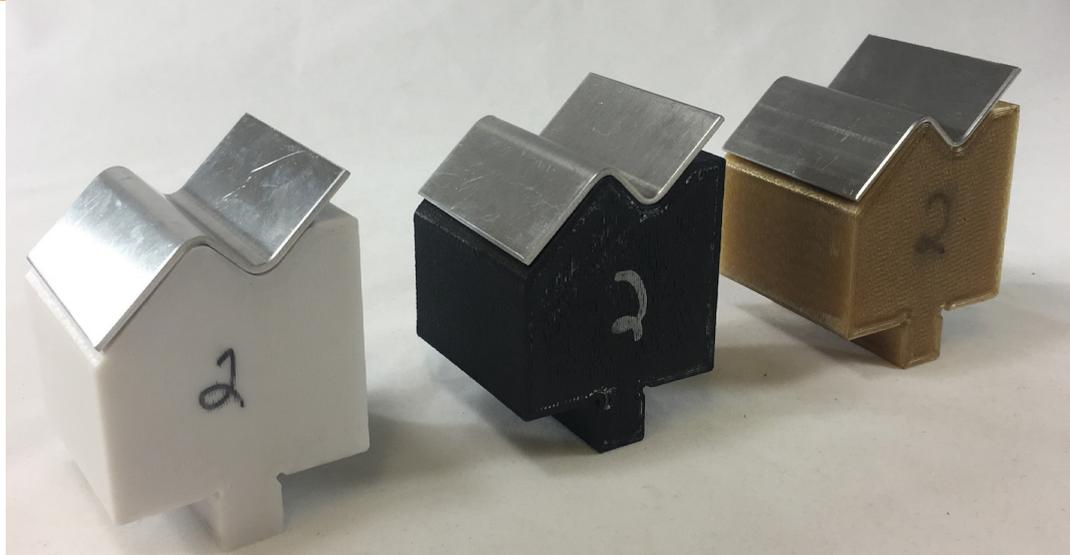


**Fabbricazione
additiva
per utensili
di formatura
in metallo
personalizzati**



Fabbricazione additiva per utensili di formatura in metallo personalizzati

Questo white paper presenta i risultati di un case study incentrato sull'uso della fabbricazione additiva FDM® per la realizzazione di attrezzaggi personalizzati per la formatura del metallo. Le tecniche di progettazione e di lavorazione sono specifiche per questo case study, ma possono essere utilizzate per la maggior parte delle applicazioni di produzione di attrezzaggi per la formatura del metallo.

Sezione 1 - Panoramica dell'applicazione

Gli attrezzaggi tradizionali per le presse piegatrici vengono realizzati in acciai comuni come l'A2, il D2 o il 4140. Questi utensili possono essere acquistati a scaffale da diversi produttori (Wilson, Wila, Mate) in geometrie standard. Quando invece si rende necessario un utensile personalizzato, i costi e i tempi di lavorazione aumentano drasticamente. Inoltre, dopo averne eseguito i test di adattamento e funzionamento, non è raro che si debba procedere a una revisione del progetto. Tali revisioni comportano ulteriori spese e tempi di attesa più lunghi per ottenere un attrezzo personalizzato già di per sé costoso.

Una soluzione per ridurre al minimo i costi di attrezzaggio durante la fase di sviluppo è la fabbricazione additiva, che consente di produrre utensili dalla forma personalizzata. Infatti la fabbricazione additiva permette di effettuare varie iterazioni di geometrie complesse e personalizzate che possono essere stampate senza dover far fronte ai costi e ai lunghi tempi di consegna generalmente associati alla revisione di un attrezzo in metallo. La tecnologia FDM di Stratasys è in grado di stampare diversi materiali termoplastici ad alta resistenza che possono resistere alla pressione di formatura di metalli con uno spessore sottile. Gli attrezzaggi realizzati con la tecnologia additiva possono essere impiegati come strumento di produzione per volumi fino a 500-1.000 unità a seconda del materiale del pezzo, della forma e del materiale dell'utensile. Per volumi superiori alle 1.000 unità, si raccomanda invece di utilizzare i tradizionali attrezzaggi in metallo.

Fabbricazione additiva per utensili di formatura in metallo personalizzati

Sezione 2 – Geometria personalizzata contro piegatura standard

Gli utensili personalizzati sono comunemente usati per dare forma a geometrie complesse che non possono essere realizzate con le tradizionali presse piegatrici con matrice a V, come mostra la figura 2-1. Esempi di queste geometrie sono le svasature, gli offset e le nervature, la cui funzione principale è quella di incrementare la rigidità e la resistenza di un pezzo senza aggiungere altro materiale.

