

- carta bianca amixon® -

La metallurgia delle polveri e la  
fattibilità economica della produzione  
additiva

# Per una stampa 3D a prova di futuro: tecnologie di lavorazione innovative per le polveri metalliche



## INTRODUZIONE

# Sulla strada della stampa 3D a costi contenuti

I processi di produzione additiva sono a un punto di svolta. Tutti parlano di questa tecnologia e funziona. Eppure: la stampa 3D è ancora vista da gran parte dell'industria come una tecnologia del futuro e non come un modello di produzione realistico e redditizio del presente.

I vantaggi della stampa 3D non possono essere negati: Maggiore libertà di progettazione, opzioni complete per la "produzione on-demand" e la prototipazione, personalizzazione dimensionale e minore spreco di materiale. Le aziende del settore produttivo sono concordi nel ritenere che questi siano ottimi presupposti per un mercato volatile. La tecnologia 3D ha il potenziale per cambiare radicalmente la natura della produzione.

Tuttavia, nonostante questo ottimismo, l'aumento relativamente costante dell'accettazione e continui progressi tecnologici, la stampa 3D non ha ancora raggiunto una svolta importante. I processi di produzione convenzionali, come lo stampaggio a iniezione e la lavorazione, dominano ancora la produzione. Non ci sono segnali che la stampa 3D possa mettere seriamente in discussione la loro posizione.

La ragione della lenta curva di sviluppo della stampa 3D è facile da individuare: I costi di produzione sono troppo elevati. Decenni di ricerca e know-how hanno ottimizzato i processi di fusione, stampaggio e lavorazione. La produzione additiva, invece, manca di concetti e misure per controllare i costi.

Questo libro bianco analizza gli ostacoli che si frappongono a una stampa 3D efficiente dal punto di vista dei costi. Solo risposte adeguate a questi ostacoli potranno le basi per un progresso sostenibile della stampa 3D e per il suo successo nell'industria del futuro.



SU AMIXON

# Tecnologia di miscelazione industriale made in Germany

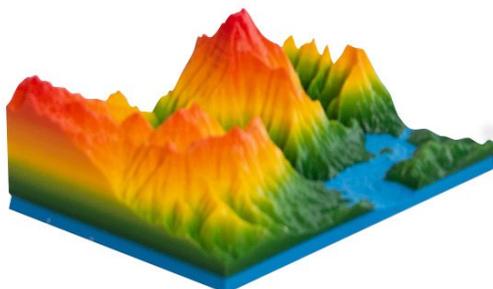
Da quasi 40 anni, amixon® è leader di mercato nello sviluppo e nella produzione di sistemi di miscelazione ad alta precisione per i requisiti igienici particolarmente elevati dell'industria di trasformazione. I miscelatori industriali amixon® sono prodotti in Germania, realizzati in acciaio inossidabile, soddisfano i più elevati standard igienici e sono dotati di una tecnologia di miscelazione innovativa. Ogni macchina è una soluzione personalizzata per le vostre esigenze individuali nella lavorazione di polveri metalliche, ceramiche e polimeriche utilizzate nella produzione additiva.





# Contenuti

1. I fattori di costo nella produzione additiva	6
1.1. L'attrezzatura	6
1.2. Forza lavoro	7
1.3. Materiale	8
2. La sfida dell'efficienza dei costi nella produzione di polveri	9
2.1. Requisiti per la distribuzione dimensionale e la morfologia delle particelle	9
2.2. Proprietà reologiche	10
2.3. Riutilizzare la polvere di metallo in eccesso	11
3. L'importanza della tecnologia di miscelazione per una fusione a letto di polvere redditizia	12
3.1. Lo svuotamento completo riduce le perdite di prodotto e aumenta la Tracciabilità della miscela	12
3.2. Omogeneità e condizionamento	13
3.3. Soluzioni per il ritrattamento e il successo Riutilizzo di polveri metalliche	15
4. Conclusione	16



amixon® essiccatore a miscelazione conica e  
reattore conico AMT

## SOMMARIO

# La polvere di metallo e l'economia della stampa 3D

La fusione laser a letto di polvere (L-PBF) è un processo di fabbricazione additiva che appartiene al gruppo dei processi di fusione a fascio. In questo processo, diversi strati di polvere metallica vengono fusi mediante fusione laser selettiva per formare una replica esatta di modelli 3D digitali. Il potenziale della L-PBF è indiscutibile. In quanto tecnologia "Industria 4.0", questo processo di produzione additiva è considerato lungimirante, in quanto consente la produzione di parti e prodotti di massa personalizzati in base alle esigenze. Tuttavia, nonostante i numerosi vantaggi e quasi un decennio di clamore, la stampa 3D rimane una tecnologia di nicchia. Il motivo: il processo è troppo lento e i costi dei materiali sono troppo elevati. Ciò rende difficile l'utilizzo della stampa 3D in un ampio contesto industriale.

