TECNOLOGIE CHE CAMBIANO LA FABBRICAZIONE

STRATO DOPO STRATO: STORIA DELLA STAMPA 3D

Dalle intuizioni ottocentesche ai brevetti degli anni Ottanta: il viaggio della manifattura additiva, che costruisce invece di scavare. Resine sensibili alla luce, modelli digitali e controllo della macchina permettono di realizzare forme complesse strato dopo strato. Hideo Kodama, Chuck Hull e 3D Systems segnano il passaggio dalla ricerca alla prototipazione industriale, fino alla commercializzazione della SLA-1 nel 1987.

Le origini, gli inventori, la prima macchina commerciale.



COS'È LA STAMPA 3D

La manifattura additiva costruisce un oggetto aggiungendo materiale, strato dopo strato.

MANIFATTURA ADDITIVA

Si parte da un modello digitale, suddiviso in sezioni dal software. Il materiale viene depositato, solidificato o fuso dove serve, fino a formare il volume. Filamenti termoplastici, resine e polveri metalliche richiedono processi diversi. Si possono ottenere canali interni e geometrie personalizzate senza uno stampo dedicato; precisione, resistenza, supporti e finitura guidano la scelta.

Strati successivi → oggetto

LAVORAZIONE SOTTRATTIVA

Si parte da un blocco: fresatura e tornitura rimuovono il materiale in eccesso con utensili controllati. Offrono tolleranze precise e superfici regolari, ma l'accesso dell'utensile limita alcune cavità e genera trucioli. I due approcci sono complementari: un pezzo stampato può essere lavorato sulle sedi funzionali. La stampa 3D non elimina le tecniche tradizionali, ma amplia le possibilità progettuali.

Blocco iniziale → asportazione → oggetto

La differenza è nel modo in cui nasce la forma.

DAL FILE DIGITALE ALL'OGGETTO

Prima della stampa, la geometria diventa una sequenza di istruzioni. Ogni fase influenza precisione, durata e qualità: un errore nel file può propagarsi fino al pezzo finito.

01

MODELLO CAD

Si definiscono geometria, dimensioni e dettagli. Spessori minimi e giochi tra parti devono essere compatibili con il processo; una scansione 3D può fornire la forma iniziale.

02

FILE STL

La superficie diventa una rete di triangoli. Si verificano chiusura, normali e assenza di intersezioni; una maglia troppo grossolana rende visibili le faccette sulle curve.

03

SLICING

Si scelgono orientamento, spessore degli strati e supporti. Il software calcola sezioni e percorsi: strati sottili migliorano il dettaglio, ma aumentano il numero di cicli.

04

STAMPA

La macchina esegue le istruzioni, depositando o solidificando materiale. Temperatura, esposizione e calibrazione variano con la tecnologia e incidono sull'adesione tra strati.

05

POST-PRODUZIONE

Si rimuovono i supporti, si pulisce e si rifinisce il pezzo. Le resine richiedono lavaggio e post-cura; un controllo dimensionale verifica il risultato rispetto al progetto.

Il flusso generale resta riconoscibile anche quando cambiano materiali e tecnologie.

LE RADICI PRIMA DEL 1980

Le idee arrivano prima delle stampanti. Già nell'**Ottocento**, fotografia e topografia suggeriscono come ricostruire un volume.

FOTOSCULTURA

Nel 1860 il francese François Willème sviluppa la fotoscultura: fotografie riprese da più angoli forniscono profili da trasferire alla scultura. Il metodo associa informazione visiva e lavorazione del materiale, anticipando la ricostruzione tridimensionale. Non è ancora stampa 3D: manca la fabbricazione automatica guidata da un file.



TOPOGRAFIA A STRATI

Nel 1892 Joseph E. Blanther brevetta un metodo per produrre modelli topografici mediante sezioni sovrapposte. Ogni profilo rappresenta una quota e contribuisce al rilievo complessivo: un volume può essere descritto come una successione di piani. È un antecedente concettuale dell'approccio a strati, non una stampante digitale.

Il digitale renderà queste intuizioni programmabili e ripetibili.

1980

HIDEO KODAMA

Deposita la prima domanda di brevetto per un sistema di prototipazione rapida a fotopolimero con luce UV.

Ricercatore al Nagoya Municipal Industrial Research Institute in Giappone, Kodama descrive nel 1981 modelli solidi in resina fotosensibile. La luce UV indurisce aree selezionate, strato dopo strato, trasformando una geometria in prototipo. La domanda del maggio 1980 non fu concessa; il sistema non venne commercializzato.