2.1 Piegatura offset

La piegatura offset come quella mostrata nella figura 2-2, detta anche piegatura ad angolo, è un processo usato comunemente per la lavorazione di lamine di metallo in cui si formano due piegature opposte vicine tra loro più di quanto permetterebbe una pressa piegatrice con matrice a V standard.

La piegatura offset viene utilizzata principalmente per conferire rigidità extra a una parte o per creare una sagomatura che consenta la calettatura per l'accoppiamento di due pezzi. La piegatura offset offre due vantaggi principali. In primo luogo è più precisa: l'offset (ovvero la distanza tra le pieghe) e l'angolo sono impostati dalla geometria dell'utensile piuttosto che dai calibri posteriori e dalla traversa della pressa piegatrice. Secondo, abbassa i costi riducendo la durata del ciclo. Piuttosto che formare due singole pieghe, entrambe vengono realizzate contemporaneamente all'interno di un unico ciclo della traversa.

Si raccomanda di progettare gli attrezzi di offset con un raggio 2 volte maggiore rispetto allo spessore del materiale utilizzato per la formatura della parte. Sarebbe infatti possibile impostare un raggio minore, ma l'incidenza di un carico elevato su una superficie di raggio inferiore determinerebbe un deterioramento più rapido dell'attrezzo.

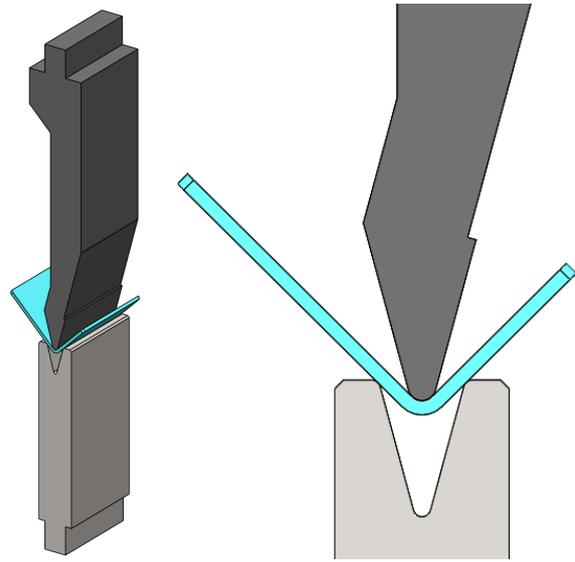


Figura 2-1: Pressa piegatrice con matrice a V standard.

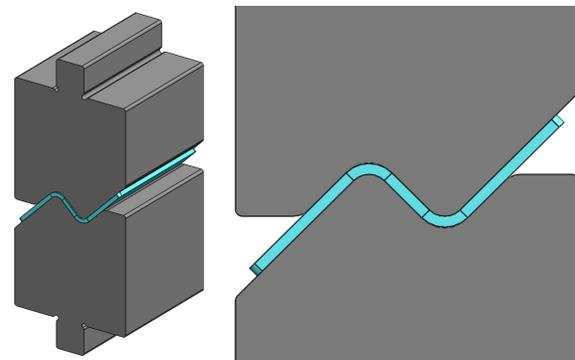


Figura 2-2: Attrezzaggi per piegatura offset.

Fabbricazione additiva per utensili di formatura in metallo personalizzati

2.2 Nervature

Come le piegature offset, anche le nervature vengono utilizzate per conferire una rigidità maggiore a parti in lamina di metallo. Le forme più comuni sono a V, a cappello e arrotondata (mostrate nella figura 2-3). Queste forme uniche non possono essere ottenute con la matrice a V di una pressopiega tradizionale.

2.3 Cavità/svasature

Nell'industria aerospaziale e automobilistica, le parti in lamiera spesso incorporano aree in cui il materiale viene rimosso per ridurre il peso. In questi punti vengono utilizzati speciali strumenti di formatura che corrispondono alla forma del ritaglio per aggiungere una cavità o una svasatura e ripristinare la rigidità. Questi strumenti, oltre ad essere molto costosi, vengono di solito impiegati nella produzione di forme e dimensioni standard. A titolo esemplificativo, lo strumento a svasatura circolare di circa 6 cm mostrato nella figura 2-4 può essere stampato in policarbonato in 3,25 ore con un costo del materiale di circa 54 euro. A confronto, uno strumento analogo già pronto costerebbe 120 euro e dovrebbe essere spedito da un fornitore. Con l'uso della fabbricazione additiva è quindi possibile produrre in modo rapido ed economico strumenti con una geometria standard o forme personalizzate come quelle con sagomature triangolari o rettangolari mostrate nelle figure 2-4 e 2-5.

