

PROTOTIPAZIONE DI PRECISIONE

IL RUOLO DEGLI STAMPI REALIZZATI CON STAMPA 3D NEL SETTORE DELLO STAMPAGGIO A INIEZIONE



**di Lior Zonder e
Nadav Sella**

INTRODUZIONE

Lo stampaggio a iniezione – il processo di iniezione di materiale plastico all'interno della cavità di uno stampo dove si raffredda e indurisce assumendo la configurazione della cavità – è utilizzato principalmente per la produzione in serie di parti e prodotti finiti tridimensionali (3D) di alta precisione e spesso complessi. Lo sviluppo degli stampi per questo processo, tuttavia, è spesso un'attività complessa e costosa, che richiede molto tempo.

Gli stampi definitivi (hard-tooling) sono spesso realizzati in acciaio tramite frese a controllo numerico (CNC) o mediante processo di elettroerosione (EDM). Quando vengono utilizzati per la produzione in serie, tali stampi possono durare per milioni di cicli, tuttavia costano decine di migliaia di euro. Inoltre, il lead time per la produzione di questi stampi è spesso misurato in mesi, piuttosto che in settimane o giorni.

Pertanto, quando sono richieste fino ad alcune decine di migliaia di parti stampate a iniezione, il soft-tooling rappresenta un'alternativa. Questi stampi, realizzati in alluminio, sono meno costosi (generalmente da 2.000 a 20.000 euro ca.) e più rapidi da produrre (2 - 6 settimane).

Purtroppo, i costi e i tempi di realizzazione degli stampi sono spesso influenzati da fattori quali errori di progettazione che possono richiedere il rifacimento dello stampo, oppure la necessità di creare più iterazioni prima di raggiungere il design e la qualità della parte finale. In considerazione di queste problematiche, i produttori hanno iniziato a ricorrere alla stampa 3D per realizzare gli stampi per creare prototipi funzionali stampati a iniezione.

STAMPI REALIZZATI IN 3D CON TECNOLOGIA POLYJET: L'ALTERNATIVA AVANZATA

La tecnologia PolyJet è un metodo esclusivo di stampa 3D offerto dalle stampanti 3D Objet™ di Stratasys® che permette alle aziende di costruire al proprio interno stampi per iniezione, in tempi rapidi e con facilità. La stampa PolyJet crea oggetti 3D depositando strati liquidi di fotopolimeri in strati successivi per realizzare le geometrie desiderate. La plastica viene solidificata istantaneamente tramite raggi UV. Ad costruzione ultimata, gli stampi possono essere posizionati immediatamente nella pressa ad iniezione e utilizzati per creare prototipi dello stesso materiale previsto per il prodotto finito. Questi prototipi di precisione permettono di ottenere esempi realistici dei prodotti finiti e possono essere utilizzati per raccogliere dati sulle prestazioni effettive nelle applicazioni reali.

Gli stampi per stampaggio a iniezione realizzati con la tecnologia PolyJet non intendono sostituire gli stampi in acciaio o in alluminio utilizzati per volumi di produzione medi o elevati, ma sono volti a colmare la lacuna tra gli stampi di soft-tooling e i prototipi stampati in 3D. Il grafico seguente (Figura 1) mostra la nicchia occupata dalla tecnologia PolyJet nel processo di prototipazione.

Metodi di prototipazione	Quantità ottimale di pezzi	Materiale utilizzato per produrre il prototipo	Costo medio per stampo	Costo medio/pezzo	Tempo medio/pezzo
Stampa 3D*	1-10	Plastica FDM o PolyJet	ND	Alto	Alto
Fresatura meccanica	1 – 100	Termoplastica	ND	Alto	Medio
Stampaggio in silicone	5 – 100	Termoset	Basso	Medio	Alto
Stampaggio a iniezione con stampo ottenuto da stampa 3D PolyJet	10 – 100	Termoplastica	Basso	Medio	Medio
Stampaggio a iniezione con stampo "leggero" (soft-tooling)	100 – 20,000+	Termoplastica	Alto	Basso	Molto basso

Figura 1: Le caratteristiche della stampa PolyJet a confronto con i metodi di prototipazione tradizionali.

