



AMable

BOOKLET

DISPENSE DI SUPPORTO



WWW.AMABLE.EU

Indice

01

Panoramica dei Processi di Additive Manufacturing

FINALITÀ	4
DEFINIZIONE DEL PROCESSO SECONDO LE NORME	5
DEFINIZIONI	7
PROCESSI PER MATERIALI METALLICI	7
TECNICA DI DEPOSIZIONE DIRETTA - DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DED)	8
FASCIO ELETTRONICO	9
LASER	10
ARCO	12
TECNICA DI FUSIONE DEL LETTO DI POLVERE - POWER BED FUSION	14
AM PER I MATERIALI METALLICI-CONFRONTO TRA I PROCESSI	17
FOTOPOLIMERIZZAZIONE	18
SHEET LAMINATION	22
MATERIAL JETTING	24
BINDER JETTING	25
ESTRUSIONE DI MATERIALI METALLICI	27

02

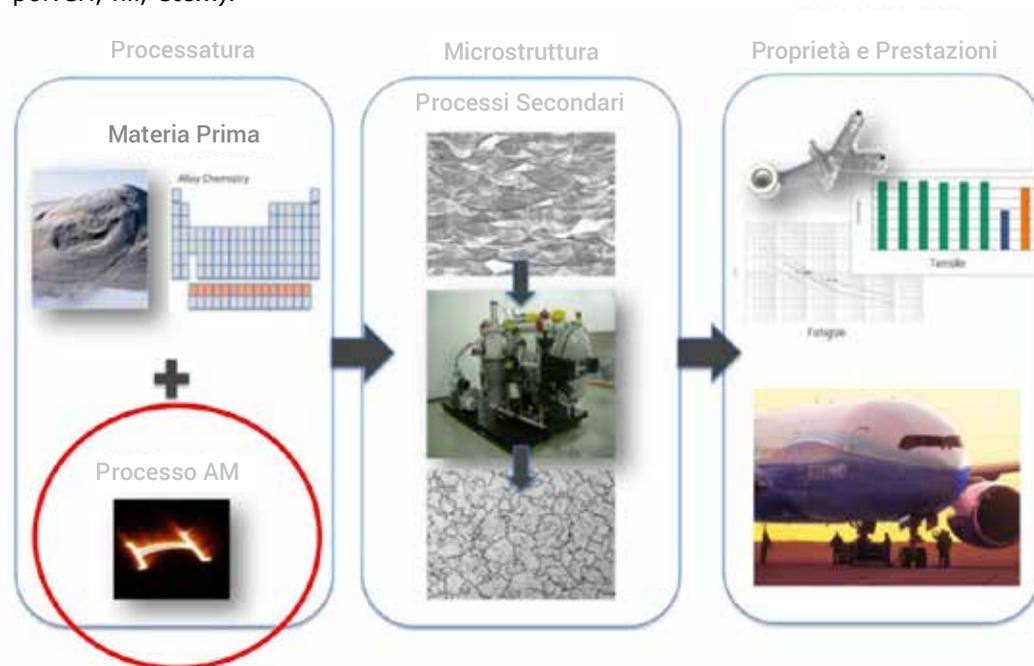
Value Chain nell'Additive Manufacturing

VALORE AGGIUNTO TRAMITE AM	28
QUAL È IL PROCESSO AM PIÙ ADEGUATO AL MIO PRODOTTO	29

01 Panoramica dei Processi di Additive Manufacturing

Finalità

L'**Additive Manufacturing (AM)** è un processo di fabbricazione che permette la costruzione di oggetti 3D a partire da materie prime di diversa natura (ad esempio polveri, fili, etc...).



Tuttavia, in molti casi, è necessario effettuare anche processi secondari al fine di ottenere una determinata microstruttura che permetta il raggiungimento delle proprietà e delle performance desiderate.

Conoscenza:

Attualmente esiste un'ampia conoscenza della teoria, dei principi e dell'applicabilità di:

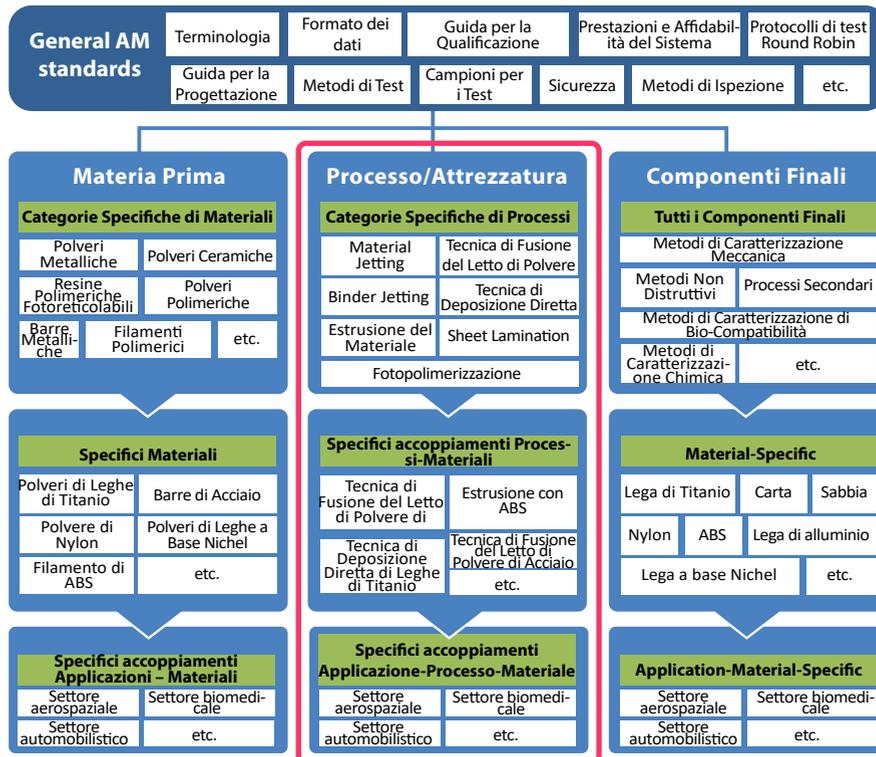
- Tecnica di Deposizione Diretta - Directed energy deposition (DED)
- Tecnica di Fusione del Letto di Polvere - Powder bed fusion (PBF)
- Fotopolimerizzazione - Vat photopolymerization (VPP)
- Material jetting (MJT)
- Binder jetting (BJT)
- Material extrusion (MEX)
- Sheet lamination (SHL)

Obiettivi:

- Essere in grado di distinguere componenti realizzati tramite i diversi processi AM
- Essere in grado di identificare vantaggi e limitazioni dei processi AM
- Essere in grado di valutare l'applicabilità dei diversi processi AM
- Applicare processi secondari per ottenere la finitura superficiale richiesta.

Definizione del Processo secondo le Norme

Struttura delle Norme relative all'Additive Manufacturing



Norme Generali Top-level inerenti l'AM

- Concetti Generali
- Requisiti Comuni
- Generalmente Applicabili

Norme di Classificazione dell'AM

Categorie specifiche di materiali o di processi

Norme relative all'AM Specifici

Inerenti Specifici Materiali, Processi o Applicazioni



Tecnologie di Additive Manufacturing

	TECNOLOGIA	MATERIALI	MERCATI DI RIFERIMENTO	IDONEITÀ PER METALLI
Fusione	Tecnica di Fusione del Letto di Polvere – L'energia termica fonde selettivamente delle zone di un letto di polvere	Materiali metallici, polimeri	Prototyping, direct part	●
	Tecnica di Deposizione Diretta – L'energia termica focalizzata è usata per fondere materiali quando questi sono depositati	Materiali metallici	Componente finale, riparazioni	◐
	Sheet lamination – Fogli di materiale sono uniti tra loro a formare un oggetto	Materiali metallici, carta	Prototipazione, componente finale	◑
Sinterizzazione	Binder jetting – Un legante liquido è depositato selettivamente per consolidare un materiale in polvere	Materiali metallici, polimeri, Sabbia da fonderia	Prototipazione, componente finale, stampi per colata	◑
	Material jetting – Gocce del materiale costituente sono depositate selettivamente	Polimeri, Cere	Prototipazione, modelli per colata	○
	Estrusione di materiale – Il materiale è erogato selettivamente attraverso un ugello o orefizio	Polimeri	Prototipazione	○
	Fotopolimerizzazione – Un fotopolimero liquido contenuto in una vaschetta è reticolato selettivamente tramite una polimerizzazione attivata dalla luce	Fotopolimeri	Prototipazione	○