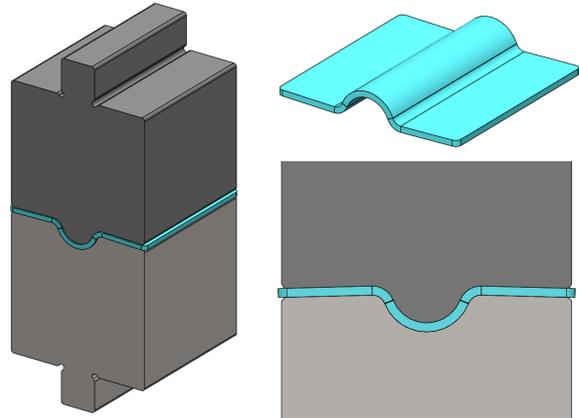


Figura 2-3: Nervatura di rinforzo arrotondata.



Figura 2-4: Attrezzaggi di svasatura personalizzati stampati in policarbonato.



Figura 2-5: Esempi di parti formate usando gli attrezzaggi di svasatura mostrati nella figura 2-4.

Fabbricazione additiva per utensili di formatura in metallo personalizzati

Sezione 3 – Materiali raccomandati e tecniche di lavorazione

3.1 Materiali

La tecnologia FDM ha la capacità di stampare un'ampia varietà di termoplastiche dalle diverse proprietà meccaniche. Una delle proprietà più importanti da considerare nella scelta del materiale per la realizzazione di attrezzaggi di formatura tramite tecnologia FDM, è la resistenza alla compressione finale. Anche l'orientamento di stampa risulta essenziale, perché la resistenza alla compressione del materiale varia a seconda dell'orientamento con cui vengono stampati gli utensili. Qualsiasi materiale FDM può essere utilizzato per applicazioni di formatura del metallo, ma Stratasys raccomanda il Nylon 12CF FDM, il polycarbonato (PC), la resina ULTEM™ 1010 o la resina ULTEM™ 9085, in quanto tutti offrono un'elevata resistenza alla compressione.

3.2 Lavorazione

Le matrici offset sono state lavorate con riempimento solido e quattro contorni per una maggiore rigidità. In determinati punti del percorso esterno dell'utensile, l'angolo raster e il contorno sono paralleli, tuttavia il percorso dell'utensile raster non corrisponde perfettamente al bordo del contorno generando uno spazio vuoto. Per correggerlo, l'angolo raster è stato portato a 70° (vedi figura 3-1). Questo significa che con determinate geometrie, potrebbe essere necessario regolare l'angolo raster e la larghezza per eliminare la presenza di spazi vuoti nell'utensile.

Tabella 3-1: Resistenza alla compressione dei materiali FDM negli orientamenti XZ e ZX.

Materiale	Resistenza alla compressione (PSI)	
	XZ	ZX
PC	10.000	9.200
Resina ULTEM™ 1010	19.500	15.100
Resina ULTEM™ 9085	26.200	13.100
FDM® Nylon 12CF	9.670	13.310

XZ = X or "on edge"

XY = Y or "flat"

ZX = or "upright"

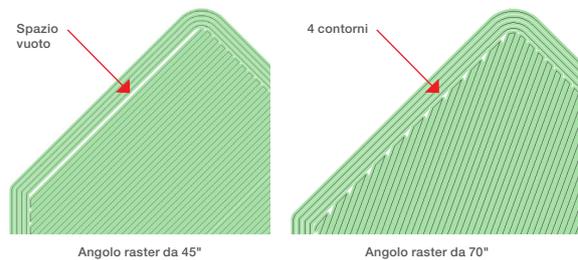
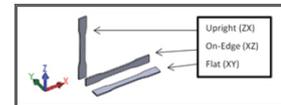


Figura 3-1: Spazio vuoto tra raster e contorno.