*Sebbene i processi FDM e di sinterizzazione laser utilizzino termoplastiche per creare i prototipi, le proprietà meccaniche non saranno equivalenti a quelle delle parti effettive stampate a iniezione perché a) i processi utilizzati per creare i prototipi saranno diversi e b) i materiali utilizzati per creare i prototipi FDM e sinterizzati a laser generalmente non sono gli stessi impiegati per lo stampaggio a iniezione delle parti finali.

Punti chiave relativi agli stampi PolyJet:

- Il costo iniziale di creazione di uno stampo con tecnologia PolyJet è relativamente basso. Tuttavia, gli stampi PolyJet sono ideali per produzioni di massimo 100 pezzi, a seconda del tipo di termoplastica utilizzata e della complessità dello stampo. Di conseguenza, il costo per pezzo è medio.
- Realizzare uno stampo con la tecnologia PolyJet è un processo relativamente rapido, che richiede solo poche ore rispetto alle giornate o settimane necessarie per creare gli stampi tradizionali.
- In caso siano richieste modifiche al progetto, è possibile realizzare internamente una nuova versione dello stampo a costi minimi. Questo aspetto, unito alla velocità della stampa 3D PolyJet, permette a progettisti e ingegneri di avere una maggiore libertà di progettazione.

- Gli stampi creati in materiale ABS digitale possono essere prodotti con grande accuratezza, con strati di 30 micron e una precisione che arriva a 0,1 mm. Grazie a queste caratteristiche si ottengono superfici lisce, tali da evitare nella maggior parte dei casi il ricorso a lavorazioni successive.
- Geometrie complesse, pareti sottili e dettagli fini possono essere facilmente programmati nel progetto dello stampo. Inoltre, questi stampi non presentano costi di realizzazione maggiori rispetto a stampi più semplici.
- Non è richiesta alcuna pre-programmazione per creare stampi PolyJet. Dopo il caricamento dei file di progetto CAD, il processo di stampa 3D può essere eseguito senza necessità di intervento manuale.
- Il tempo di processo richiesto per lo stampaggio a iniezione di una parte con uno stampo PolyJet è relativamente basso, tuttavia non così basso quanto il tempo impiegato con lo stampaggio convenzionale.

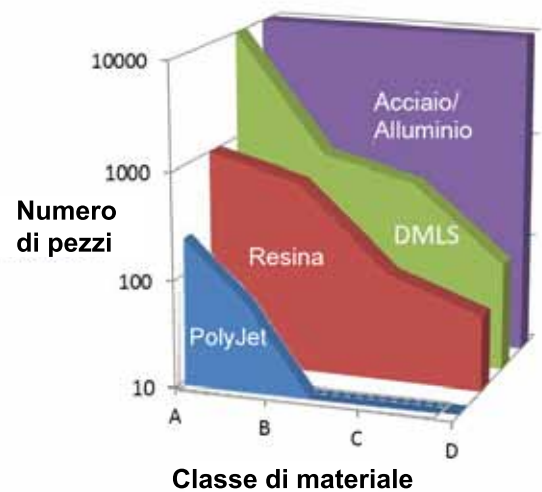
SELEZIONE DEI MATERIALI

Un'adeguata selezione dei materiali è importante per la riuscita del processo di stampaggio a iniezione con stampi prodotti tramite tecnologia PolyJet.

L'ABS digitale è la scelta migliore per gli stampi da utilizzare per lo stampaggio a iniezione, coniugando la resistenza alle alte temperature con un'elevata robustezza. Altri materiali PolyJet quali FullCure®720 e Vero sono anch'essi indicati per realizzare punzoni e matrici usati nello stampaggio a iniezione. Tuttavia, se utilizzati per creare parti con geometrie complesse, gli stampi in questi materiali avranno una durata minore rispetto a quelli in ABS digitale.