Tecnologie AM per oggetti metallici



Photo: GE Aviation

Definizioni

La norma ISO/ASTM 52900-18: Additive manufacturing - General principles – Terminology stabilisce la terminologia generale da usare relativamente all'additive manufacturing. Questa norma definisce:

Additive Manufacturing (AM)

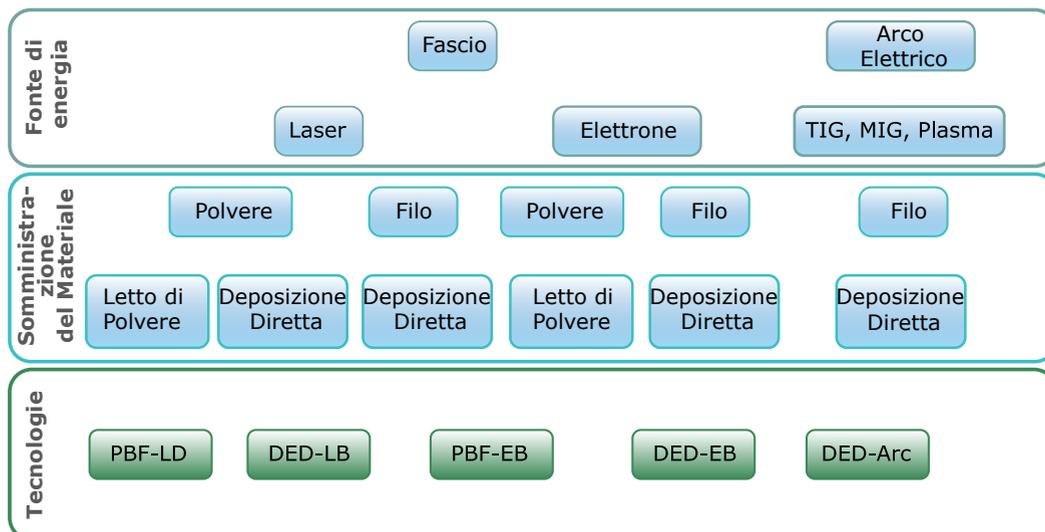
“processo di giunzione di materiali per realizzare componenti a partire da un modello 3D, in genere strato su strato, contrariamente alle tecnologie di fabbricazione sottrattive o di formatura”. Termini storici: fabbricazione additiva, processi additivi, tecniche additive, fabbricazione additiva per strati, fabbricazione per strati, fabbricazione di solidi a forma libera e fabbricazione a forma libera.

3D Printing

“fabbricazione di oggetti tramite la deposizione di un materiale tramite una testina di stampa, un ugello o un'altra tecnologia di stampa”. Questo è un termine usato spesso in un contesto non tecnico, generico, come sinonimo di additive manufacturing; fino ad oggi questo termine è stato associato ad attrezzature di base a basso costo e/o con basse capacità.

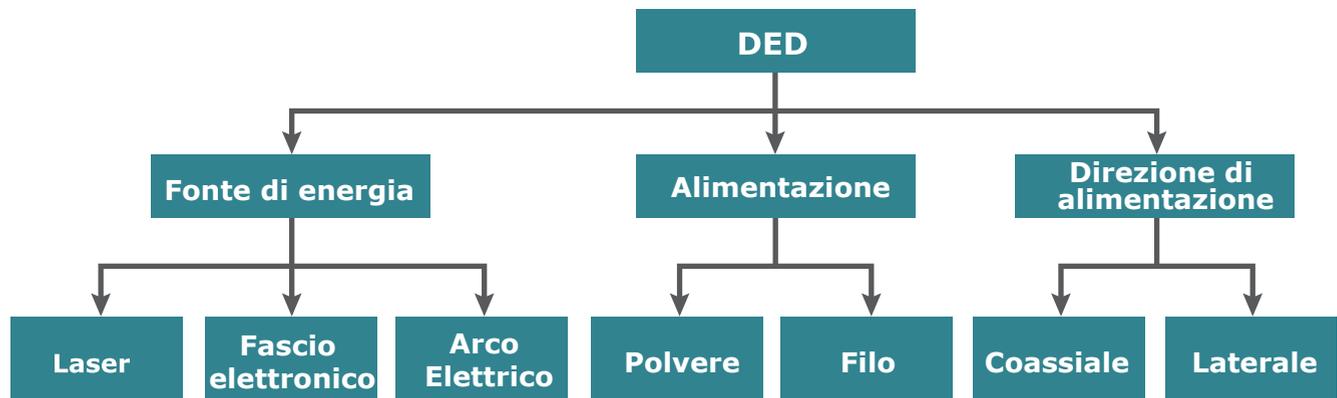
Processo per Materiali Metallici

Classificazione delle Tecnologie DED e a Letto di Polvere



Tecnica di Deposizione Diretta - Directed Energy Deposition (DED)

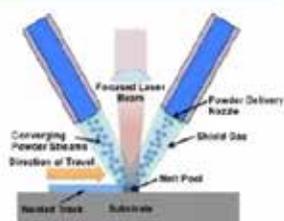
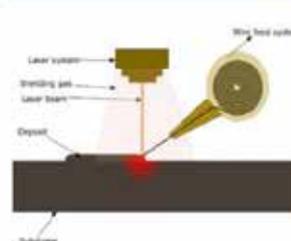
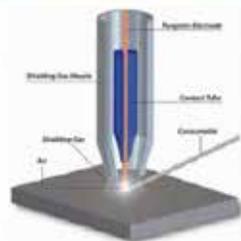
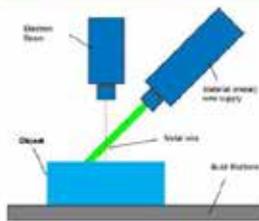
“Un processo di Additive manufacturing in cui si usa una fonte di energia termica focalizzata per fondere i materiali durante la loro deposizione”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18. Per “energia termica focalizzata” si intende una fonte energetica (ad esempio: laser, fascio elettronico, o arco al plasma) che è focalizzata per fondere i materiali depositati.



Alimentazione



Fonte di energia



Nomenclatura della Tecnologia



Fascio elettronico

Vantaggi

- Alta velocità di deposizione
- Componenti di grandi dimensioni (maggiore spazio di fabbricazione)
- Materiali difficili da saldare
- Materiali metallici reattivi (Ti, Al, TiAl)
- Materiale sotto forma di filo (+ economico, - infiammabile)
- Alta efficienza energetica (> 95%, x5- 10 SLM)
- Meno stress residui
- Minore necessità di supporti

Photo: Arevo Labs



Svantaggi

- Attrezzatura grande e complessa
- Alti costi di investimento
- Alti costi di manutenzione dell'attrezzatura
- Necessità di una camera sottovuoto (+ tempo - accesso)
- Alta rugosità ($Ra > 40\mu m$) (x3 SLM)



Photo: Lockheed Martin

Applicazioni e Settori Applicativi

- Palette di turbine per la produzione di energia
- Componenti per applicazioni nucleari
- Componenti metallici refrattari
- Materiali Balistici
- Componenti per pompe industriali
- Attrezzature per la fabbricazione di semiconduttori
- Riparazione e ricondizionamento di attrezzi
- Componenti per l'aeronautica

Photo: Forgemasters



Materiali

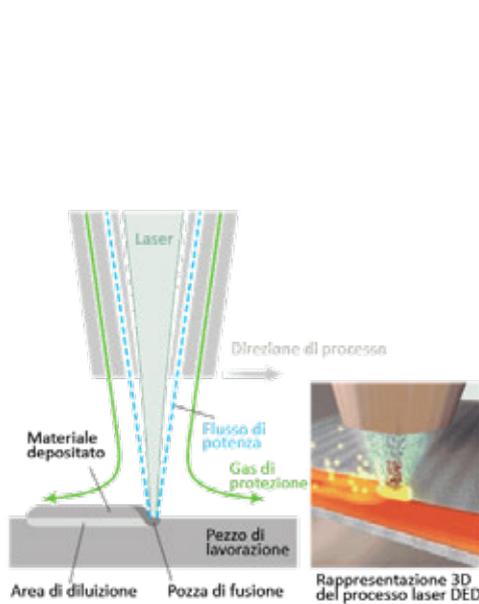
- Acciaio, 4340
- Acciaio a basso contenuto di C
- Titanio e leghe di Titanio, Ti64
- Alluminio, 2319, 4043
- Tantalio
- Tungsteno
- Niobio
- Inconel 718, 625
- Cobalto-cromo ASTM F75
- TiAl
- Rame puro