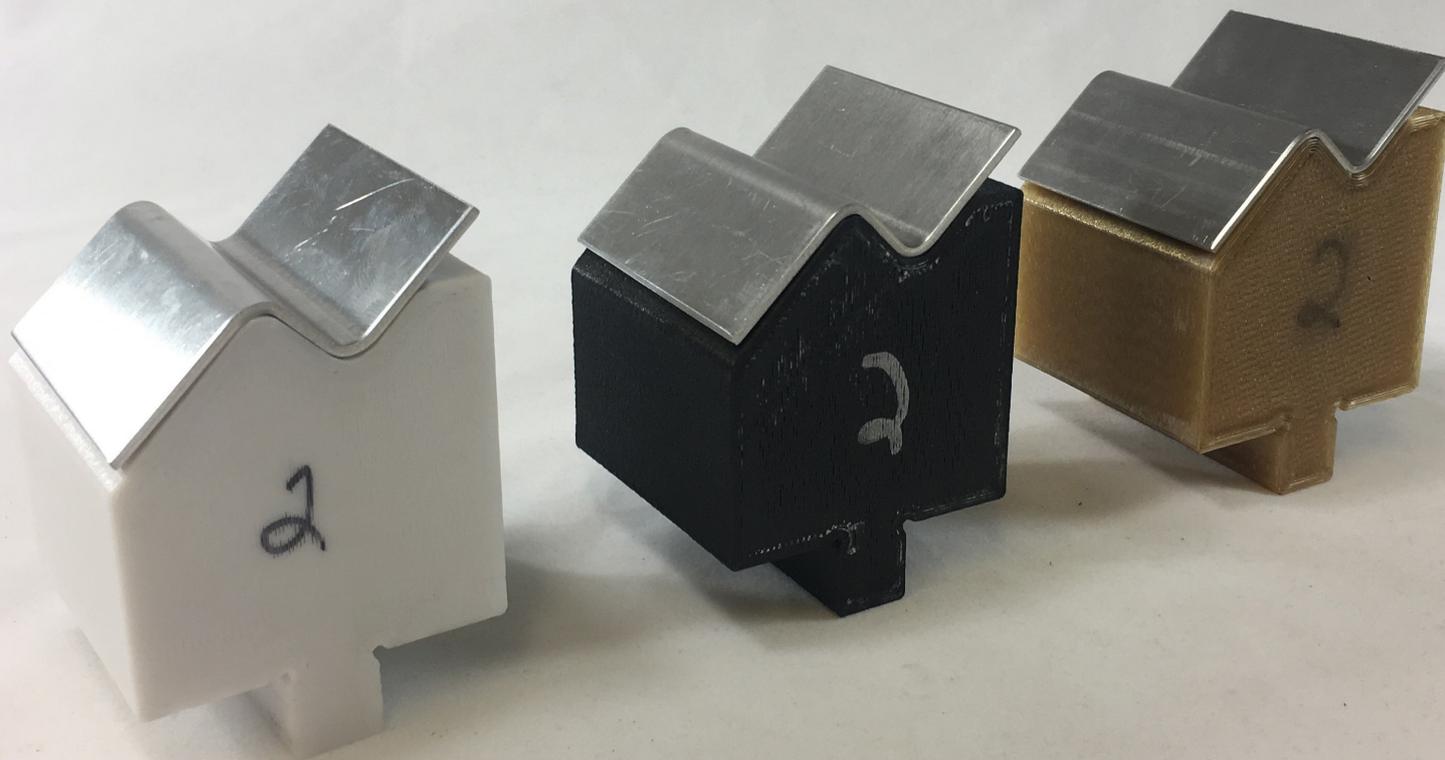


Figura 4-1: Utensili offset in PC, Nylon 12CF e resina ULTEM™ 1010.

Sezione 4 - Risultati dei test

4.1 Attrezzaggi per piegatura offset - Alluminio

Gli strumenti offset mostrati nella figura 2-2 sono stati stampati in resina ULTEM™ 1010, Nylon12 CF e PC a scopo di test. Utilizzando una pressa piegatrice Accurpress da 60 tonnellate, ogni utensile è stato sottoposto a 100 cicli con una pressione di formatura di 6 tonnellate, piegando alluminio 5052 calibro 16 (1,62 mm/0,064 pollici). La distanza e l'angolo di offset delle parti 1, 50 e 100 sono stati misurati usando un microscopio Keyence VHX 6000. Sia l'angolo che l'offset sono rimasti costanti su tutti i campioni con variazioni minime tra i tre diversi materiali. La figura 4-2 mostra il centesimo pezzo formato utilizzando un utensile in Nylon 12CF FDM, mentre la Tabella 4-1 mostra quanto le misure desiderate fossero vicine a quelle nominali. Le tolleranze comuni sulle lamine sono di $\pm 1^\circ$ per le dimensioni angolari e di ± 1 mm (0,039 pollici) per le dimensioni lineari. I pezzi formati con utensili realizzati con la tecnologia FDM rientrano perfettamente all'interno di tali margini, dimostrando la validità del loro utilizzo.