1983-1984: CHUCK HULL INVENTA LA STEREOLITOGRAFIA

La luce diventa uno strumento per costruire.

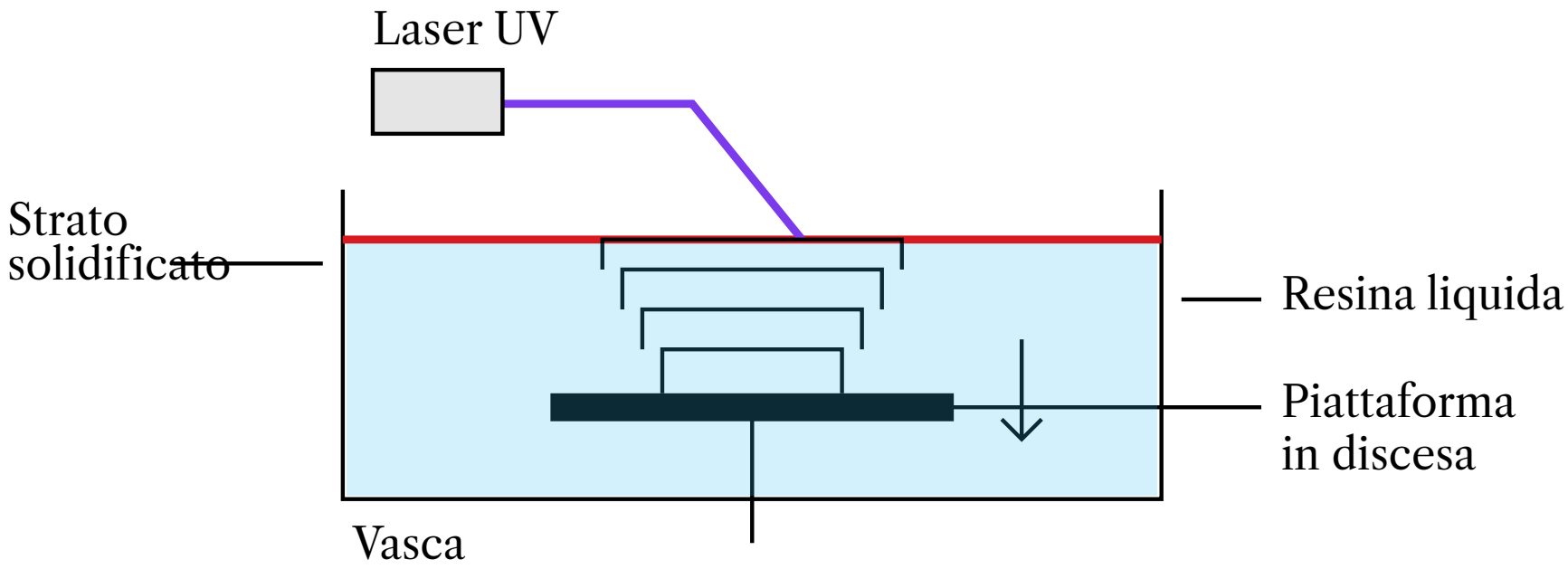
Nel 1983 **Chuck Hull**, mentre lavora su rivestimenti induriti con luce UV alla UVP, sperimenta la costruzione di piccoli oggetti in resina. La stereolitografia, o SLA, solidifica selettivamente un fotopolimero: ogni sezione si unisce alla precedente. Il controllo dell'esposizione trasforma un materiale liquido in una forma tridimensionale.

8 AGOSTO 1984

Deposita la domanda del brevetto statunitense **n. 4,575,330**, concesso l'11 marzo 1986, per un apparato che produce oggetti tridimensionali mediante stereolitografia. La novità è un processo ripetibile, collegato alla geometria del pezzo. I progettisti possono verificare forma, ingombri e assemblaggi prima di investire in stampi, riducendo il costo delle revisioni.

COME FUNZIONA LA STEREOLITOGRAFIA

Nella SLA storica, un laser UV scansiona la sezione calcolata dal software e innesca la polimerizzazione della resina. La piattaforma scende di uno spessore di strato e la superficie viene ricoperta da resina fresca: il ciclo si ripete, unendo le sezioni. I supporti sostengono le parti sporgenti. Dopo la stampa si lavano i residui, si rimuovono i supporti e si completa la cura UV; esposizione, orientamento e spessore influenzano dettaglio e deformazioni.