Questo libro bianco di amixon® affronta questi ostacoli. Spiega il contesto e discute le possibilità di una stampa 3D sostenibile ed economica con la fusione a letto di polvere. La sfida più grande? Gli elevati costi di investimento per la stampante 3D stessa. Tuttavia, anche i costi dei materiali sono un fattore chiave quando si tratta di valutare la redditività economica del processo di stampa 3D. I costi dei materiali sono un problema anche per i produttori delle polveri metalliche necessarie per la L-PBF, poiché anche l'efficienza dei costi gioca un ruolo importante. L'innovativa tecnologia di miscelazione di amixon® può fornire un supporto in questo senso. Contribuisce a ridurre i costi dei materiali, rendendo questo processo di produzione additiva economicamente conveniente per una più ampia gamma di industrie.

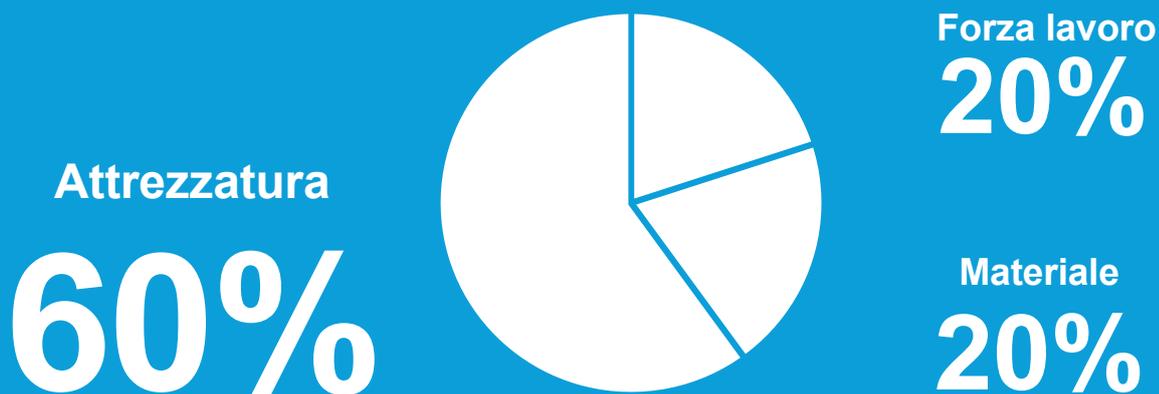


# 1

## Fattori di costo nella produzione additiva

Le stampanti 3D stesse, il personale addestrato e i materiali necessari per un processo regolare hanno un costo elevato.

### I fattori di costo in della manifattura additiva in sintesi:



Fonte: (Bono n.d.)

#### 1.1 L'attrezzatura

Con una stima del 60% dei costi, l'attrezzatura è il fattore di costo maggiore.<sup>1</sup> L'acquisto di una stampante 3D di grandi dimensioni e precisione costa poco meno di 1 milione di euro. Inoltre, il 10% del prezzo di acquisto deve essere considerato per i costi di manutenzione e il 12% per le parti di ricambio.<sup>2</sup>

Inoltre, i processi di stampa 3D su larga scala richiedono un'infrastruttura stabile per il trasporto dei materiali e la progettazione. Possono esserci anche costi aggiuntivi per il raffreddamento, la movimentazione e la finitura dei componenti stampati e il funzionamento di una stampante 3D consuma molta più energia rispetto ai metodi di produzione convenzionali.<sup>3</sup>

I costi complessivi dovrebbero diminuire nel lungo periodo, grazie ai continui progressi della tecnologia. Tuttavia, gli ostacoli finanziari rimangono elevati, soprattutto per le aziende più piccole, e la stampa 3D è una tecnologia che promette pochi ritorni sugli investimenti.

## 1.2 Forza lavoro

Circa il 20% dei costi viene speso per il personale addestrato.<sup>4</sup> Questi costi sono molto simili a quelli dei metodi di produzione tradizionali. Tuttavia, la stampa 3D lavora in modo relativamente lento e richiede personale appositamente formato per garantire progetti, realizzazioni, finiture e controlli di qualità affidabili dei componenti 3D.

Ad esempio, la sola conoscenza del CAD 3D non è sufficiente per un'efficace "Design for Additive Manufacturing" (DAFM). La DAFM richiede un know-how specializzato per capire come le strutture stampate in 3D possano essere autoportanti. I dipendenti formati in DAFM possono creare rendering 3D autoportanti. La stampa di materiale di supporto aggiuntivo e i relativi costi aggiuntivi di tempo, lavorazione e materiale vengono eliminati.



