Dimensioni nominali		4	2	10	20	30	40	30	20	10
Lato A	Massimo	4,033	2,024	10,046	20,12	30,194	40,079	30,061	20,057	10,135
	Minimo	3,917	1,944	9,959	19,976	29,996	39,916	29,897	19,907	10,017
	Media	3,987	1,986	10,008	20,042	30,086	39,998	29,985	19,987	10,069
	Errore medio	-0,013	-0,014	0,008	0,042	0,086	-0,002	-0,015	-0,013	0,069
	Intervallo	0,116	0,080	0,087	0,144	0,198	0,163	0,164	0,150	0,118
	Deviazione standard	0,020	0,019	0,025	0,037	0,052	0,042	0,041	0,034	0,029
	6 sigma	0,123	0,113	0,148	0,223	0,315	0,254	0,248	0,207	0,172
	3 sigma	0,061	0,057	0,074	0,112	0,157	0,127	0,124	0,103	0,086
	2 sigma	0,041	0,038	0,049	0,074	0,105	0,085	0,083	0,069	0,057

Dimensioni nominali		4	2	10	20	30	40	30	20	10
Lato B	Massimo	4,027	2,02	10,137	20,05	30,051	40,073	30,176	20,105	10,065
	Minimo	3,939	1,938	9,977	19,865	29,872	39,906	29,983	19,97	9,951
	Media	3,987	1,984	10,064	19,98	29,979	39,993	30,079	20,037	10,005
	Errore medio	-0,013	-0,016	0,064	-0,02	-0,021	-0,007	0,079	0,037	0,005
	Intervallo	0,088	0,082	0,16	0,185	0,179	0,167	0,193	0,135	0,114
	Deviazione standard	0,021	0,021	0,037	0,041	0,044	0,040	0,046	0,033	0,025
	6 sigma	0,126	0,124	0,220	0,248	0,262	0,239	0,277	0,198	0,149
	3 sigma	0,063	0,062	0,110	0,124	0,131	0,120	0,138	0,099	0,075
	2 sigma	0,042	0,041	0,073	0,083	0,087	0,080	0,092	0,066	0,050

Dimensioni nominali		10	5	10,5	40
Parte superiore	Massimo	10,002	5,013	10,534	40,065
	Minimo	9,909	4,907	10,482	39,896
	Media	9,950	4,948	10,511	39,975
	Errore medio	-0,050	-0,052	0,011	-0,025
	Intervallo	0,093	0,106	0,052	0,169
	Deviazione standard	0,021	0,026	0,013	0,042
	6 sigma	0,126	0,154	0,081	0,249
	3 sigma	0,063	0,077	0,040	0,125
	2 sigma	0,042	0,051	0,027	0,083



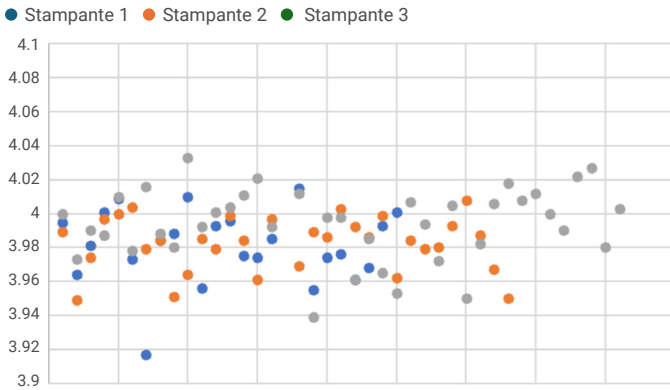
Dimensioni nominali		4	2	10	20	30	40	30	20	10
Lati A e B Tutte le stampanti	Massimo	4,033	2,024	10,102	20,12	30,194	40,079	30,176	20,105	10,135
	Minimo	3,917	1,938	9,959	19,865	29,872	39,906	29,897	19,907	9,951
	Media	3,985	1,985	10,036	20,011	30,032	39,996	30,032	20,012	10,037
	Errore medio	-0,046	-0,039	-0,101	-0,109	-0,162	-0,084	-0,144	-0,093	-0,098
	Intervallo	0,116	0,086	0,143	0,255	0,322	0,173	0,279	0,198	0,184
	Deviazione standard	0,020	0,019	0,025	0,037	0,052	0,042	0,041	0,034	0,029
	6 sigma	0,123	0,113	0,148	0,223	0,315	0,254	0,248	0,207	0,172
	3 sigma	0,061	0,057	0,074	0,112	0,157	0,127	0,124	0,103	0,086
	2 sigma	0,041	0,038	0,049	0,074	0,105	0,085	0,083	0,069	0,057



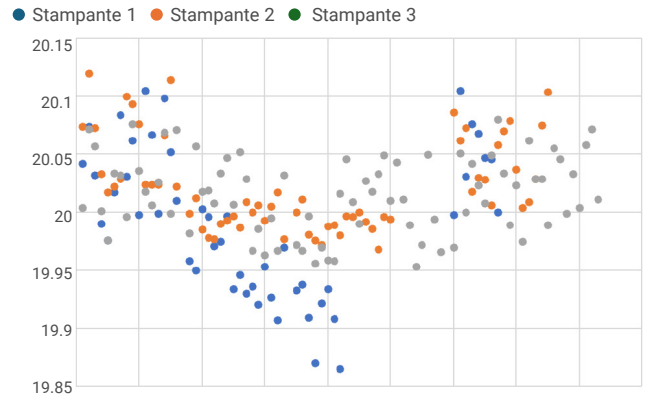
Stessa stampante e stampanti diverse

I grafici mostrano la variabilità all'interno di ciascuna stampante (colori) e tra le stampanti (tutti i punti dati) per varie caratteristiche/dimensioni. Si noti la dimensione ridotta della scala dell'asse Y per meglio comprendere l'intervallo.