Photo: GE Additive

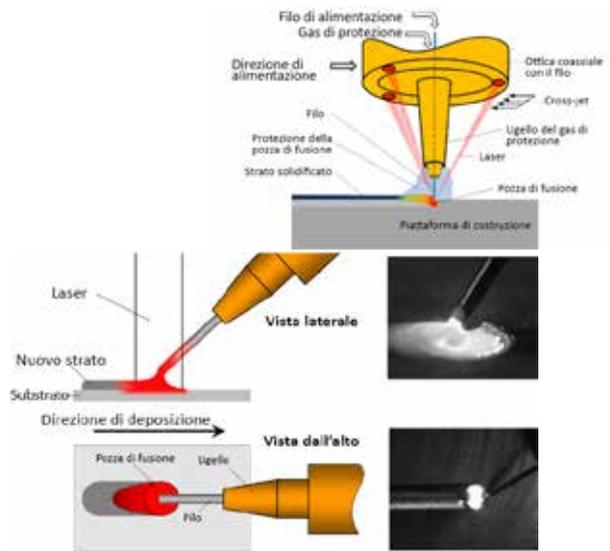
Tecnica di Deposizione Diretta - Directed Energy Deposition (DED)

Laser



Vantaggi

- Velocità di deposizione medio-alta
- Componenti di dimensioni medie
- Componenti near-net shape
- Ampio range di materiali
- Multimateriale e materiali a gradiente
- Riparazione e ricondizionamento



Svantaggi

- Costi dell'attrezzatura
- Bassa risoluzione
- Necessità di processi secondari



Photo: Arcam



Applicazioni e Settori Applicativi

- Turbomacchine
- Componenti per l'aeronautica
- Stampi e Attrezzi
- Settore Automobilistico
- Fondo marino e offshore

Materiali

- Acciai
- Leghe base Ni
- Leghe base Co
- Titanio
- Carburi

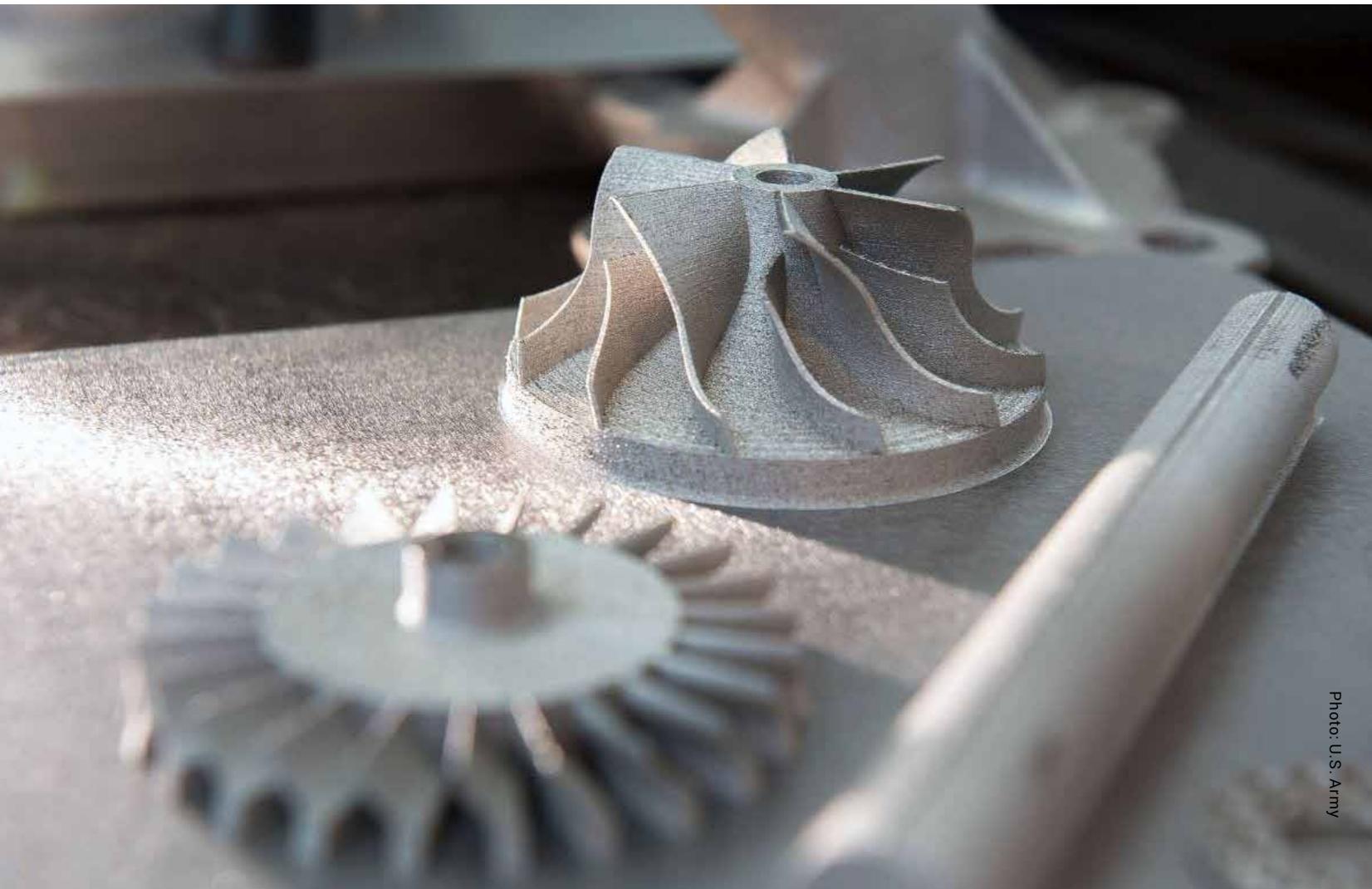


Photo: U.S. Army

Tecnica di Deposizione Diretta - Directed Energy Deposition (DED)

Arco



DED ad arco

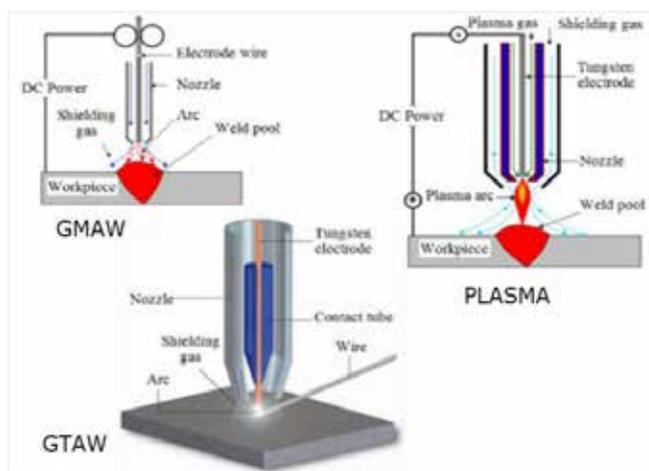
- Processi GMAW and TIG
- Alimentazione a filo
- Setup tecnico a basso costo
- Velocità di deposizione superiori a 5 kg/ora
- Scarti di materiali limitati rispetto alle tecnologie alimentate con polveri



DED al plasma

- Processi al Plasma e al μ -Plasma
- Alimentazione a filo o a polvere
- Velocità di deposizione superiori a 10 kg/ora
- Disponibilità delle polveri

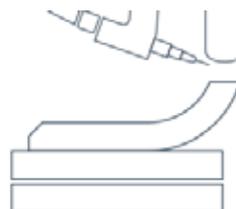
Varianti DED



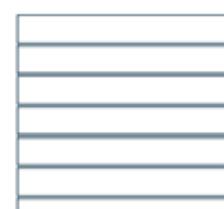
Fasi:



