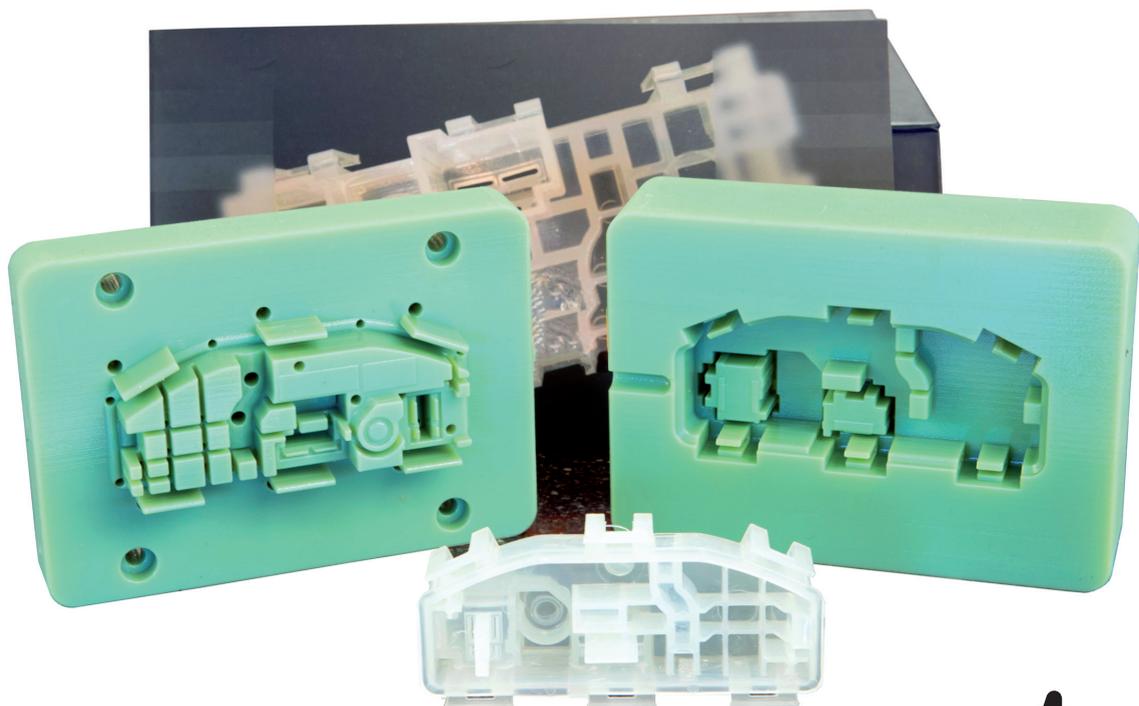


# TECNOLOGIE INDUSTRIALI

Moreno Soppelsa

## Fabbricare con la **stampa 3D**

Tecnologie, materiali e metodologie  
per la manifattura additiva



tecniche nuove

Moreno Soppelsa

# **Fabbricare con la stampa 3D**



Moreno Soppelsa

# **Fabbricare con la stampa 3D**

**Tecnologie, materiali e metodologie  
per la manifattura additiva**

**tecniche nuove**

© 2015 Tecniche Nuove - via Eritrea, 21 - 20157 Milano

Redazione: tel. 0239090258

libri@tecnicheNuove.com

Vendite: tel. 0239090440, fax 0239090335

vendite-libri@tecnicheNuove.com

www.tecnicheNuove.com

ISBN 978-88-481-8098-6

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del libro può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi, fotocopie, microfilm o altro, senza il permesso scritto dell'editore.

All rights reserved. No part of this book shall be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise without written permission from the publisher.

Le immagini di cui non è citata la fonte appartengono all'Autore.

In copertina: stampo realizzato con una stampante 3D di Stratasys, per gentile concessione del produttore (foto dell'Autore).