L'EREDITÀ DI HULL: STL E SLICING

Hull contribuisce a definire il formato **STL** e le strategie di **slicing e riempimento**: un ponte tra geometria digitale e costruzione fisica.

Superficie	Sezioni	Percorsi

STL

Diffuso con i primi sistemi SLA, descrive la superficie con facce triangolari e relative normali. Più triangoli rendono meglio le curve, ma aumentano il peso del file. Il modello deve essere chiuso; STL non codifica normalmente materiale, colore o unità, da verificare in importazione.

SLICING

Interseca il modello con piani successivi e ricava le sezioni da fabbricare. Lo spessore influenza dettaglio, effetto scalettatura e durata; l'orientamento cambia supporti e qualità delle superfici. Il software traduce poi ogni sezione in istruzioni adatte alla macchina.

RIEMPIMENTO

Definisce l'interno: nella SLA la scansione solidifica la resina; nell'estrusione l'infill varia in densità. Pareti e orientamento incidono su tempi e qualità.

Questi principi restano alla base di molti processi di stampa 3D.

1986-1987: NASCE 3D SYSTEMS

La stereolitografia esce dal laboratorio e diventa un prodotto.

1986

Chuck Hull co-fonda **3D Systems** con Raymond Freed per portare sul mercato la stereolitografia. Alla concessione del brevetto segue lo sviluppo di un sistema integrato: laser, vasca di resina, piattaforma mobile e software. Non basta dimostrare il principio: servono affidabilità, materiali controllati e assistenza per l'uso industriale.

1987

L'azienda presenta la **SLA-1**, il primo sistema commerciale di stereolitografia, con prime consegne nel 1988. La prototipazione rapida entra nelle aziende: un file CAD diventa un modello fisico per controllare ingombri, presentare un progetto e verificare un assemblaggio. Sono sistemi industriali, ancora lontani dalle stampanti desktop di oggi.

Per i progettisti si apre una possibilità nuova: ottenere un prototipo fisico direttamente da un modello digitale.

LA SLA-1, MONUMENTO DELL'INGEGNERIA

2016

ASME riconosce la **SLA-1** come *Historic Mechanical Engineering Landmark*.

Presentata nel 1987, la SLA-1 combina laser UV, resina fotosensibile, piattaforma e controllo digitale. Porta la costruzione strato dopo strato nella prototipazione industriale: consente di valutare un oggetto reale senza costruire prima uno stampo. La sua eredità è un ciclo più rapido di progettazione, stampa, valutazione e correzione, pur con limiti di materiali, finitura e costo.