1. Fusione



2. Deposizione dello strato



3. Pezzo solido depositato

Vantaggi

- Alta velocità di deposizione
- Componenti di grandi dimensioni
- Buon rapporto buy-to-fly
- Costo dell'attrezzatura ridotta
- Ampio range di materiali
- Costo dei fili ridotti



Photo: RamLab

Svantaggi

- Bassa risoluzione
- Distorsioni geometriche
- Necessità di processi secondari

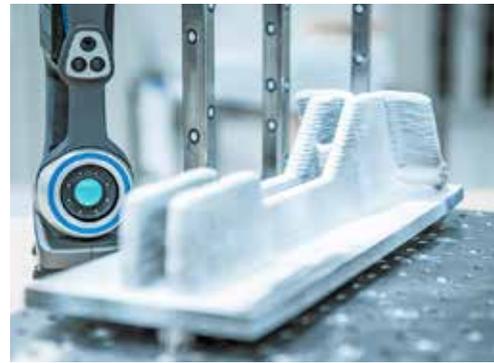


Photo: Norsk Titanium

Applicazioni e Settori Applicativi

- Settore navale
- Componenti per l'aeronautica
- Settore dell'energia
- Stampi e attrezzi

Materiali

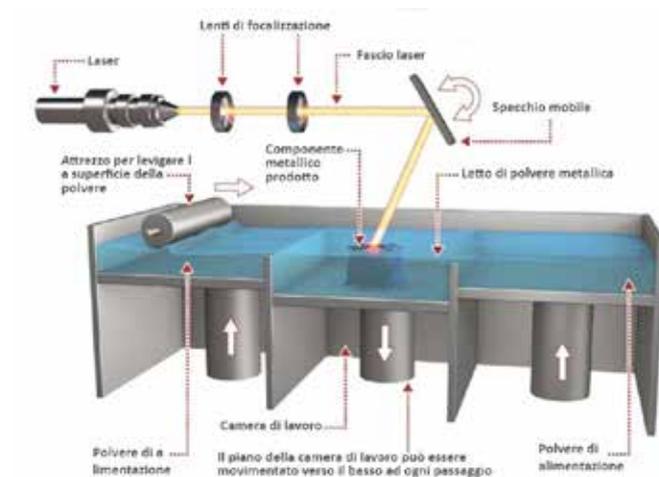
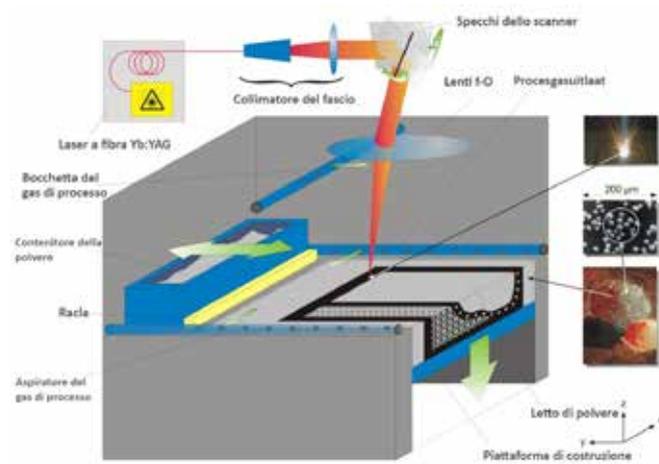
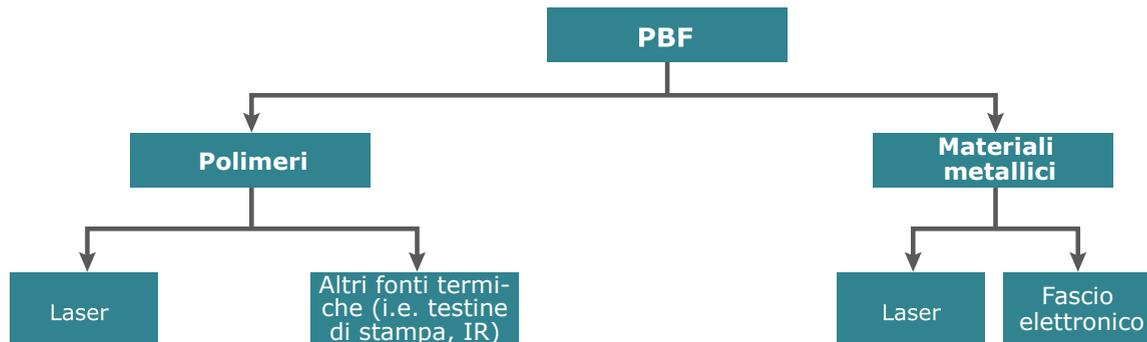
- Acciai
- Leghe a base Ni
- Titanio
- Alluminio



Photo: RamLab

Tecnica di Fusione del letto di polvere- Powder Bed Fusion (PBF)

“un processo di Additive manufacturing in cui l’energia termica fonde selettivamente aree del letto di polvere”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.



Vantaggi

- Innovazione nella progettazione e funzionalità implementate
- Integrazione di diversi pezzi in uno unico
- Alleggerimento del peso, minore consumo della materia prima, riduzione degli scarti (tecnologia green)
- Personalizzazione e complessità dei componenti senza costi aggiuntivi
- Ampio range di materiali (materiali saldabili)



Photo: Monni Pierandrea

Svantaggi

- Rugosità media ($Ra > 10\mu m$)
- Dimensioni dei componenti limitate ($< 400 \times 400 \times 500 mm$)
- Costo dell'attrezzatura
- In alcuni casi tensioni residue e distorsioni
- Produttività medio-bassa: attualmente produzione di serie di piccole parti (fino a 25000 pezzi/anno)



Applicazioni e Settori Applicativi

- Componenti aeronautici
- Impianti ortopedici
- Settore Automobilistico
- Attrezzi (stampi)
- Settore Dentale
- Beni

Materiali

- Leghe di Al (AlSi7Mg, AlSi10, AlSi9Cu3)
- Leghe a base Ni (IN718, IN725, IN939, HX)
- Titanio (grado 2, grado 23, near-alfa)
- Cobalto-cromo (F75, CoCr28Mo6)
- Acciai (316L, 17-4PH, 1.2709, H13, Invar36)
- Leghe di Cu (CuSn10)