I materiali migliori per realizzare parti stampate a iniezione sono quelli con temperature di stampaggio non eccessivamente elevate (< 300 °C) e un buon comportamento del flusso. I candidati ideali sono:

- Polietilene (PE)
- Polipropilene (PP)
- Polistirene (PS)
- Acrilnitrile Butadiene Stirene (ABS)
- Elastomero termoplastico (TPE)
- Poliammide (PA)
- Poliossimetilene o resina acetica (POM)
- Miscela di policarbonato e ABS (PC-ABS)
- Polipropilene caricato con fibra di vetro o resina caricata con fibra di vetro (G)



- A=**
- Polietilene (PE)
 - Polipropilene (PP)
 - Polistirene (PS)
 - Acrilnitrile Butadiene Stirene (ABS)
 - Elastomero termoplastico (TPE)
- B=**
- Polipropilene caricato con fibra di vetro (PP+G)
 - Poliammide (PA)
 - Resina acetica / Poliossimetilene (POM)
 - Miscela di policarbonato e ABS (PC-ABS)
- C=**
- Poliammide caricata con fibra di vetro (PA+G)
 - Policarbonato (PC)
 - Resina acetica caricata con fibra di vetro (POM+G)
- D=**
- Policarbonato caricato con fibra di vetro (PC+G)
 - Ossido di polifenilene (PPO)
 - Solfuro di polifenilene (PPS)

Figura 2:
Numero previsto di pezzi per classe di materiale*

* Il numero varia a seconda delle geometrie e delle dimensioni dei pezzi stampati a iniezione

Plastiche che richiedono temperature di lavorazione di 250°C o superiori o quelle con alta viscosità alla temperatura di lavorazione riducono la durata utile dello stampo e, in alcuni casi, la qualità del pezzo finito.

Il grafico a destra (Figura 2) evidenzia il numero di pezzi generalmente prodotti utilizzando i diversi metodi di produzione degli stampi.

È inoltre utile osservare la seguente analisi costo/beneficio che confronta lo stampaggio a iniezione con stampo PolyJet e lo stampaggio a iniezione con stampo in alluminio.

	Alluminio		ABS digitale		
	Costo	Lead time	Costo	Lead time	Componenti
 <i>Rotore di ventilatore in POM</i>	\$1,670	7 giorni	\$960	1 giorno	<ul style="list-style-type: none"> • Objet500 Connex • RGD535 (810 gr) • RGD515 (1408 gr) • Supporto (100 gr)
 <i>Set di sei (6) cucchiaini da gelato in PP</i>	\$1,400	30 giorni	\$785	7 ore	<ul style="list-style-type: none"> • Objet260 Connex • RGD535 (400 gr) • RGD515 (480 gr) • Supporto (100 gr)
 <i>Tappo filettato in vari materiali</i>	\$1,900	4 giorni	\$530	13 ore	<ul style="list-style-type: none"> • Objet350 Connex • RGD535 (500 gr) • RGD515 (876 gr) • Supporto (100 gr)

Figura 3: Analisi costo/beneficio in termini di tempo di costruzione e costo (confronto con stampi in alluminio)

Come si può vedere negli esempi sopra, i risparmi in termini di tempo sono altamente significativi e vanno da alcuni giorni a diverse settimane. Inoltre, il costo per produrre gli stampi è generalmente più basso del 40% - 70%.

PROVE SUL CAMPO

Stratasys assieme a Nypro Healthcare, produttore di prodotti di plastica di precisione per i settori della sanità e del packaging con sede a Bray, in Irlanda, ha realizzato una serie di prove per valutare le prestazioni di punzoni e matrici di prototipazione rapida con caratteristiche cruciali che includevano:

- ingranaggi
- elementi interbloccanti
- denti d'arresto
- ganci o fermagli



Uno dei molti test condotti prevedeva lo stampaggio a iniezione di parti campione in ABS con uno stampo PolyJet in ABS digitale. Durante il processo sono stati monitorati parametri quali pressione massima, cuscinetto e temperature di punzone e matrice.

Il grafico seguente presenta i parametri di stampaggio a iniezione utilizzati per le prime 25 stampate dopo l'ottimizzazione dello stampo.

ABS – Parametri di processo 12 GIU 13				
N. stampata	Temp punz. (°C)	Temp matr. (°C)	Pressione di iniez. (bar)	Cuscinetto (mm)
1	54.3	59	880	9.19
2	18.1	38.1	887	9.12
3	51.2	42	892	9.21
4	48.4	37.9	894	9.2
5	49	40.5	896	9.18
6	49.6	38.2	894	9.24
7	49.6	39.8	897	9.25
8	50.9	37.6	891	9.15
9	53.9	38.1	894	9.17
10	53.6	40.2	884	9.14
11	54.8	44.0	890	9.27
12	53.3	40.8	882	9.26
13	55.1	41.8	884	9.24
14	53.1	41.7	884	9.07
15	57	42.1	897	9.22
16	48.2	43.7	893	9.19
17	52.7	41.9	891	9.22
18	55.4	42.3	882	9.15
19	55.7	42.9	884	9.2
20	56.3	47.9	884	9.26
21	57.3	46.8	886	9.29
22	55.1	47.6	882	9.23
23	56.2	43.6	885	9.23
24	55.1	45.2	884	9.19
25	57.5	47.1	882	9.22

Figura 4: Dati prove ABS per parti stampate a iniezione Nypro.