Tabella 4-1: Misurazioni della parte.

	Nominale	Effettivo	Differenza
Angolo 1	90°	89,88°	-0,12°
Angolo 2	90°	89,57°	-0,43°
Distanza offset	15,88 mm (0,625 pollici)	15,88 mm (0,625 pollici)	-0,3 mm (-0,012 pollici)

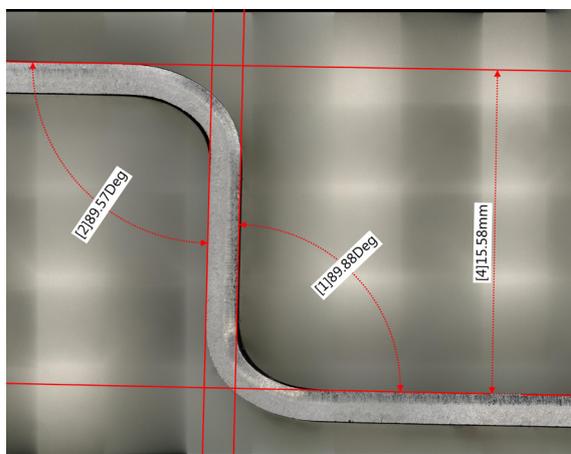


Figura 4-2: Misurazioni sul 100° pezzo formato.

Fabbricazione additiva per utensili di formatura in metallo personalizzati

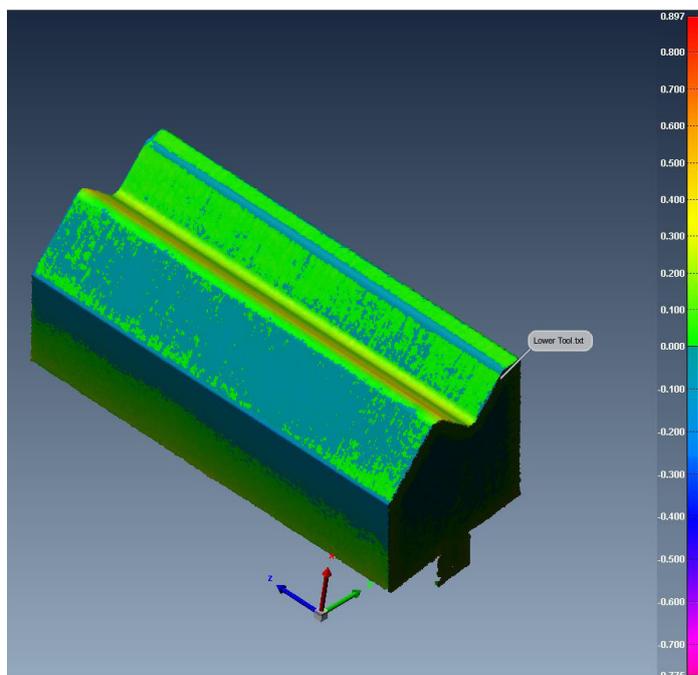


Figura 4-3: Scansione 3D dell'utensile stampato.



Figura 4-4: Utensile stampato mostrato sulla pressa piegatrice.

4.2 Attrezzaggi per piegatura offset - Acciaio

Una seconda serie di prove è stata effettuata utilizzando una geometria di offset simile con un utensile realizzato in Nylon 12CF FDM, ma in acciaio laminato a freddo con un calibro 16 (1,52 mm/0,60 pollici). L'utensile è stato sottoposto a 250 cicli con una pressione di formatura di 90 kN (9 tonnellate) ed effettuando misurazioni in incrementi di 50 cicli con una macchina di misura a coordinate (CMM). Anche in questo caso, l'utensile non ha evidenziato segni di usura significativi. L'unico elemento importante che ha registrato una variazione dimensionale è stato il raggio dell'utensile. Dai 3,2 mm (0,126 pollici) misurati all'inizio del test, si è appiattito leggermente sui 3,6 mm (0,142 pollici), con un calo pari al 12%, pur continuando a produrre parti formate dalle dimensioni precise. Dopo 250 cicli, l'utensile è stato scansionato tridimensionalmente e confrontato con i dati CAD nominali, confermando una variazione dimensionale di 0,4 mm (0,016 pollici) rilevata dalle misurazioni effettuate con la CMM.