Photo: EXOne

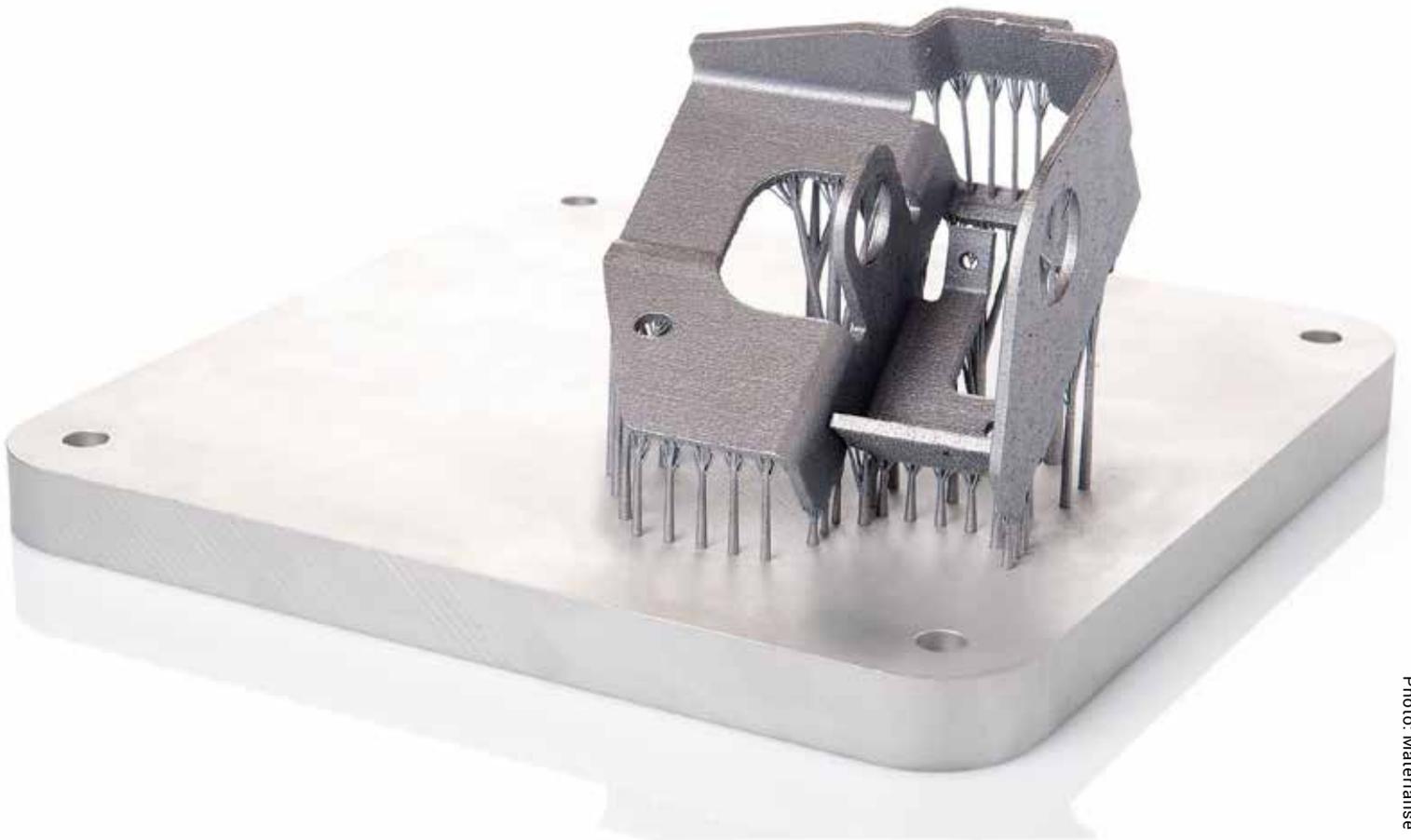
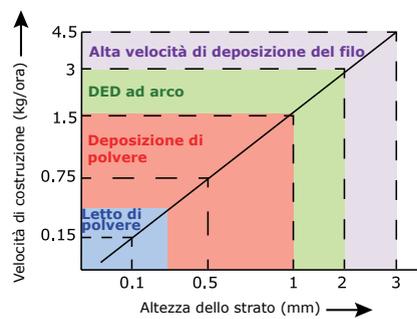
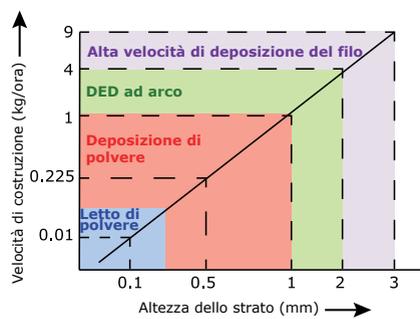
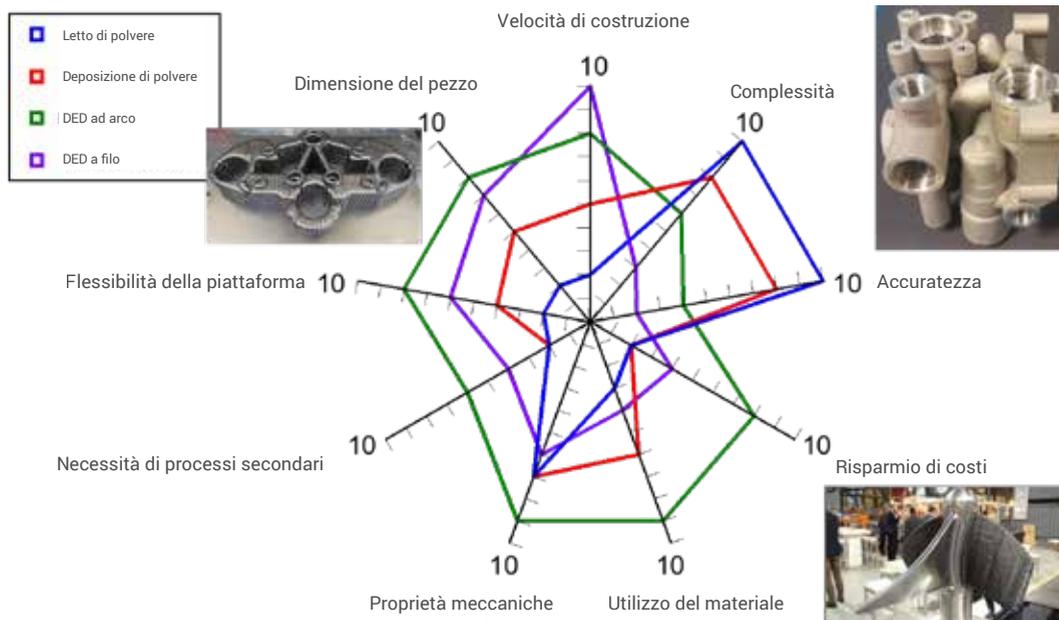


Photo: Materialise

AM per i materiali metallici

Confronto tra i processi

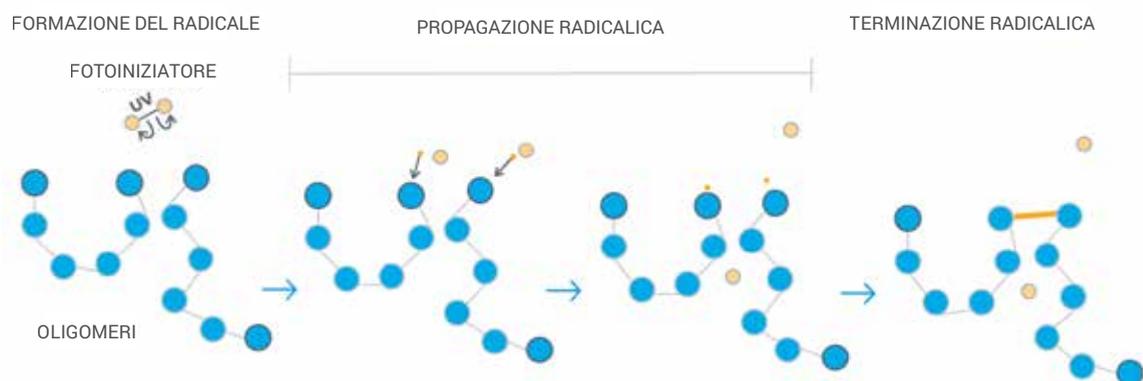


Fotopolimerizzazione

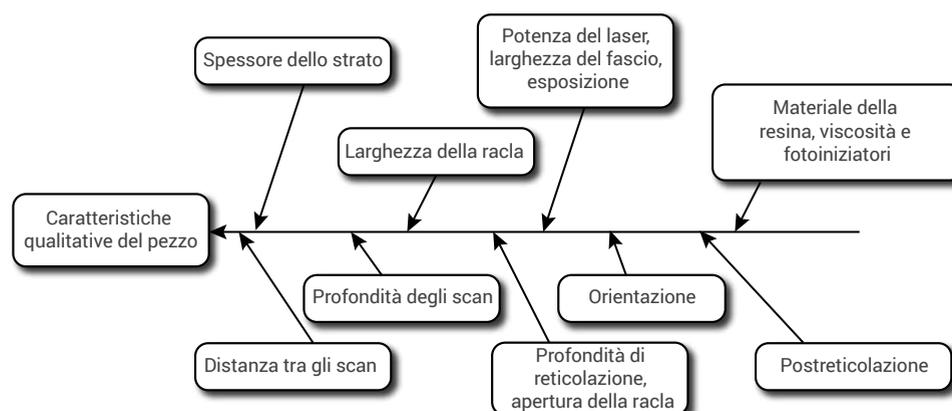
“Un processo di Additive manufacturing in cui un fotopolimero liquido presente in una vaschetta è reticolato selettivamente tramite una polimerizzazione attivata dalla luce”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.