Al completamento delle prove, lo stampo è stato ritenuto stabile, come indicato dalla pressione di iniezione e dal cuscinetto costanti, e l'uso della procedura raccomandata per il raffreddamento dello stampo ha permesso di mantenere la temperatura di punzone e matrice inferiore a 58° C. Inoltre, la qualità dei prototipi stampati a iniezione è stata ritenuta "buona" da Nypro.

Sulla base dell'analisi delle prove condotta, Nypro ha affermato: "Si può concludere che le prove di stampaggio a iniezione hanno avuto un esito molto positivo... il processo di stampa 3D di punzoni e matrici può considerarsi vantaggioso in termini di tempo, valutazioni iniziali della funzionalità e costi di tooling ridotti".

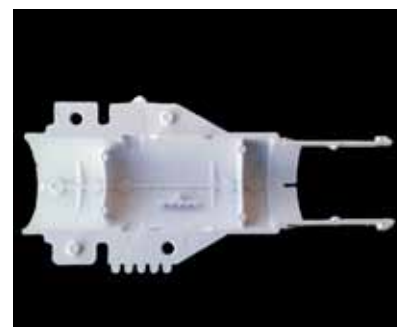


Figura 5: Componente creata da Nypro per la verifica di parti stampate a iniezione con stampo PolyJet.



Figura 6: Parte campione finita.

LINEE GUIDA SULLE BEST PRACTICE

La progettazione degli stampi per processi a iniezione, una vera e propria arte, richiede anni di esperienza e la conoscenza approfondita del processo di stampaggio a iniezione. Sebbene le considerazioni di progettazione da fare per la creazione e l'uso di uno stampo realizzato con tecnologia PolyJet siano fondamentalmente analoghe a quelle per gli stampi ottenuti con metodi tradizionali, occorre evidenziare alcune distinzioni. I progettisti dovranno introdurre i seguenti cambiamenti nella creazione di uno stampo PolyJet rispetto alla realizzazione di un normale stampo in acciaio.

1. PROGETTAZIONE DELLO STAMPO

- Aumentare gli angoli di sforno quanto più possibile, compatibilmente con il progetto della parte. Questo faciliterà l'estrazione e ridurrà le sollecitazioni sull'utensile durante tale processo.
- Aumentare la dimensione del punto di iniezione per ridurre le sollecitazioni di taglio.
- Il punto di iniezione va posizionato in modo che il materiale fuso che entra nella matrice non prema contro feature piccole/sottili nello stampo.
- Evitare di utilizzare iniezioni a tunnel e puntiformi. Preferire invece punti di iniezione che riducono le sollecitazioni di taglio, quali iniezione diretta o iniezione laterale.

2. STAMPA 3D DELLO STAMPO

Per massimizzare le opportunità offerte dalla stampa 3D PolyJet si raccomanda di applicare le seguenti linee guida:

- Stampare in modalità "glossy" per assicurare superfici lisce.
- Orientare la parte nel software Objet Studio™ in modo da massimizzare le superfici lisce.
- Orientare lo stampo in modo che il flusso del polimero sia nella stessa direzione delle linee di stampa.

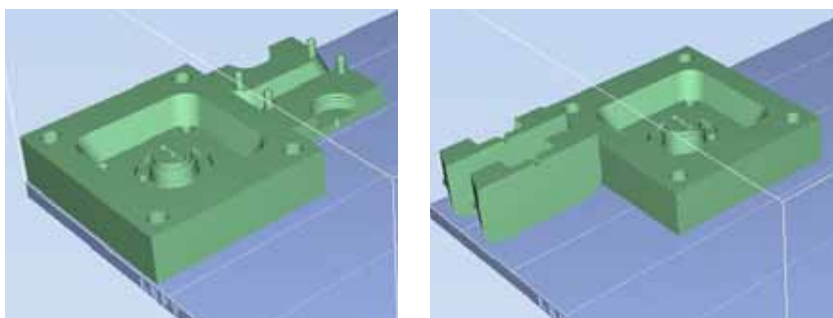


Figura 10: Orientare la parte nel software Objet Studio in modo da massimizzare le superfici lucide. A sinistra: quando lo stampo è orientato lungo l'asse Y, le filettature saranno configurate da materiale di supporto. A destra: quando lo stampo è orientato lungo l'asse Z, le filettature saranno configurate automaticamente senza materiale di supporto.