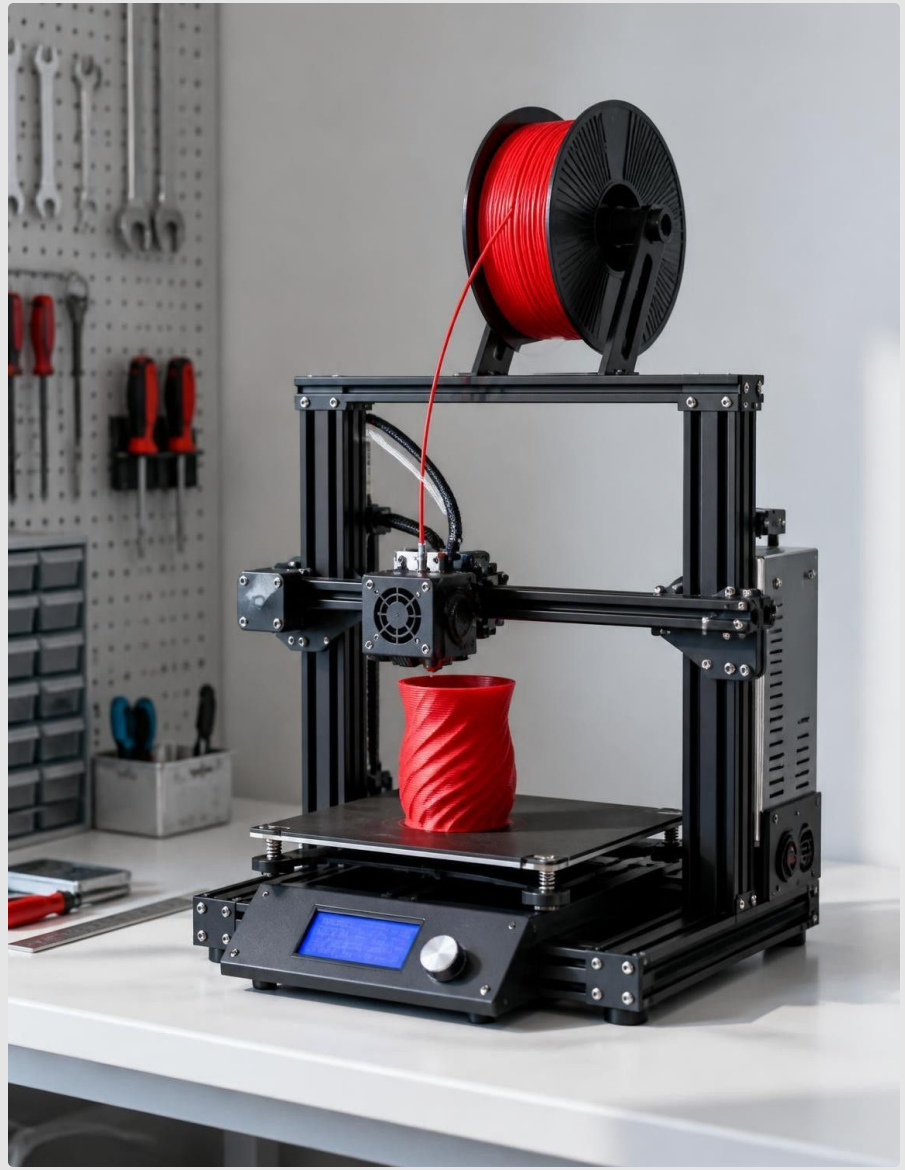
STORIA DELLA STAMPA 3D · 1987–2008

PARTE 2: DALLA POLVERE AL DESKTOP

Il secondo capitolo della storia della stampa 3D, dal 1987 al 2008: nuovi processi, metalli, medicina e l'arrivo delle stampanti open source.

Dopo la resina solidificata dalla luce, entrano in scena la polvere lavorata dal laser e il filamento termoplastico estruso. La fabbricazione a strati amplia il proprio repertorio: prototipi funzionali, componenti industriali e strutture per la medicina rigenerativa.

Il passaggio decisivo: dalla macchina industriale a una tecnologia accessibile anche fuori dalla fabbrica.



1987-1989: LA SINTERIZZAZIONE LASER SELETTIVA

Carl Deckard deposita nel 1987 il brevetto della **sinterizzazione laser selettiva**, o SLS. Il brevetto viene concesso nel 1989 a DTM, poi acquisita da 3D Systems. Il principio introduce una strada diversa dalla stereolitografia: la materia prima è una polvere, non una resina liquida.



01

1987

La domanda di brevetto formalizza la costruzione selettiva mediante laser.