Copertina di Franco Beretta

Realizzazione editoriale di Nuova Videostena, Milano

Stampa: Andersen, Borgomanero (NO)

Finito di stampare nel mese di novembre 2015

*Printed in Italy*

*Questo libro è dedicato agli innovatori  
che hanno saputo inventare e perfezionare  
la stampa 3D fino a farla diventare  
uno strumento in più per fabbricare.*

*E agli imprenditori che,  
con altrettanto spirito di innovazione, hanno deciso  
e decideranno di inserire la manifattura additiva  
nel ciclo produttivo delle proprie realtà industriali,  
grandi o piccole che siano.*

*Con il coraggio e la determinazione  
che fanno grande il tessuto manifatturiero italiano.*



## **Ringraziamenti**

Nella realizzazione di un libro, l'autore non è che uno dei tasselli di una macchina editoriale complessa, formata da salde professionalità e competenze. Come quelle di Marco Airoidi, Rossano Neroni e Barbara Marchetti, che le hanno riversate in questa opera. Il mio ringraziamento va a loro, e anche a mio figlio Brenno che, con la saggezza tipica dei sei anni, ha stabilito che forse la stampa 3D non è ancora adatta a creare tutti i suoi prossimi giocattoli. Non ancora.



# Indice

## Capitolo 1

### **Introduzione alla stampa 3D**

La finzione che disorienta . . . . .	1
La realtà più concreta. . . . .	3
La stampa additiva. . . . .	5
Il mercato . . . . .	8
Produttori in gioco. . . . .	9
In questo libro . . . . .	11

## Capitolo 2

### **La stampa 3D nel processo produttivo**

Di rivoluzione in rivoluzione. . . . .	13
La fabbrica digitale . . . . .	15
Uno strumento in più. . . . .	15
Gli impieghi della stampa 3D nel processo additivo . . . . .	17
I prototipi concettuali . . . . .	17
I prototipi per validazione . . . . .	18
I prototipi tecnici . . . . .	20
Rapid tooling, rapid casting e rapid manufacturing . . . . .	22
Come sta cambiando il mondo del lavoro . . . . .	23

## Capitolo 3

### **Le tecnologie**

Modellazione a deposizione fusa (FDM) . . . . .	25
Sinterizzazione laser selettiva (SLS) . . . . .	27

## Indice

---

PolyJet .....	28
Stereolitografia (SLA) .....	29
3D Multi Jet Fusion .....	31
Direct Metal Laser Sintering (DMLS) .....	32
Electron Beam Melting (EBM) .....	33
Selective Laser Melting (SLM) .....	34
Multi Jet Printing (MJP) .....	34
Digital Light Processing (DLP) .....	35
LaserCusing .....	37

### Capitolo 4

#### **I materiali**

Le tecnologie, i materiali .....	39
Le plastiche in grani e filamenti .....	42
Le resine .....	44
Le polveri metalliche .....	45
Per tecnologia MJP (Multi Jet Printing) .....	46
Per tecnologia PolyJet .....	47
Per FDM professionale .....	49
Per FDM consumer .....	53
Per sinterizzazione laser selettiva (SLS) .....	54
Per sinterizzazione di metalli tramite laser (DMLS) .....	56
Per sinterizzazione di metalli tramite fasci di elettroni (EBM) .....	59
Per stereolitografia .....	61

### Capitolo 5

#### **I casi di successo**

Unilever e i profumatori per wc .....	65
Avio Aero e le pale dei motori dei Boeing .....	68
Dorco e i rasoi usa e getta .....	70
M.E.M.O e i gioielli .....	72
Gewiss e la domotica .....	75
General Electric e le valvole industriali .....	76
BTicino e gli interruttori .....	78
Tarondo e gli orologi .....	80
Jdeal-Form e la corsetteria .....	82
Elettrocanali e i sistemi di canalizzazione .....	84

---

Prototek e gli stampi .....	86
Studio Pedrini: dall'ingegneria inversa alla prototipazione .....	88
CRP Technology e gli scarponi da sci .....	90
Capitolo 6	
<b>I software</b>	
La costruzione del modello matematico .....	93
La creazione del file STL .....	98
Inizia la stampa 3D vera e propria .....	101
Diverse strade da percorrere .....	102
Scansionare .....	105
Modellare .....	106
Controllare i file STL .....	108
Gestire le stampanti .....	109
Appendice 1	
<b>Glossario della stampa 3D</b> .....	111
Appendice 2	
<b>I produttori</b> .....	123