Processo

- Le catene dei monomeri e degli oligomeri terminano con gruppi attivi
- Quando la resina è esposta alla luce UV la molecola del fotoiniziatore si spezza in due parti
- 2 radicali molto reattivi
- I radicali reattivi vengono trasferiti ai gruppi attivi che a loro volta reagiscono con altri gruppi



Parametri



Accuratezza

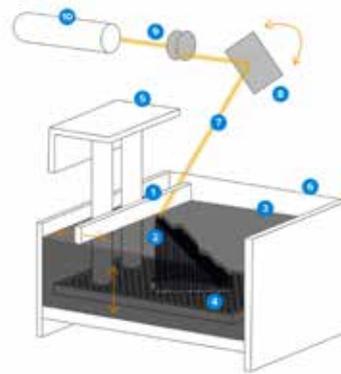
In generale l'accuratezza della fotopolimerizzazione ricade tra 50 e 200 micron in base alle dimensioni, alla resina, alla geometria del pezzo e alla generazione dei supporti.



Tipologie di attrezzature

Top-down (reticolazione dall'alto):

- La fonte di calore si trova al di sopra della vaschetta
- La piattaforma è immersa progressivamente nella vaschetta
- Applicazioni industriali diffuse
- Volume di costruzione: fino a 1500x750x5500mm³



Right-Side Up VPP

1. Racla
2. Pezzo stampato
3. Resina
4. Piattaforma di costruzione
5. Carrello sollevatore
6. Vaschetta per la resina
7. Fascio laser
8. Vetro scanner x-y
9. Lenti
10. UV laser

Bottom-up (reticolazione dal basso):

- La fonte di calore si trova al di sotto della vaschetta
- La piattaforma è sollevata progressivamente
- Il laser UV punta a due specchi galvanometrici, che direzionano la luce nelle coordinate su una serie di specchi
- Il pezzo è costruito sottosopra
- Volume di costruzione: fino a 145x145x175mm³



Upside-Down (Inverted) VPP

1. Pezzo stampato
2. Supporti
3. Resina
4. Piattaforma di costruzione
5. UV laser
6. Galvanometri
7. Vetro scanner x-y
8. Fascio laser
9. Vaschetta per la resina

Esempi di attrezzature

Formlabs



145 x 145 x 175 mm (xyz)

Envisiontec



400 x 400 x 400 mm

3D Systems



1500 x 750 x 550 mm

Materialise



2100 x 700 x 800 mm

Confronto tra i costi delle attrezzature

In genere l'accuratezza delle stampanti VPP è compresa tra 50 e 200 micron, sulla base delle dimensioni, della resina, della geometria del pezzo e della generazione di supporti.

	SLA da banco: modello rovesciato	SLA Industriale: Modello dritto
Price	A partire da \$3500	\$80,000-\$1,000,000+
Print Volume	Fino a 145 x 145 x 175 mm	Fino a 1500 x 750 x 550 mm
Pros	<ul style="list-style-type: none"> • Conveniente • Facile da utilizzare • Manutenzione limitata • Impronta piccola • Cambio di materiale semplice 	<ul style="list-style-type: none"> • Grande volume di costruzione • Alta velocità di produzione • Ampia scelta di materiali
Cons	<ul style="list-style-type: none"> • Volume di costruzione medio 	<ul style="list-style-type: none"> • Lavorazioni eccessive • Alta necessità di manutenzione • Necessità di operatore

Vantaggi

- Libertà di progettazione;
- Modelli geometrici con un'alta qualità superficiale;
- Processo rapido;
- Basso costo dell'attrezzatura;
- Possibilità di isotropia del pezzo.

Svantaggi

- Range ridotto di materiali disponibili (resine polimerizzabili tramite UV);
- Necessità di strutture di supporto;
- Degrado del materiale con esposizione continua alla luce;
- Basse temperature di lavoro per i componenti;
- Tossicità di alcune resine.

Applicazioni e Settori Applicativi

- Prototipazione rapida;
- Settore Dentale;
- Settore Sanitario;
- Impeller e dispositive rotanti;
- Recinzioni;
- Microfusione.

Materiali

- Resine, in genere composte da monomeri epossidici o acrilici, in grado di polimerizzare e indurirsi quando esposte alla luce.

Forma della materia prima

- Liquido o pasta (resine fotoreattive con o senza filler)

Passaggi del processo (Modello dritto - Industriale):

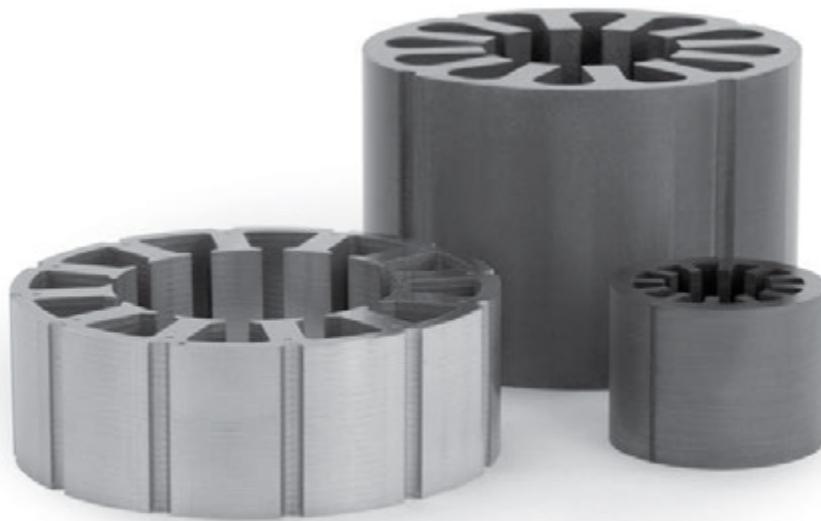
1. Inizialmente la piattaforma di costruzione viene posizionata nella vaschetta del fotopolimero liquido, ad una distanza dalla superficie del liquido pari all'altezza di uno strato
2. Successivamente un laser UV crea lo strato successivo reticolando e solidificando selettivamente la resina fotoreticolabile
3. L'intera cross-section del pezzo è scansionata, cosicché il componente è completamente solido
4. Quando uno strato viene terminato, la piattaforma si muove a una distanza di sicurezza e la racla ricopre la superficie. Il processo quindi si ripete fino a quando non viene completato il componente
5. Dopo la stampa, nel caso in cui siano richieste alte prestazioni meccaniche e termiche, il componente che non è completamente reticolato richiede un ulteriore post lavorazione sotto l'azione di una luce UV

Sheet Lamination

“Un processo di Additive Manufacturing in cui fogli di materiale sono uniti tra loro a formare un oggetto”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.

Materiali processabili:

- Polimeri;
- Materiali metallici;
- Compositi;
- Ceramici;
- Carta.



Polimeri

- Adesione tra gli strati tramite riscaldamento/adesivi
- Taglio tramite laser/lame
- Possibilità di creare pezzi colorati
- In genere per applicazioni di prototipazione

Materiali metallici- Consolidamento ad ultrasuoni

- Saldatura allo stato solido tra le 'lamine'
- Possibilità di parti multimateriale
- Capacità di integrare pezzi (a bassa temperatura)

Vantaggi

- Alta velocità
- Assenza di tensioni residue
- Ampio range di materiali

Svantaggi

- Sono necessari processi secondari per ottenere l'effetto voluto
- La finitura può variare in base al materiale cartaceo o plastico richiedendo eventuali processi secondari per raggiungere l'effetto desiderato

Applicazioni e settori applicativi

- Modelli per l'architettura
- Visualizzazione Topografica
- Visualizzazione
- Settori Aerospaziale e Automobilistico

Forma delle materie prime

- Fogli di materiale, carta, lamine metalliche, polimeri o compositi (polveri metalliche o ceramiche, compattate con un legante)