02

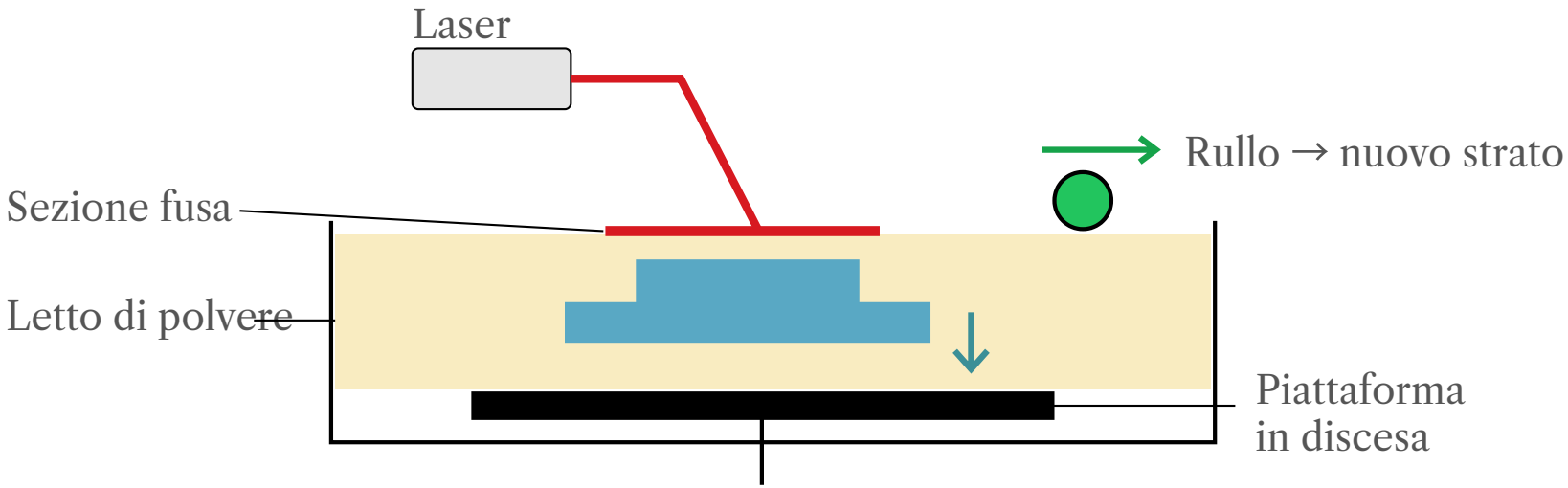
1989

La concessione consolida il percorso verso lo sviluppo industriale del processo.

Il laser fonde e unisce la polvere soltanto nella sezione richiesta. Il materiale non lavorato circonda il pezzo e lo sostiene: nell'SLS polimerica non occorrono normalmente supporti dedicati, anche per geometrie articolate.

COME FUNZIONA L'SLS

Un rullo distribuisce uno strato sottile di polvere sul letto di costruzione. Il laser scansiona la sezione del modello e unisce le particelle; la piattaforma scende, il rullo stende nuova polvere e il ciclo ricomincia. La camera viene mantenuta calda per controllare il comportamento termico del materiale.

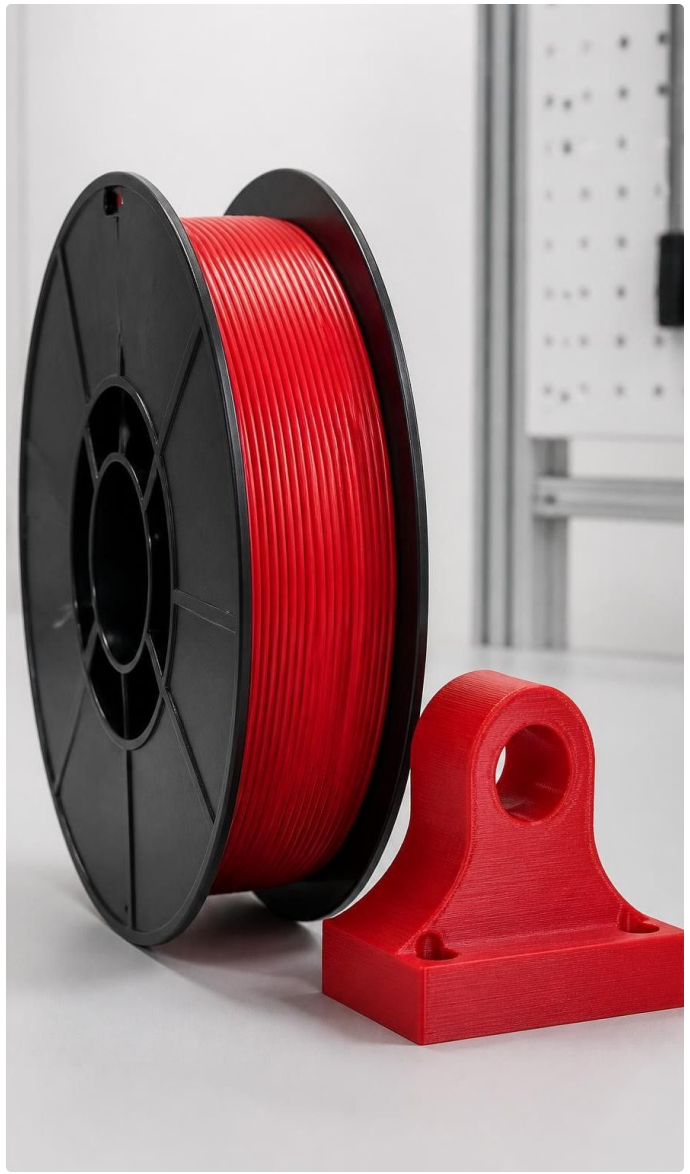


VANTAGGI

La polvere sostiene sporgenze e cavità. Più pezzi possono essere disposti nel volume disponibile; dopo il raffreddamento vengono estratti e puliti.

MATERIALI TIPICI

Poliammidi, soprattutto nylon, e polveri polimeriche caricate. La finitura resta spesso granulosa e richiede lavorazioni successive.



1989: CRUMP E LA DEPOSIZIONE FUSA (FDM)

Il materiale arriva dove serve attraverso un ugello riscaldato.