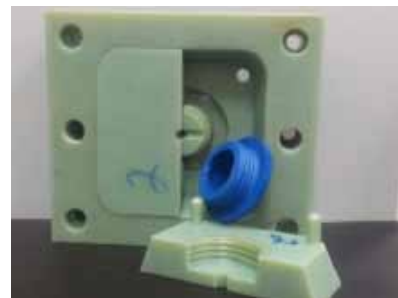


Figura 7: Stampo per stampaggio a iniezione PolyJet in ABS digitale con una parte in nylon caricato con fibre di vetro al 20%.



Figura 8: Inserti di stampo PolyJet sulla pressa ad iniezione. A sinistra il punzone e a destra la matrice.



Figura 9: Sistema di espulsione con inserto realizzato mediante stampa 3D.

3. FINITURA DELLO STAMPO

Un vantaggio chiave degli stampi realizzati con tecnologia PolyJet è che possono essere progettati, costruiti e utilizzati in poche ore. Nella maggior parte dei casi non sarà richiesta alcuna lavorazione successiva, tuttavia potrebbe essere necessario un intervento di finitura nelle seguenti circostanze:

- Lo stampo viene montato su un sistema di espulsione.

Per assicurare la stretta aderenza tra i perni di estrazione e i relativi fori, programmare questi ultimi nel file STL, ma ridurne il diametro di 0,2 - 0,3 mm, quindi al termine dell'asciugatura dello stampo alesare i fori in base all'esatta dimensione finale.

- Gli inserti sono inseriti in una base.
- È richiesta una levigatura extra delle superfici.

In taluni casi si raccomanda di eseguire una leggera sabbatura delle superfici trasversalmente all'apertura dello stampo. Ad esempio, prima di usare uno stampo con un punzone alto, una leggera levigatura può facilitare la rimozione della parte.

4. MONTAGGIO

- Stampi stand-alone – quelli non fissati a un telaio di base – possono essere montati direttamente sulla piastra posteriore della macchina standard o in acciaio, mediante viti o nastro biadesivo.
- Gli inserti dello stampo mostrati nella Figura 8 sono fissati a uno stampo base mediante dei perni.

Qualsiasi sia l'opzione di montaggio prescelta, è importante evitare il contatto diretto tra l'ugello e lo stampo ottenuto con stampa 3D, mediante l'uso di una boccola di iniezione standard. In alternativa, è possibile centrare il canale di iniezione dello stampo con la carota situata su una norme piastra di acciaio.

5. PROCESSO DI STAMPAGGIO A INIEZIONE

Quando si usa lo stampo PolyJet per la prima volta, la procedura di best practice è la seguente:

- **Be**: Iniziare con una stampata incompleta e una bassa velocità di iniezione. Il tempo di riempimento può essere elevato, poiché il materiale fuso non si raffredda mentre entra nello stampo. Aumentare la dimensione dell'iniezione finché la cavità non è piena al 90-95%.
- Nella fase di mantenimento, utilizzare il 50-80% della pressione di iniezione attuale e regolare il tempo di mantenimento in base alle necessità, per evitare risucchi.
- Applicare una forza di chiusura calcolata normalmente (pressione di iniezione x superficie del pezzo proiettata) come valore iniziale.



Figura 11: Finitura del componente dello stampo



Figura 12: Stampo stand-alone fissato con nastro biadesivo alla piastra posteriore della pressa di stampaggio.



Figura 13: Gli inserti dello stampo vengono assemblati su una base in acciaio standard e tenuti in posizione con viti per macchine utensili.



Figura 14: Dispositivo di raffreddamento montato sullo stampo. Mentre lo stampo si apre, sulla superficie viene applicata aria pressurizzata per un tempo predeterminato.