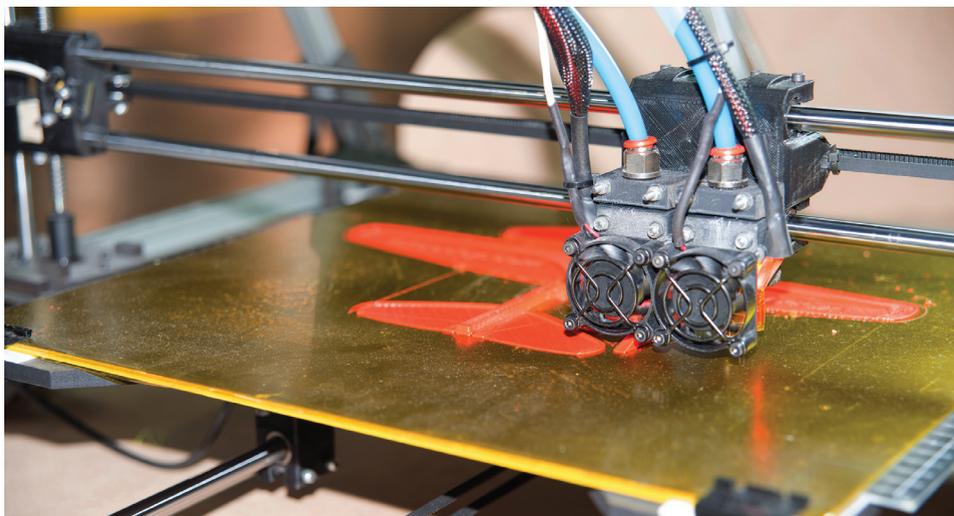
# Introduzione alla stampa 3D

Intorno alla stampa 3D c'è un diffuso malinteso: pur essendo una tecnologia che ha più di un quarto di secolo, sono in molti a credere che sia una recentissima novità. Colpa, o merito, dei mass media, che negli ultimi anni si sono innamorati della definizione *stampa 3D* sovrapponendola con successo alla più grigia *prototipazione rapida* adottata da anni dalle aziende di tutto il mondo per affinare i loro processi produttivi, e hanno iniziato a parlarne sempre più spesso. Soffermandosi però soprattutto sulla stampa 3D consumer, che è esplosa grazie a molti brevetti chiave di questa tecnologia che sono da poco scaduti consentendo a molte società di entrare in un settore dominato da pochi grandi produttori con stampanti che costano meno di un migliaio di euro (figura 1.1). Sono in molti casi stampanti amatoriali, usate da hobbisti per produrre oggetti che non sono all'altezza delle forti aspettative che giornali e televisioni hanno attribuito alla fascia più bassa di questa tecnologia (figura 1.2), inducendo a credere che anche con i modelli entry level di stampanti si possano creare oggetti che spaziano dagli accessori per aerei ai gioielli d'oro.

## **La finzione che disorienta**

---

Prendiamo ad esempio il caso della popolare serie televisiva *Grey's Anatomy*, che nella decima stagione ha visto le due protagoniste Cristina Yang e Meredith Grey (figura 1.3) contendersi una stampante 3D che l'una vuole usare per creare una vena porta da installare nella pecora Dolly e l'altra vuole impiegare per creare un condotto in grado di salvare un neonato. Cristina Yang è talmente affascinata da questa tecnologia che, nel finale di stagione, decide di accettare l'offerta del suo ex, Burke, che le affida la conduzione di una clinica svizzera nella quale si vedono al lavoro venti delle stampanti che Meredith aveva scelto per le sue ricerche al Grey Sloan Memorial Hospital. Estasiata,



**Figura 1.1** – Una stampante 3D di basso costo, circa 500 euro, sta stampando un aeroplanino in plastica. In circa due ore sarà pronto, ma è più una curiosità che un prodotto adatto per giocare. Queste stampanti non sono adatte per impieghi professionali di elevato profilo.



**Figura 1.2** – Carrellata di prodotti che si possono realizzare in maniera additiva (strato su strato) con le stampanti 3D che usano un estrusore per scaldare un filamento di ABS o PLA e depositarlo strato per strato fino a formare il prodotto finito.