Poiché la stampa 3D è un processo automatizzato, nel tempo si svilupperà una riduzione dei costi di manodopera. Questo perché in tutto il settore vengono utilizzate sempre più tecnologie digitali e robotiche. I progressi tecnologici accelereranno ulteriormente il processo e il personale apprenderà le competenze necessarie per eseguire la stampa 3D in modo efficiente dal punto di vista del lavoro e dei costi.

### 1.3 Materiale

Gli investimenti in materiali ammontano "solo" al 20% dei costi totali.<sup>5</sup> Tuttavia, il controllo dei costi e l'ottimizzazione dei processi tendono a concentrarsi sui risparmi in questo segmento e meno sul personale e sulle attrezzature. Il motivo: i costi dei materiali possono essere calcolati in anticipo. Ad esempio, il volume di polvere di metallo necessario può essere facilmente determinato.

D'altra parte, gli investimenti necessari per il funzionamento delle attrezzature, i costi di manutenzione, il consumo energetico e la garanzia di qualità non possono essere misurati con precisione all'inizio. Inoltre, nel caso di collaborazioni ricorrenti tra clienti finali e produttori di polveri metalliche, questi ultimi possono essere messi sotto pressione nelle trattative sui costi. Una strategia che non è così facile da attuare quando si calcolano i costi delle attrezzature e della manodopera.

Questa attenzione ai costi dei materiali mette indifficoltà i produttori di polveri metalliche, che devono anche affrontare le sfide di una produzione efficiente dal punto di vista dei costi. Queste non sono condizioni favorevoli per un mercato della stampa 3D autoregolato e orientato al progresso. Il capitolo 2 di questo white paper è dedicato alle sfide derendono la produzione di polveri metalliche così costosa.

**Il controllo dei costi e l'ottimizzazione dei processi si concentrano maggiormente sui costi dei materiali e meno sui risparmi nell'area del personale e attrezzature. Questo perché i costi dei materiali possono essere calcolati in anticipo.**



# 2

## La sfida dell'efficienza dei costi nella produzione di polveri

Dalla ceramica ai polimeri: Sono molti i materiali che possono essere utilizzati per produrre polveri metalliche per la fusione a letto di polvere. Esistono anche diverse tecniche di atomizzazione delle materie prime per produrre polveri metalliche. Ci concentreremo sulle tecniche che utilizzano l'atomizzazione a gas. Uno dei metodi più comuni per la produzione di polveri metalliche per la fabbricazione additiva.

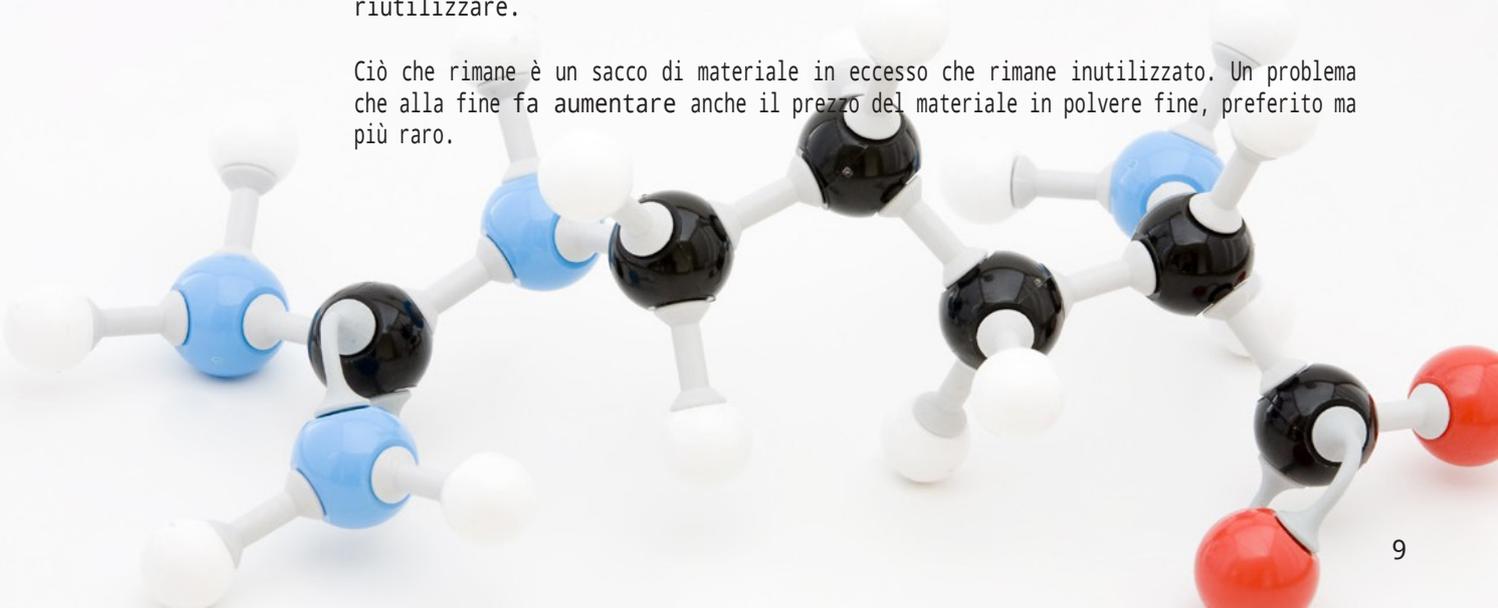
A differenza della stampa 3D, la metallurgia delle polveri si basa su decenni di esperienza e ottimizzazione dei processi. Tuttavia, con il crescente interesse per i vantaggi della stampa 3D, si è sviluppata positivamente anche la domanda di polveri metalliche di alta qualità. Per soddisfare questa crescente domanda, i metallurgisti delle polveri si trovano ad affrontare sfide importanti per un funzionamento efficiente dal punto di vista dei costi degli impianti di produzione.