- Gli stampi ottenuti con tecnologia PolyJet presentano una bassa conduttività termica, quindi richiedono tempi di raffreddamento prolungati. Per parti piccole o sottili (spessore delle pareti di 1 mm o inferiore), iniziare con un tempo di raffreddamento di 30 secondi e regolare, in base alle necessità. Per parti di maggiori dimensioni (spessore delle pareti di 2 mm o più), iniziare con 90 secondi e regolare di conseguenza. Il tempo di raffreddamento varia a seconda del tipo di resina plastica utilizzata.
- Si raccomanda un raffreddamento minimo per evitare un eccessivo ritiro della parte sui punzoni stampati. Un eccessivo raffreddamento può sollecitare lo stampo quando la parte viene espulsa e determinarne il cedimento.
- Dopo ogni ciclo di stampaggio, è fondamentale permettere alla superficie dello stampo di raffreddarsi, applicando aria pressurizzata. Questa misura contribuirà a preservare la qualità della parte e la durata dello stampo. In alternativa, è possibile utilizzare sistemi di raffreddamento dello stampo automatizzati.

CONCLUSIONI

DL'uso di stampi realizzati mediante stampa 3D con tecnologia PolyJet offre ai produttori la possibilità di raggiungere nuovi traguardi nelle verifiche funzionali, creando prototipi dei prodotti dallo stesso processo di stampaggio a iniezione e con gli stessi materiali utilizzati per realizzare il prodotto finale. Questa tecnologia permette alle aziende di migliorare i dati prestazionali e convalidare la conformità ai requisiti di certificazione.

Gli stampi PolyJet sono davvero unici, perché pur comportandosi come i tradizionali stampi in metallo sono molto più economici, più facili e più veloci da realizzare. Grazie alla tecnologia PolyJet i produttori potranno creare prototipi a velocità e costi ben al di sotto di quelli dei metodi tradizionali. La stampa 3D consente quindi alle aziende manifatturiere di valutare facilmente le prestazioni, l'idoneità e la qualità dei loro prodotti potenziali prima di avviarne la produzione in serie.

PARAMETRI DI BEST FIT

Gli stampi PolyJet sono la soluzione ideale per l'applicazione quando si lavora con:

Termoplastiche:

- Temperature di stampaggio ragionevoli < 300° C
- Buon comportamento del flusso
- Materiali candidati: Polietilene (PE)
 - Polipropilene (PP)
 - Polistirene (PS)
 - Acrilonitrile Butadiene Stirene (ABS)
 - Elastomero termoplastico (TPE)
 - Poliammide (PA)
 - Poliossimetilene o resina acetica (POM)
 - Miscela di policarbonato e ABS (PC-ABS)
 - Resine caricate con fibre di vetro

Quantità:

- Basse quantità (da 5 a 100 pezzi)

Dimensioni:

- Parti di medie dimensioni <165 cm³
- Pressa di stampaggio da 50 a 80 ton
- Si possono utilizzare anche presse manuali.

Progettazione:

- Sono richieste multiple iterazioni di progettazione.

Verifiche:

- È richiesta la conferma della funzionalità.
- È richiesta la verifica della conformità (ad es. UL o CE)

Stratasys | www.stratasys.com | info@stratasys.com

7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344
+1 888 480 3548 (gebührenfrei
innerhalb der USA)
+1 952 937 3000 (Intern.)
+1 952 937 0070 ((fax))

2 Holtzman St.,
Science Park, PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745-4000
+972 74 745-5000 (fax)

Stratasys GmbH
Airport Boulevard B210
77836 Rheinmuenster, Germania
+49 7229 7772-0
+49 7229 7772-990 (fax)
emea@stratasys.com

Azienda certificata ISO 9001:2008

©2013 Stratasys Inc. Tutti i diritti riservati. Stratasys, Fortus, Dimension, uPrint e FDM sono marchi registrati e Fused Deposition Modeling, FDM Technology sono marchi di Stratasys Inc., registrati negli Stati Uniti e in altri paesi. Tutti gli altri marchi sono di proprietà dei rispettivi titolari. Specifiche di prodotto soggette a modifica senza preavviso. Stampato negli USA. SSYS-WP-IM-ITA-02-14

Per ulteriori informazioni su sistemi, materiali e applicazioni Stratasys, contattare il numero
+ 1 888.480.3548 o visitare **www.stratasys.com**.