**Figura 1.3** – Cristina Yang (nella foto alla destra di una tirocinante) e Meredith Grey, nella finzione della serie tv *Grey's Anatomy*, si contendono una stampante 3D con la quale creare organi da impiantare negli esseri umani. Nella realtà non è ancora possibile, e senz'altro non con la tecnologia della macchina che stanno adoperando. (Fonte: ABC)

dice che la sua ambizione è di usare la stampante 3D di Meredith per realizzare il suo sogno di stampare un cuore funzionante. Ma che modello di stampante sarà quella che si vede nella serie, che può stampare organi impiantabili nel corpo umano e che, evidentemente, costa così tanto che un ospedale come il Grey Sloan non può permettersene due, per accontentare sia Meredith sia Cristina? È semplicemente, e qui la fiction prevale sul realismo, una CubeX (figura 1.4) prodotta da 3D Systems. Una stampante da meno di 2000 euro con tecnologia FDM, in grado di stampare piccoli oggetti in plastica (ABS o PLA) e non certo organi umani. Nelle manifestazioni fieristiche, o in uno dei tanti negozi di stampa 3D fioriti nelle principali città, si vedono spesso stampanti di questa categoria. Ma quello che stampano sono più che altro fischietti, giocattolini e altri oggettini di poco conto. E subentra la delusione per questa tecnologia tanto decantata.

## La realtà più concreta

---

Le stampanti 3D consumer, assieme a quelle che pretendono di stampare case (una tecnologia ancora molto da affinare) e dolci da mangiare, sono la punta dell'iceberg di un mondo variegato fatto di sistemi di stampa industriali e materiali estremamente diversi,



**Figura 1.4** – La CubeX di 3D Systems usata in *Grey's Anatomy*, ora non più in produzione. È stata sostituita da un modello più performante, la CubePro da 2400 euro, e da un modello base da meno di mille euro. Tutte usano la tecnologia FDM. (Fonte: 3D Systems)

molti dei quali sono da tempo impiegati nell'ambito dei più evoluti processi produttivi per creare modelli concettuali, prototipi per validazione, prototipi tecnici e anche pezzi finali. La stampa 3D è stata adottata da tante industrie, soprattutto automobilistiche e aerospaziali, per valutazioni di stile, per test aerodinamici, verifiche di assemblaggio, prove funzionali, test idrodinamici e aerodinamici, produzioni di piccole serie e pezzi unici (figura 1.5), e creazione di stampi per pezzi definitivi da stampare con le tecniche tradizionali.

Per ogni applicazione ci sono materiali da scegliere, che spaziano dalla polvere di titanio alle resine fotosensibili, e macchine che li fondono usando il calore proveniente da lampade a ultravioletti o da raggi laser: è la parte industriale della stampa 3D, che sta tuttavia conoscendo una nuova vita proprio grazie al clamore suscitato da quella consumer. Un caso tipico di accelerazione di una tecnologia di alto livello dovuta alla notorietà improvvisa regalatagli dal suo impiego nella variante low-cost in ambito non professionale.



**Figura 1.5** – Un collettore per uso automobilistico stampato in 3D fondendo polveri di metallo con la tecnologia di fusione mediante raggio laser. Le sue caratteristiche fisiche e meccaniche sono equivalenti a un prodotto realizzato con le tecnologie tradizionali di fabbricazione.

## **La stampa additiva**

---

La stampa 3D è stata inventata nei primi anni 1980 e brevettata nel 1986 (anno in cui sono state introdotte sul mercato le stampanti laser tradizionali, per capirci) dall'ingegnere statunitense Charles Hull, il quale mise a frutto la sua invenzione fondando la 3D Systems, oggi tra le maggiori aziende al mondo specializzate in stampa additiva (figura 1.6). Nei primi tempi, e fino a pochi anni fa, è stata una tecnologia di nicchia che non è uscita dai confini delle grandi aziende e che aveva un nome meno accattivante: stereolitografia. In quegli anni sono state brevettate altre tecniche di stampa 3D (anzi, di prototipazione rapida, visto che di stampa 3D ancora non si parlava) basate su sistemi completamente diversi, come la sinterizzazione laser selettiva (SLS) o la fusione di filamenti plastici tramite calore (FDM). Tecnologie che hanno un unico grande comune denominatore: la stampa per addizione (anche detta produzione a strati o processo additivo) invece di quella classica per sottrazione di materiale, con torni e frese.