Tabella 4-2: Misurazioni della parte.

	Nominale	Effettivo (250 cicli)	Differenza
Angolo 1	104,84°	105°	0,16°
Angolo 2	104,84°	105,5°	0,66°
Distanza offset	19,05 mm (0,75 pollici)	18,59 mm (0,732 pollici)	0,46 mm (0,018 pollici)

Sezione 5 - Considerazioni

5.1 Classificazioni di tonnellaggio

Gli utensili, sottoposti a pressioni massime di formatura comprese tra 50 e 100 kN (5-10 tonnellate), non hanno evidenziato alcun problema sotto carico. Va ricordato che la classificazione massima degli utensili di una pressa piegatrice è determinata dalla loro lunghezza e dalla superficie di formatura. Considerando i due esempi precedenti, la classificazione in funzione della lunghezza di tali utensili è di circa 0,8-1,2 kN/mm (2-3 tonnellate/pollici) in condizioni di carico massimo. Questa regola generale può essere applicata a strumenti dello stesso genere stampati con PC, Nylon 12CF FDM o resina ULTEM™ 1010.

5.2 Spessore massimo del materiale e cicli

L'alluminio e l'acciaio sono stati gli unici materiali testati in questo case study. Ma ci sono molti altri tipi di metalli che si prestano a essere formati usando attrezzaggi realizzati mediante fabbricazione additiva. Nella tabella seguente si forniscono le linee guida generali degli spessori massimi che possono essere formati correttamente in quantità importanti. È possibile usare spessori maggiori, ma in tal caso occorrerà valutare sia il tipo di materiale a cui dare forma sia la geometria dell'utensile.

Il numero massimo di cicli che gli utensili sono in grado di sostenere dipende dal materiale a cui si sta dando forma e dalla geometria dell'utensile. Gli esempi precedenti rientrano in un range di 100-250 cicli, che rappresenta un'ottima base di partenza. Il numero massimo di cicli può arrivare a 500. In circostanze particolari, la vita utile dell'utensile può arrivare a un massimo di 750 cicli. Oltre tale limite, si raccomanda di utilizzare attrezzaggi di metallo.

5.3 Ritorno elastico

Il ritorno elastico deve essere trattato come quando si dà forma alle lamine utilizzando attrezzaggi in metallo. Gli utensili devono essere progettati di conseguenza, di modo che possano piegare il pezzo oltre misura per poi ottenere la dimensione angolare desiderata per effetto del ritorno elastico. Occorrerà tener conto del tipo di materiale e dell'angolo di piegatura, ma la tabella 5-1 fornisce comunque alcune linee guida generali.

Tabella 5-1: Spessore max materiale

Materiale	Intervallo spessore
Acciaio	Fino a ~2 mm (0,090 pollici)
Acciaio inossidabile	Fino a ~2 mm (0,090 pollici)
Alluminio	Fino a ~3 mm (0,125 pollici)

Tabella 5-2: Valori ritorno elastico.

Materiale	Ritorno elastico (gradi)
304 Acciaio inossidabile	2 - 3
Alluminio tenero	1,5 - 2
Acciaio laminato a freddo	0,75 - 1
Acciaio laminato a caldo	0,5 - 1
Rame e ottone	0 - 0,5

Conclusioni

Gli attrezzaggi di formatura dei metalli realizzati tramite fabbricazione additiva rappresentano una valida opzione per ottenere geometrie uniche e personalizzate per volumi compresi in un range di 100-500 cicli. Gli attrezzaggi fabbricati con tecnologia FDM sono particolarmente adatti per l'offset e la svasatura su lamine con spessori più sottili. Ne deriva un notevole risparmio di tempo e di costi rispetto all'acquisto di attrezzaggi tradizionali in metallo.

Sedi principali di Stratasys

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344 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)

stratasys.com
Certificazione ISO 9001:2015

Stratasys GmbH
Airport Boulevard B120
77836 Rheinmünster, Germania
+49 7229 7772-0
+49 7229 7772-990 (Fax)