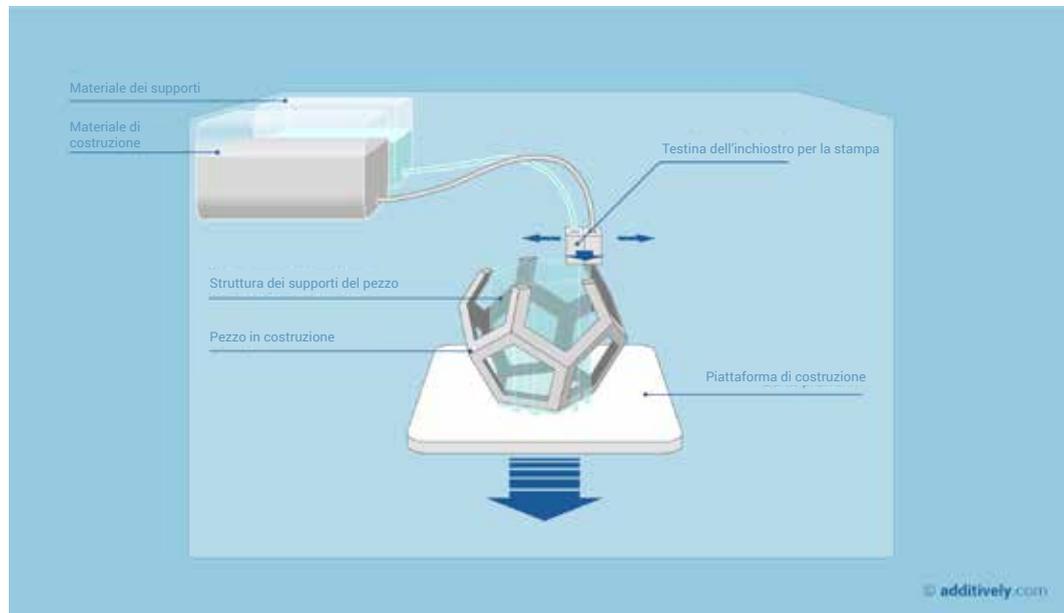
Passaggi del processo (plastiche):

1. Il materiale è posizionato sulla postazione di taglio
2. Il materiale è giunto sul posto, sugli strati precedenti, utilizzando un adesivo
3. La forma desiderata è quindi ricavata dallo strato, tramite taglio laser o con lame, e lo strato successivo viene aggiunto
4. In alternativa il secondo e il terzo passaggio possono essere invertiti, in quanto il materiale può essere tagliato prima di essere posizionato e giunto



Material Jetting

“Un processo di Additive manufacturing in cui vengono depositate selettivamente gocce della materia prima”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.



Vantaggi

- Processo rapido
- Pezzi di piccole-medio dimensioni
- Buona accuratezza (in genere $\pm 0.1\%$)
- Possibilità di miscelare colori e proprietà
- Materiali duri e morbidi
- Nessuna necessità di processi secondari
- Costo dell'attrezzatura ridotto

Svantaggi

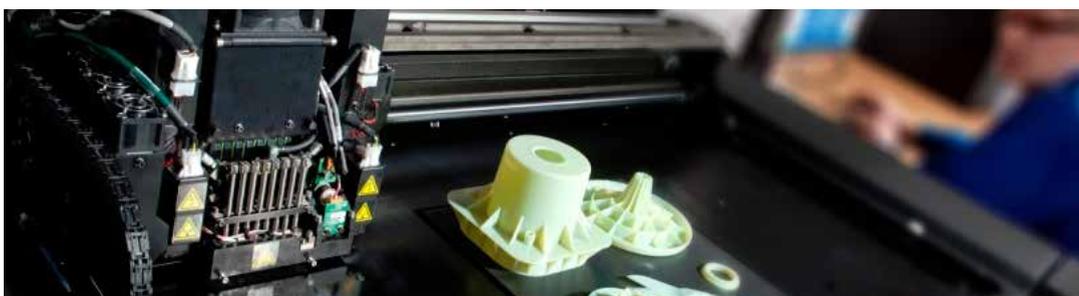
- Resistenza ridotta

Applicazioni e settori applicativi

- Prototipazione Rapida
- Settore Dentale
- Settore Sanitario
- Protesi

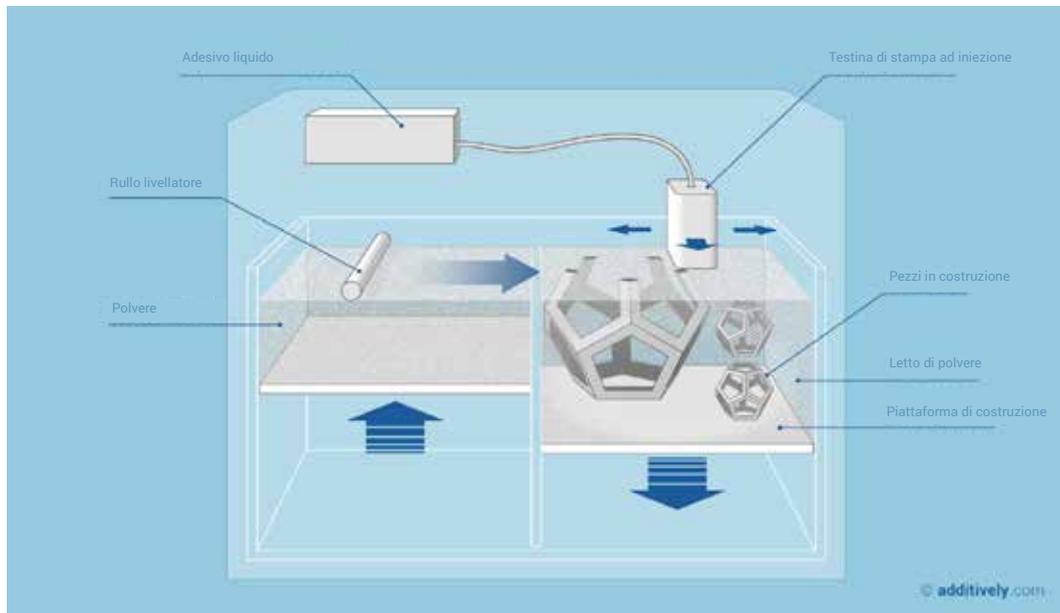
Materiali

- Resine UV-fotosensibili
- Fotopolimeri acrilici (termoindurenti)



Binder Jetting

“Un processo di Additive manufacturing in cui un legante liquido è depositato selettivamente per consolidare materiali polverulenti”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.



Vantaggi

- X50-100 più veloce della PBF
- X20 meno costoso della PBF
- Nessuna necessità di supporti
- Idoneo per pezzi ad alta complessità e per grandi volume di produzione
- Buona risoluzione

Svantaggi

- Dimensioni limitate (<400x300x200 mm)
- Diversi processi per ottenere il pezzo finito (stampa □ deceratura □ sinterizzazione)
- Manipolazione dei pezzi stampati complessa
- Ritiro da sinterizzazione
- Spessore di parete limitato (5-10 mm)

Applicazioni e settori applicativi

- Ingegneria di precisione
- Settore automobilistico
- Prototipazione
- Settore biomedicale

Materiali

- Acciai
- Leghe a base Ni
- Leghe CoCr
- W, WC

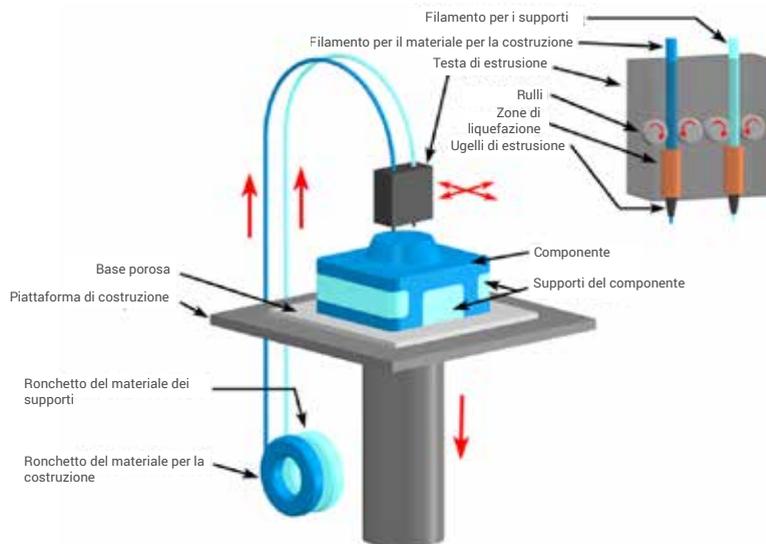




Photo: Michal Kamaryt / CTK / Alamy

Estrusione Di Materiali Metallici

“Un processo di Additive manufacturing in cui il materiale è erogato selettivamente attraverso un ugello o un orificio”, secondo la norma ISO/ASTM 52900-18.