**United States Patent** [19]  
**Hull**

[11] **Patent Number:** 4,575,330  
[45] **Date of Patent:** Mar. 11, 1986

[54] **APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREO LITHOGRAPHY**  
[75] **Inventor:** Charles W. Hull, Arcadia, Calif.  
[73] **Assignee:** UVP, Inc., San Gabriel, Calif.  
[21] **Appl. No.:** 638,905  
[22] **Filed:** Aug. 8, 1984  
[51] **Int. Cl.<sup>4</sup>** ..... B29D 11/00; G03C 00/00  
[52] **U.S. Cl.** ..... 425/174.4; 425/174; 425/162; 264/22; 430/269; 156/58; 365/119; 365/120  
[58] **Field of Search** ..... 425/162, 174, 174.4, 425/425; 264/22, 183, 40.1; 430/269; 156/38, 58, 275.5; 365/107, 119, 127

4,252,514 2/1981 Gates ..... 425/162  
4,288,861 9/1981 Swainson et al. .... 365/127  
4,292,015 9/1981 Hritz ..... 425/162 X  
4,329,135 5/1982 Beck ..... 425/174  
4,333,165 6/1982 Swainson et al. .... 365/127 X  
4,374,077 2/1983 Kerfeld ..... 264/22  
4,466,080 8/1984 Swainson et al. .... 365/127 X  
4,471,470 9/1984 Swainson et al. .... 365/127

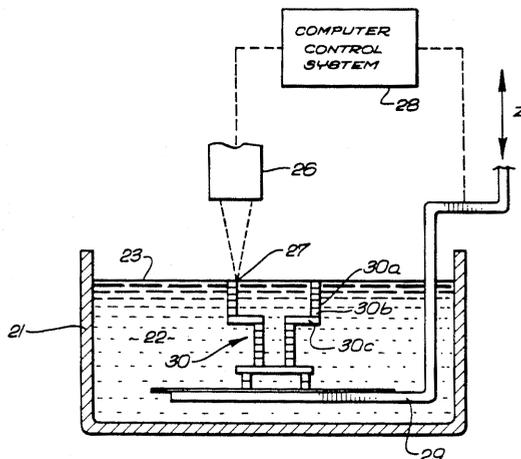
*Primary Examiner*—J. Howard Flint, Jr.  
*Attorney, Agent, or Firm*—Fulwider, Patton, Rieber, Lee & Utecht

[57] **ABSTRACT**

A system for generating three-dimensional objects by creating a cross-sectional pattern of the object to be formed at a selected surface of a fluid medium capable of altering its physical state in response to appropriate synergistic stimulation by impinging radiation, particle bombardment or chemical reaction, successive adjacent laminae, representing corresponding successive adjacent cross-sections of the object, being automatically formed and integrated together to provide a step-wise laminar buildup of the desired object, whereby a three-dimensional object is formed and drawn from a substantially planar surface of the fluid medium during the forming process.

[56] **References Cited**  
**U.S. PATENT DOCUMENTS**  
2,708,617 5/1955 Magat et al. .... 264/183 X  
2,908,545 10/1959 Teja ..... 264/22 X  
3,306,835 2/1967 Magnus ..... 425/174.4 X  
3,635,625 1/1972 Voss ..... 425/162 X  
3,775,036 11/1973 Winning ..... 425/174.4  
3,974,248 8/1976 Atkinson ..... 425/162 X  
4,041,476 8/1977 Swainson ..... 365/119  
4,078,229 3/1978 Swainson et al. .... 365/107  
4,081,276 3/1978 Crivello ..... 430/269  
4,238,840 12/1980 Swainson ..... 365/119

47 Claims, 8 Drawing Figures



**Figura 1.6** – Un documento storico: la prima pagina del brevetto che ha aperto la strada della stampa 3D. Nel 1986 Charles Hull ha brevettato la stereolitografia che aveva inventato qualche anno prima e che è stata la prima tecnologia in assoluto di stampa additiva. Nella pagina a fronte, due dettagli dello stesso brevetto. (Fonte: Charles Hull)

U.S. Patent Mar. 11, 1986 Sheet 2 of 4 4,575,330

Fig. 3

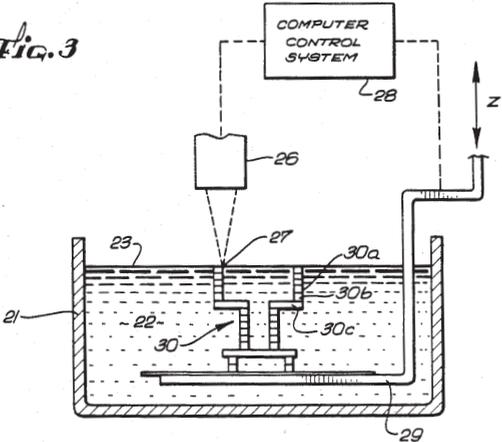


Fig. 4