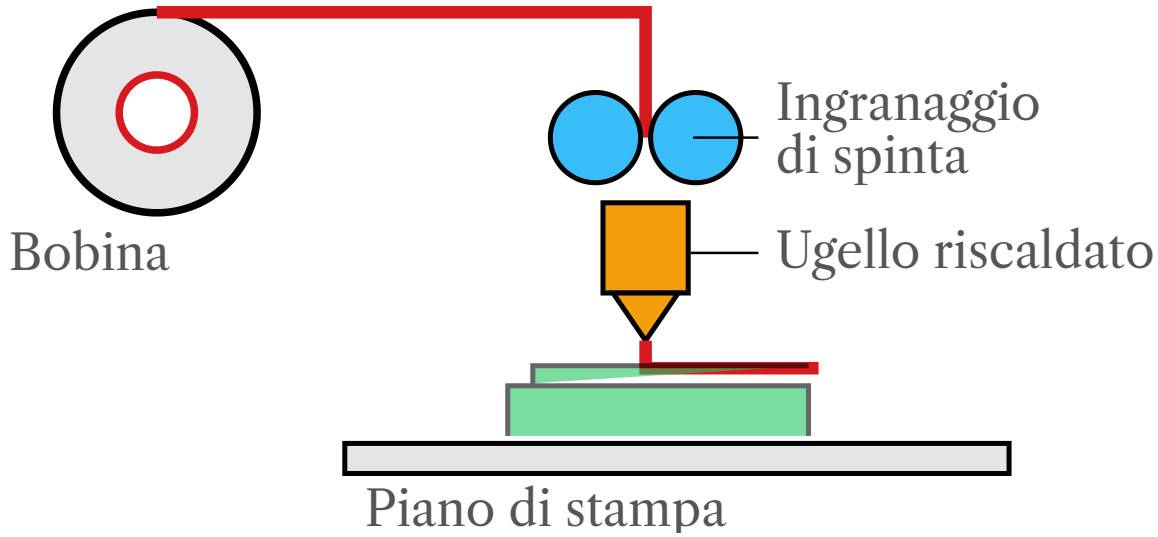
Nel 1989 **Scott e Lisa Crump** depositano il brevetto per l'FDM, *Fused Deposition Modeling*. Un filamento termoplastico viene alimentato nell'estrusore, portato alla temperatura di lavorazione e depositato lungo percorsi controllati. Raffreddandosi, il materiale conserva la forma e si lega agli strati già costruiti.

La geometria nasce da cordoni successivi: prima i contorni, poi il riempimento previsto dal software. A differenza dell'SLS, le sporgenze possono richiedere supporti, perché non sono immerse in una massa di polvere.

Questo principio diventerà il più diffuso nelle stampanti economiche. Il filamento è facile da movimentare e il sistema di deposizione si presta a macchine compatte, pur richiedendo un attento controllo di temperatura, movimento e adesione.

COME FUNZIONA L'FDM

La bobina alimenta il filamento; un ingranaggio lo spinge nell'ugello riscaldato. La testa deposita materiale sul piano secondo i percorsi dello slicing. Il movimento relativo tra testa e piano sovrappone gli strati, formando pareti e riempimento.





PLA e ABS sono materiali comuni: il PLA è pratico per molti modelli; l'ABS richiede più controllo termico. Orientamento e adesione tra strati influenzano la resistenza del pezzo.

1992: LA STAMPA 3D DEI METALLI

La costruzione a strati entra nel territorio dei componenti industriali.

Nel 1992 AeroMet realizza il primo processo di stampa 3D di metalli con fascio di elettroni, secondo la cronologia adottata in questo capitolo. Si apre una prospettiva diversa dalla sola produzione di modelli: fabbricare elementi metallici destinati ad applicazioni aerospaziali e industriali.

L'energia deve unire il materiale in modo controllato, mantenendo la geometria prevista. Nei metalli, però, il comportamento termico diventa centrale: riscaldamento e raffreddamento possono generare tensioni, deformazioni e difetti interni.

La libertà di forma va quindi accompagnata da controllo del processo, verifica del materiale e finitura. Un componente può richiedere trattamenti termici e lavorazioni sulle superfici funzionali prima dell'impiego. Il salto storico è nell'obiettivo: passare dal prototipo alla parte utilizzabile.