### 2.1 Requisiti per la distribuzione granulometrica e la morfologia

Il processo di atomizzazione a gas produce particelle di forme e dimensioni diverse, da meno di 1  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$ . I tassi variano a seconda del produttore, ma nella maggior parte dei casi l'atomizzazione a gas produce più particelle di polvere grandi e grossolane e meno materiale fine. La polvere metallica viene setacciata in lotti di dimensioni e forme simili prima di essere lavorata e infine confezionata.

Per stampare componenti stabili con buone proprietà portanti, la fusione a letto di polvere richiede una polvere metallica il più possibile sferica e con una dimensione uniforme delle particelle. Inoltre, la maggior parte dei processi di fusione a letto di polvere richiede una polvere metallica estremamente fine per poter stampare in modo efficace. Le particelle con una dimensione di circa 10  $\mu\text{m}$  sono la scelta preferita. Le particelle di dimensioni maggiori sono più o meno inutilizzabili per la fusione a letto di polvere e sono difficili da riutilizzare.

Ciò che rimane è un sacco di materiale in eccesso che rimane inutilizzato. Un problema che alla fine fa aumentare anche il prezzo del materiale in polvere fine, preferito ma più raro.



## 2.2 Proprietà reologiche

Le polveri metalliche utilizzate nella fusione a letto di polvere sono fondamentali per l'efficienza di lavorazione e la qualità di un componente stampato in 3D. Per applicazioni particolarmente importanti, le polveri metalliche devono soddisfare determinati standard per quanto riguarda le loro proprietà fisiche e chimiche. I produttori devono sempre garantire che la polvere soddisfi in modo affidabile i seguenti requisiti:



### Fluidità e spalmabilità

Una volta che i contorni di un componente 3D sono stati completamente fusi dal laser, il vassoio affonda e un nuovo strato di polvere viene applicato in modo sottile e uniforme. Le ottime proprietà di scorrimento favoriscono un dosaggio rapido e preciso. Le proprietà di diffusione ottimali assicurano che sia necessaria solo una piccola quantità di forza per distribuire uniformemente la polvere metallica. In questo modo si evitano danni alla struttura del componente precedentemente fuso.



### Privo di agglomerati e coesione

Sia durante lo stoccaggio, sia durante il trasporto o nel corso dei processi di miscelazione: La polvere metallica fine è sempre soggetta al rischio di agglomerazione. Per evitare la formazione di questi agglomerati, il materiale sfuso deve essere preparato e manipolato correttamente. In questo modo si evitano difetti di qualità nel componente 3D finito.



### Chimicamente stabile

Durante la fusione a letto di polvere, le polveri metalliche vengono fuse insieme sotto l'apporto di calore. In genere si utilizzano fasci laser o di elettroni. Tuttavia, la polvere metallica deve essere chimicamente inerte prima della fusione. L'umidità, l'ossidazione, il calore o l'attrito durante il processo di miscelazione possono potenzialmente annullare questo stato inerte. Si tratta di una situazione che deve essere evitata con una tecnologia di miscelazione innovativa, per evitare una fusione prematura o insufficiente nel processo di stampa 3D.



### Miscelazione uniforme degli additivi

Molte polveri metalliche vengono lavorate nuovamente dopo la nebulizzazione per migliorarne le proprietà reologiche. Ad esempio, aggiungendo rivestimenti o additivi di flusso. Una qualità di miscelazione omogenea ideale con ingredienti così sensibili rappresenta una sfida importante nel processo di miscelazione.