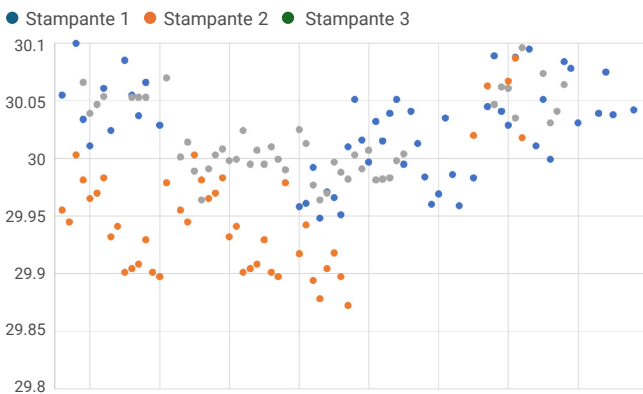
Campione di prova - Variabilità del diametro di foro da 4 mm



Campione di prova - Variabilità del diametro lineare da 20 mm - Lato A e Lato B



Campione di prova - Variabilità del diametro lineare da 30 mm - Lato A e Lato B



Risultati rispetto allo stampaggio a iniezione

La stampa 3D di parti in polimero per applicazioni di produzione industriale è uno dei nostri obiettivi e di molti clienti Stratasys. Tradizionalmente, la maggior parte di questi pezzi viene realizzata con lo stampaggio a iniezione. Come si collocano questi risultati rispetto alle tolleranze dello stampaggio a iniezione? La tabella seguente mostra le tolleranze standard per le parti in plastica stampate a iniezione con cinque diversi materiali termoplastici. Sia nello stampaggio a iniezione che nella stampa DLP, i materiali più rigidi possono raggiungere tolleranze più strette rispetto a quelli più flessibili.

Materiale per lo stampaggio a iniezione	Dimensioni		
	Da 1 a 20 mm	Da 21 a 100 mm	Da 101 a 160 mm
ABS	0,100	0,150	0,325
PA	0,075	0,160	0,310
PP	0,125	0,170	0,375
HDPE	0,125	0,170	0,375
30% GF PA	0,060	0,108	0,240

Confrontando le tolleranze standard dell'ABS con il valore medio di 3-sigma del campione di prova stampato in 3D, quest'ultimo risulta essere più che soddisfacente rispetto alle tolleranze standard dello stampaggio a iniezione. In un'ottica conservativa, è stato scelto il 3-sigma perché il 99,7% delle parti dovrebbe rientrare in questo intervallo e il tasso di scarto tipico di una parte stampata a iniezione è in genere dell'ordine dell'1-5%. Si noti che non tutti gli scarti sono imputabili a imprecisioni dimensionali, ma è probabile che più dello 0,3% dei pezzi sia fuori specifica per la maggior parte di quelli stampati a iniezione.



		Da 1 a 20 mm	Da 21 a 100 mm	
Tolleranza standard	ABS per stampaggio a iniezione	0,100	0,150	–
Media 3 sigma	3DP 3843	0,082	0,125	Campione di prova

I risultati sono simili se si confronta la media 3 sigma del connettore generico Loctite 3955™ con le tolleranze standard del nylon rinforzato con vetro al 30% (30% GF PA).

		Da 1 a 20 mm	Da 21 a 100 mm	
Tolleranza standard	ABS GF 30% per stampaggio a iniezione	0,060	0,120	
Media 3 sigma	3DP 3955	0,066	0,108	Connettore generico

Vale la pena di ribadire alcuni limiti dello studio. Questa ricerca considera due parti in due materiali e sappiamo che i risultati variano in base alla geometria e al materiale. Se confrontata ai 150 anni di storia dello stampaggio a iniezione, la produzione additiva si configura come un'industria emergente, che si sta ancora facendo strada per raggiungere lo stesso livello di accuratezza e ripetibilità. Esortiamo a proseguire con ulteriori studi e pubblicazioni sui risultati che i nostri clienti ottengono con Origin® Two e Origin Cure™ sulle loro geometrie.

Conclusioni finali

I dati riportati dimostrano l'accuratezza e la precisione che è possibile ottenere con la stampante Origin® Two abbinata all'unità di post-polimerizzazione Origin Cure™.



[stratasys.com](https://www.stratasys.com)

Certificazione
ISO 9001:2015

Sedi principali di Stratasys

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (numero verde USA)
+1 952 937-3000 (internazionale)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israele
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

WHITE PAPER
P3™ DLP

© 2024 Stratasys. Tutti i diritti riservati. Stratasys, il logo Stratasys Signet, Origin, Origin Cure, P3 e GrabCAD Print sono marchi registrati di Stratasys Inc. Tutti gli altri marchi sono di proprietà dei rispettivi titolari e Stratasys non si assume alcuna responsabilità in merito alla selezione, alle prestazioni o all'uso di questi prodotti non Stratasys. Specifiche di prodotto soggette a modifiche senza preavviso.
WP_P3_Production Accuracy Repeatability_0824a