Vantaggi

- Ampia selezione di materiali (polimeri)
- Processo semplice e user-friendly (FDM)
- Costi di investimento e di gestione bassi
- Attrezzature di dimensioni ridotte rispetto ad altri processi AM
- Costi di produzione più bassi (relativamente ai materiali metallici)
- Idoneo per la produzione di pezzi piccoli ad elevate complessità (50 mm)
- Idoneo per piccole serie di produzione

Svantaggi

- Materie prime tossiche (alcuni termoplastici)
- Ritiro da sinterizzazione (relativamente ai materiali metallici)
- Spessore di parete limitato (relativamente ai materiali metallici: 5-10 mm)

Applicazioni e settori applicativi

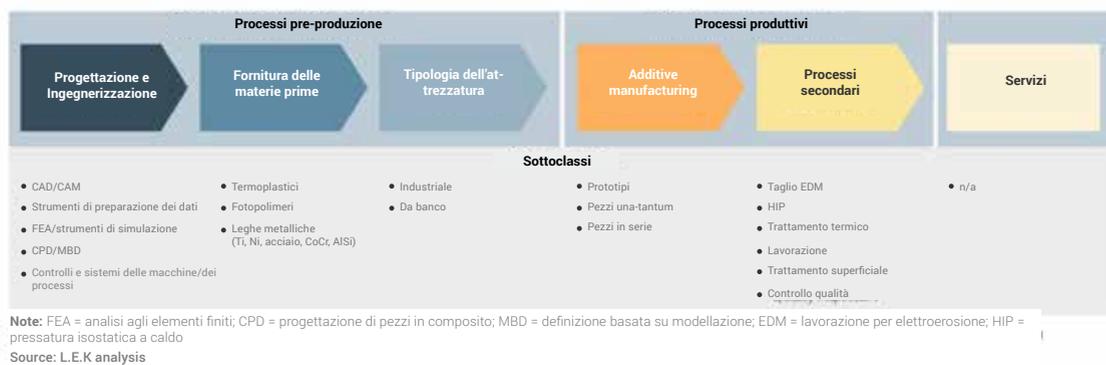
- Prototipazione rapida
- Settore automobilistico
- Settore sanitario

Materiali

- Termoplastici (PLA, ABS, PC)
- Materiali compositi (polimeri rinforzati)
- Materiali metallici (Acciaio, Cu, Inco625)

02 Value Chain nell'AM

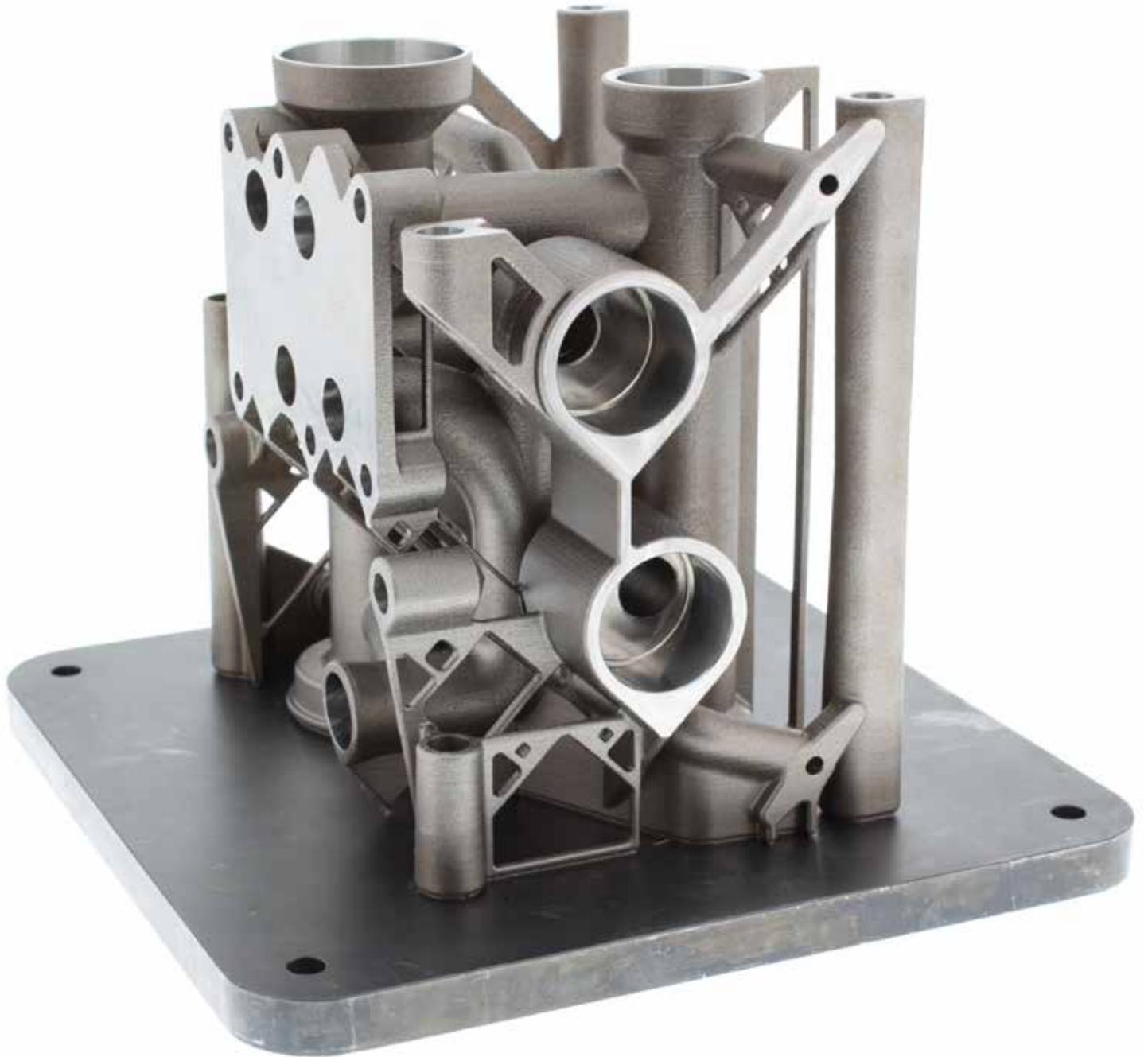
Il concetto di **Value Chain** definisce una serie di attività partendo dalla ricerca fino ad arrivare al mercato, al fine di generare e **aggiungere valore** ai prodotti



Valore aggiunto tramite AM

Valore aggiunto: una serie di caratteristiche aggiuntive del prodotto o del servizio al fine di renderli più interessanti per il mercato rispetto alla pertinenza

- Personalizzazione
- Produzione in-situ and on-demand (senza magazzini)
- Time to market minimo
- Sostenibilità e efficientamento energetico
- Progettazione differenziale
- Progettazione avanzata:
 - Integrazione dei pezzi
 - Alleggerimento
- Aumento dei costi:
 - Piccolo lotti
 - Materiali dal costo elevato



AMable

Il progetto

Il progetto **AMable** riunisce un gruppo di persone afferenti a diverse istituzioni che lavora per creare un nuovo ecosistema per la diffusione dell'additive manufacturing. Le persone coinvolte mettono a disposizione un'ampia gamma di competenze relative alle tecnologie, al business e alla formazione. La Comunità Europea supporta questo consorzio nell'ambito del programma I4MS con fondi di ricerca del programma quadro H2020 e con la realizzazione di una piattaforma disponibile per le aziende europee.

Il target primario del progetto AMable sono le piccole e medie imprese (PMI) che necessitano di supporto nell'adozione dell'additive manufacturing. AMable ha lo scopo di formare il personale di queste aziende al fine di potenziarne le competenze piuttosto che sostituirsi a loro nello svolgimento del lavoro. Inoltre, l'ecosistema svilupperà un'offerta ampia, dal supporto scientifico alle competenze e alla formazione, fino alle offerte di servizi commerciali.



Contatti

projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Coordinamento

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
 c/o Ulrich Thombansen
 +49/241/8906-320
 ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Rimaniamo in contatto

Contatti

projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Coordinamento

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT c/o

Ulrich Thombansen

+49/241/8906-320

ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

© AMable Project Consortium 2020, v1.0

Editori Ana Cardoso (EWF), Pedro Alvarez (LORTEK)

Co-Editore Mariangela Lombardi (POLITO)



Questo progetto è finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea nell'ambito del grant agreement 768775

www.amable.eu