### 2.3 Riutilizzare la polvere di metallo in eccesso

Una situazione vantaggiosa per il cliente finale, che vuole mantenere bassi i costi dei materiali, e per i produttori di polveri metalliche, che soffrono sempre di una carenza di materiale fine: Il riciclo delle eccedenze di polvere metallica presenta vantaggi per entrambe le parti. Purtroppo, però, questo processo di riciclaggio non è così semplice. È infatti importante che la polvere di metallo sia sempre di alta qualità per poter soddisfare i requisiti di elevate prestazioni dei componenti 3D.

Il problema: sono stati rilevati segni di degrado in diverse polveri metalliche. Le leghe in polvere ad alta temperatura, come l'Iconel 718, possono deformarsi a seconda della loro vicinanza alla fusione laser. Alcune polveri metalliche sono quindi inutilizzabili per il riutilizzo perché le morfologie sono troppo grandi o troppo grossolane.<sup>7</sup> Altri materiali, come la polvere di titanio, sono suscettibili all'assorbimento di ossigeno e possono quindi essere riutilizzati solo poche volte.<sup>8</sup>

Ad oggi, non esistono metodi qualificati per l'analisi e il riciclaggio di questi materiali residui da utilizzare nella fusione a letto di polvere. Lo sviluppo di tali processi sarebbe un vantaggio sia per i produttori di polveri che per gli utenti finali. Anche gli approcci innovativi che forniscono una base chimica per l'elevata riutilizzabilità di nuove polveri metalliche hanno ancora margini di miglioramento. Con ulteriori ricerche e sviluppi in questo settore, i produttori di polveri potrebbero dare un contributo importante all'efficienza dei costi della stampa 3D.

Passiamo ora a vedere come i sistemi di miscelazione innovativi di amixon® possono aiutare a risolvere alcune delle sfide sopra descritte. L'attenzione è rivolta alla distribuzione granulometrica, alla reologia e al riutilizzo delle polveri metalliche.

**Mancano approcci innovativi che forniscano una base chimica per l'elevata riutilizzabilità delle nuove polveri metalliche.**

**Con ulteriori ricerche e sviluppi in questo settore, i produttori di polveri potrebbero dare un contributo importante all'efficienza dei costi della stampa 3D.**



# 3

## L'importanza della tecnologia di miscelazione per una fusione redditizia del letto di polvere

I sistemi di miscelazione, essiccazione sottovuoto e reattori svolgono un ruolo cruciale nella produzione e nel riciclaggio delle polveri metalliche. Dopo che la polvere metallica è stata atomizzata e setacciata, i lotti di particelle di dimensioni simili vengono lavorati negli impianti di miscelazione. Qui ricevono le proprietà omogenee, le composizioni chimiche e le caratteristiche di flusso necessarie per ottenere componenti 3D durevoli e ad alte prestazioni.

Per ridurre i tempi di lavorazione e prevenire la degradazione della polvere metallica, la tecnologia di miscelazione deve consentire i processi di omogeneizzazione, condizionamento, essiccazione e raffreddamento in un'unica macchina. A questo scopo, amixon® ha sviluppato miscelatori, reattori ed essiccatori sottovuoto 3 in 1 che garantiscono prestazioni ineguagliabili e una lunga durata della miscela.

Le seguenti caratteristiche della tecnologia di miscelazione amixon® aiutano i produttori di polveri metalliche ad aumentare l'efficienza del processo e la resa del prodotto e a poter riutilizzare il materiale in eccesso in qualsiasi momento:

### **3.1 Lo svuotamento completo riduce la perdita di prodotto e aumenta la tracciabilità della miscela**

Una delimitazione ideale dei lotti senza mescolanze incrociate è di grande importanza in termini di tracciabilità precisa dei lotti e garanzia di qualità. La contaminazione incrociata tra i singoli lotti ha un effetto negativo sulla distribuzione delle dimensioni delle particelle. Questo, a sua volta, porta a seri problemi di qualità del componente stampato in 3D.

La soluzione ideale per questa sfida: l'amixon® AMT, un miscelatore conico 3 in 1, essiccatore e reattore. La camera di miscelazione conica e le spirali convesse consentono alla polvere metallica di fuoriuscire completamente senza segregazione. L'albero di miscelazione è sostenuto solo dall'alto e non entra in contatto con il prodotto. In questo modo si evitano i depositi di residui di materiale.

amixon® sviluppa sistemi di miscelazione con base piana che garantiscono fino al 99,997% di svuotamento dei residui. L'amixon® VMT è un sistema di miscelazione, essiccazione e reattore 3 in 1 e dispone di un recipiente di miscelazione cilindrico dotato dell'innovativa tecnologia ComDisc®. Questo meccanismo flessibile è installato sotto l'albero di miscelazione e si abbassa verso il fondo del contenitore durante lo svuotamento. A questo punto scorre radialmente sul pavimento dell'impianto di miscelazione e guida la miscela verso l'uscita.