1999: IL PRIMO ORGANO STAMPATO PER TRAPIANTO

Nel 1999 il **Wake Forest Institute of Regenerative Medicine** fa crescere una vescica umana su una struttura stampata. La cronologia presenta questo risultato come il primo organo del genere usato in un trapianto e come una tappa iniziale del bioprinting.

Il punto essenziale è il ruolo della struttura: la stampa fornisce un'impalcatura tridimensionale, mentre le cellule e la coltura biologica contribuiscono alla formazione del tessuto. Non si tratta di ottenere istantaneamente un organo completo facendo uscire tessuto da un ugello.



01

STRUTTURA

Un supporto dà forma al volume da ricostruire.

02

COLTURA

Le cellule crescono sulla struttura predisposta.

03

TRAPIANTO

Il tessuto ingegnerizzato entra nel percorso clinico.

La fabbricazione additiva incontra così la medicina rigenerativa.



2003: L'INIETTORE DI CARBURANTE GE

La complessità della geometria diventa una ragione per scegliere l'additivo.

Nel 2003 **GE Aviation**, con **Morris Technologies di Cincinnati**, produce in additivo un iniettore di carburante dalla geometria quasi impossibile da realizzare con metodi convenzionali. La stampa a strati permette di affrontare forme che impongono vincoli severi agli utensili e all'assemblaggio.

Per un iniettore, il progetto deve guidare il fluido attraverso un volume compatto. La libertà geometrica interessa quindi la funzione del componente: la forma va progettata insieme al percorso del carburante e alle esigenze di fabbricazione.

L'esempio mostra perché l'industria aeronautica guarda all'additivo. La possibilità di costruire una forma complessa resta inseparabile dalla qualificazione del processo, dai controlli e dalla verifica delle prestazioni.

2005-2008: REPRAP, DARWIN E SHAPEWAYS

Nel 2005 **Adrian Bowyer** lancia RepRap, un progetto open source di stampanti autoreplicanti. L'idea è condividere i progetti e usare una macchina per produrre parte dei componenti di un'altra: la replica riguarda soprattutto elementi stampabili, non motori, elettronica e ogni parte del sistema.

01

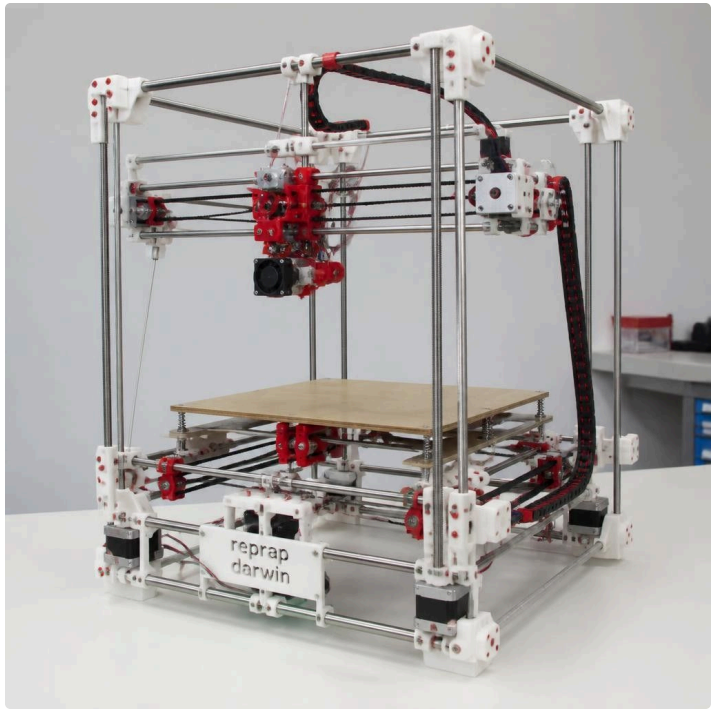
2005 · REPRAP

La conoscenza tecnica diventa condivisibile, modificabile e riproducibile da una comunità.