Lo svuotamento completo di un miscelatore industriale non è solo essenziale per

evitare contaminazioni incrociate e problemi di tracciabilità dei lotti. Allo stesso tempo, la resa dei lotti aumenta, in quanto nel sistema di miscelazione non rimangono residui fini di valore.



amixon® miscelatore essiccatore sottovuoto e reattore sottovuoto VMT

### 3.2 Omogeneità e condizionamento

La perfetta reologia della polvere metallica è fondamentale per un'efficace fusione del letto di polvere. Per realizzare un prodotto che soddisfi tali requisiti è necessaria una sofisticata tecnologia di miscelazione.

Le seguenti caratteristiche dei miscelatori, essiccatori e reattori AMT e VMT facilitano la produzione economica di polveri metalliche di alta qualità per la produzione additiva:



## Omogeneizzazione delicata ma completa

I miscelatori di polveri amixon® sono dotati di uno strumento di miscelazione verticale elicoidale al centro della camera. Durante la rotazione si genera un flusso tridimensionale. Le polveri metalliche vengono avvitate verso l'alto nella periferia della camera di miscelazione. Una volta raggiunta la sommità, scendono verso il basso al centro della camera di miscelazione in base alla forza di gravità. Questo flusso avviene nell'intera camera di miscelazione e garantisce un funzionamento senza spazi morti. In queste condizioni, è sufficiente una bassa frequenza di rotazione per evitare agglomerati e produrre qualità di miscelazione omogenee ideali con eccellenti proprietà di flusso. Le particelle della polvere metallica sono quindi esposte solo a basse forze di taglio e sono protette in modo affidabile. Grazie al funzionamento sotto vuoto e a tenuta di pressione, anche il contenuto di ossigeno e azoto nell'impasto è notevolmente ridotto.



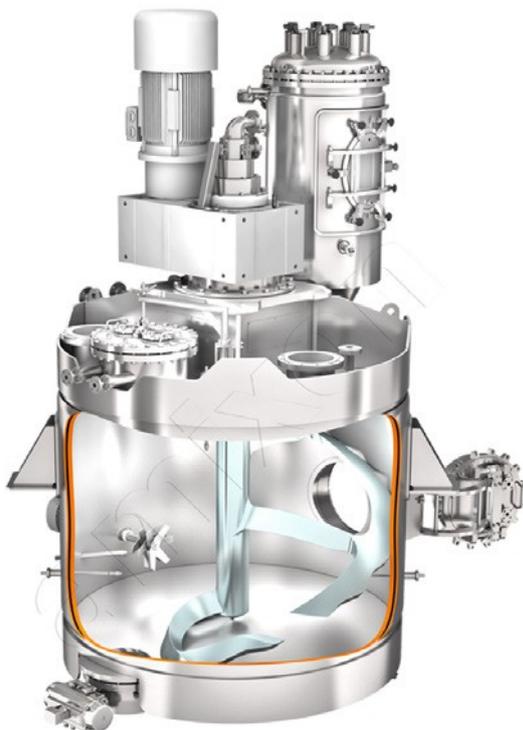
## Integrazione uniforme degli additivi di flusso

Il processo di omogeneizzazione delicato ma completo è ideale per i lavori di miscelazione più impegnativi. Ciò include, ad esempio, l'integrazione uniforme di additivi a flusso estremamente leggero, come la silice pirogenica. Nonostante l'elevata sensibilità al taglio di questi additivi e la loro tendenza a galleggiare in cima alla miscela, vengono efficacemente integrati nel flusso di miscelazione e integrati in modo omogeneo nel materiale sfuso. Gli innovativi meccanismi di scarico assicurano inoltre che gli additivi non si separino dal materiale sfuso dopo la miscelazione.