02

2008 · DARWIN

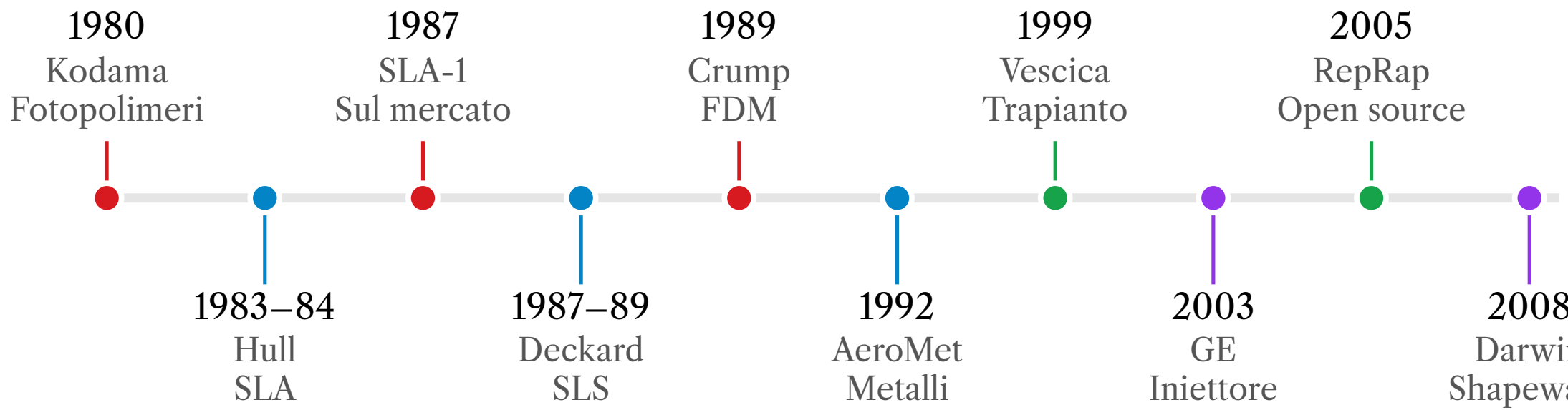
Esce Darwin, prima stampante commerciale RepRap nella cronologia del capitolo.



Nel 2008 nasce anche **Shapeways**: un servizio che consente di ordinare oggetti stampati senza possedere la macchina. Si affermano due vie di accesso complementari: costruire e utilizzare una stampante, oppure affidare il file a un servizio di produzione. Il desktop e la rete avvicinano la fabbricazione a nuovi utenti.

UNA TIMELINE DAL 1980 AL 2008

Dalla resina fotosensibile alle comunità open source, la storia procede ampliando materiali, applicazioni e modalità di accesso. Le tappe della prima e della seconda parte mostrano il passaggio dalla dimostrazione di un principio alla costruzione di un ecosistema di macchine, servizi e utilizzatori.



FONTI E NOTE

Le fonti e le note sulle immagini indicate nelle slide, raccolte in un'unica pagina. Il numero rimanda alla pagina del documento.

PARTE 1 · STRATO DOPO STRATO

pag. 4 **Le radici prima del 1980**
Immagine: Ricostruzione illustrativa di un rilievo a strati.

pag. 5 **1980 · Hideo Kodama**
Fonte: ASME.

pag. 6 **1983-1984: Chuck Hull inventa la stereolitografia**
Fonte: ASME. Ritratto ricostruito con IA, non fotografia d'archivio.

pag. 7 **Come funziona la stereolitografia**
Immagine: Schema semplificato della configurazione storica con illuminazione dall'alto.

pag. 8 **L'eredità di Hull: STL e slicing**
Fonte: ASME.

pag. 9 **1986-1987: nasce 3D Systems**
Fonte: ASME.

pag. 10 **La SLA-1, monumento dell'ingegneria**
Fonte: ASME. Immagine illustrativa generata con IA, non fotografia documentaria della macchina originale.

PARTE 2 · DALLA POLVERE AL DESKTOP

pag. 12 **1987-1989: la sinterizzazione laser selettiva**
Fonte indicata nel piano: ASME. Immagine illustrativa generata con IA.
Immagine: La polvere libera sostiene la forma durante la costruzione.

pag. 14 **1989: Crump e la deposizione fusa (FDM)**
Fonte indicata nel piano: ASME. Ricostruzione illustrativa generata con IA.

pag. 15 **Come funziona l'FDM**
Immagine: Oggetto illustrativo: i cordoni sovrapposti lasciano una trama riconoscibile.

pag. 16 **1992: la stampa 3D dei metalli**
Fonte della tappa storica indicata nel piano: ASME.
Immagine: Metallo e geometria complessa: immagine illustrativa, non un componente AeroMet documentato.

pag. 17 **1999: il primo organo stampato per trapianto**
Immagine: Impalcatura biologica illustrativa, non fotografia del trapianto.

pag. 19 **2005-2008: RepRap, Darwin e Shapeways**
Immagine: Darwin: ricostruzione illustrativa di una stampante aperta e riproducibile.