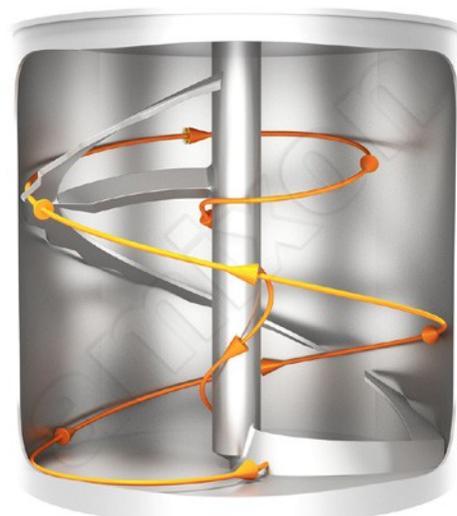


## Trattamento multistadio per il rivestimento delle particelle

Una tecnica comune per la lavorazione delle polveri metalliche igroscopiche consiste nel rivestire le particelle con additivi nanofini per evitare la formazione di agglomerati. Dotati di una serie di funzioni di lavorazione, i sistemi di miscelazione, essiccazione e reattori amixon® sono ideali per questi processi precisi e a più fasi. Quando si distribuiscono in modo uniforme gli agenti di rivestimento nel materiale sfuso, si crea innanzitutto un livello di umidità uniforme all'interno della polvere. A tal fine, ogni singola particella viene bagnata con l'additivo e poi essiccata sotto vuoto. Questo garantisce un rivestimento uniforme sulla superficie di ogni particella. Allo stesso tempo, si riducono sia il tempo di lavorazione che l'apporto di calore necessario per ottenere il risultato desiderato.



Schema di principio VMT



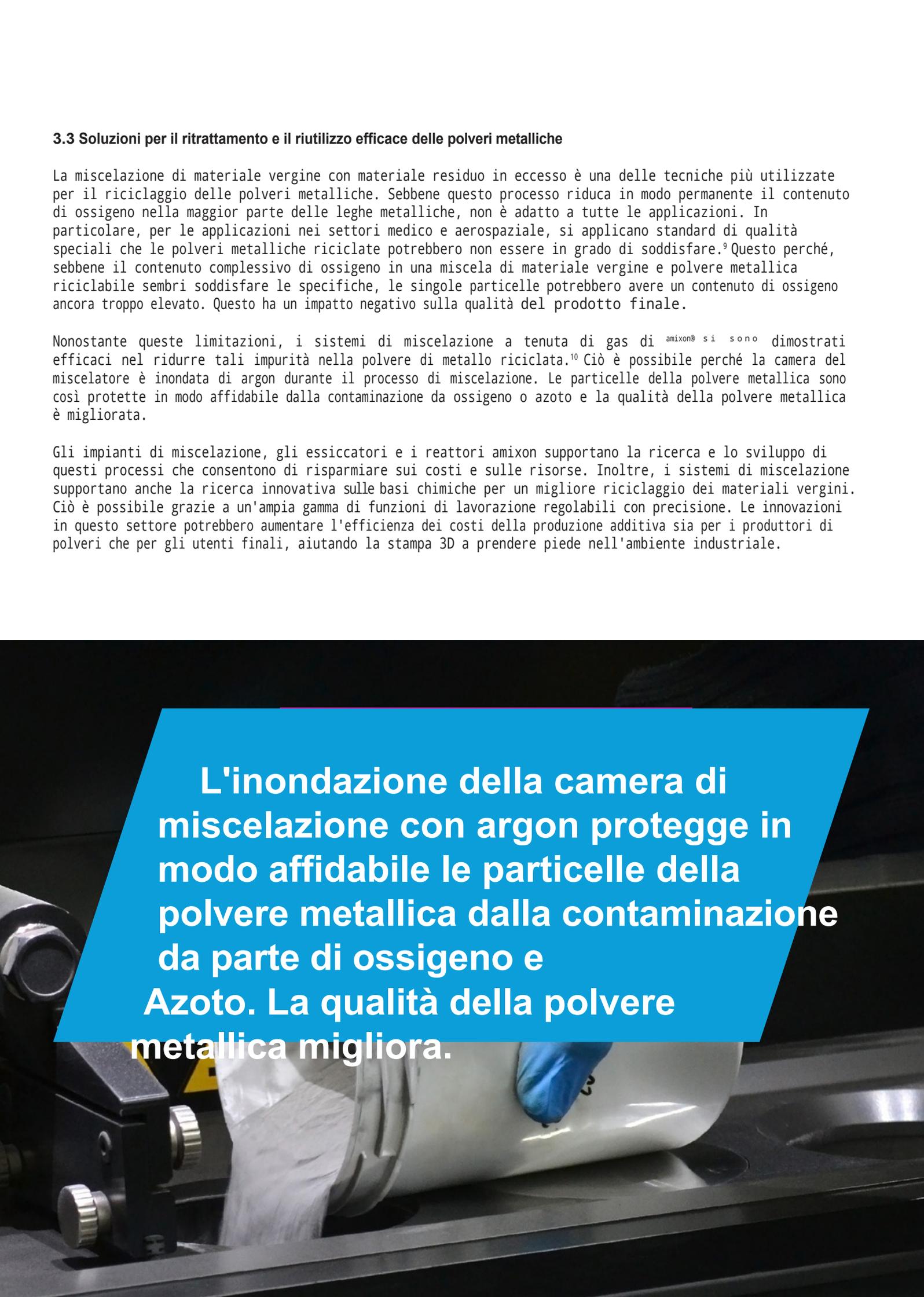
Schema di flusso VMT

### 3.3 Soluzioni per il ritrattamento e il riutilizzo efficace delle polveri metalliche

La miscelazione di materiale vergine con materiale residuo in eccesso è una delle tecniche più utilizzate per il riciclaggio delle polveri metalliche. Sebbene questo processo riduca in modo permanente il contenuto di ossigeno nella maggior parte delle leghe metalliche, non è adatto a tutte le applicazioni. In particolare, per le applicazioni nei settori medico e aerospaziale, si applicano standard di qualità speciali che le polveri metalliche riciclate potrebbero non essere in grado di soddisfare.<sup>9</sup> Questo perché, sebbene il contenuto complessivo di ossigeno in una miscela di materiale vergine e polvere metallica riciclabile sembri soddisfare le specifiche, le singole particelle potrebbero avere un contenuto di ossigeno ancora troppo elevato. Questo ha un impatto negativo sulla qualità del prodotto finale.

Nonostante queste limitazioni, i sistemi di miscelazione a tenuta di gas di amixon® si sono dimostrati efficaci nel ridurre tali impurità nella polvere di metallo riciclata.<sup>10</sup> Ciò è possibile perché la camera del miscelatore è inondata di argon durante il processo di miscelazione. Le particelle della polvere metallica sono così protette in modo affidabile dalla contaminazione da ossigeno o azoto e la qualità della polvere metallica è migliorata.

Gli impianti di miscelazione, gli essiccatori e i reattori amixon supportano la ricerca e lo sviluppo di questi processi che consentono di risparmiare sui costi e sulle risorse. Inoltre, i sistemi di miscelazione supportano anche la ricerca innovativa sulle basi chimiche per un migliore riciclaggio dei materiali vergini. Ciò è possibile grazie a un'ampia gamma di funzioni di lavorazione regolabili con precisione. Le innovazioni in questo settore potrebbero aumentare l'efficienza dei costi della produzione additiva sia per i produttori di polveri che per gli utenti finali, aiutando la stampa 3D a prendere piede nell'ambiente industriale.

A photograph showing a white bucket tilted to pour a white powdery substance into a dark-colored industrial machine. The machine has various knobs and a hopper. A blue glove is visible near the bucket's handle. A large blue trapezoidal graphic is overlaid on the image, containing white text.

**L'inondazione della camera di miscelazione con argon protegge in modo affidabile le particelle della polvere metallica dalla contaminazione da parte di ossigeno e Azoto. La qualità della polvere metallica migliora.**



# 4

## Conclusione

**Per una fusione a letto di polvere efficiente dal punto di vista dei costi è necessaria una tecnologia di miscelazione innovativa.**

Che si tratti della produzione rapida di prototipi, della "produzione su richiesta" o della personalizzazione di massa di componenti altamente complessi: I processi di produzione additiva sono considerati il futuro dell'economia industriale. Tuttavia, la stampa 3D non è ancora in grado di sostituire completamente i metodi di produzione tradizionali. Al contrario, devono ancora essere sviluppate idee innovative per ottimizzare i vari componenti del sistema lungo la linea di produzione.

Richiede una ricerca, una collaborazione e un'innovazione di processo continue e la tecnologia ancora giovane della fabbricazione additiva stabilirà nel tempo nuovi standard in tutto il settore. I sistemi di miscelazione <sup>amixon®</sup> danno il loro contributo: con soluzioni sofisticate, producono la massima qualità di miscelazione e migliorano così la qualità e la redditività della polvere metallica per la fusione a letto di polvere.





## FONTE

<sup>1</sup> Bono n.d.

<sup>2</sup> Thomas e Gilbert 2014

<sup>3</sup> Nyameke, et al. 2017

<sup>4</sup> Bono n.d.

<sup>5</sup> ibidem.

<sup>6</sup> Dunkley 2019

<sup>7</sup> Samant e Lewis 2017

<sup>8</sup> ibidem.

<sup>9</sup> Samant e Lewis 2017

<sup>10</sup> Cordova, Campos e Tinga 2019

## OPERE CITATE

Bono, Eric. n.d. "Controllo dei costi delle polveri metalliche nella produzione additiva". Carpenter Technology. <https://www.carpentertechnology.com/en/alloy-techzone/technical-information/technical-articles/controlling-met- al-powder-costs/>.

Cordova, Laura, Monica Campos e Tiedo Tinga. 2019. "Rivelazione degli effetti del riutilizzo della polvere per la fusione laser selettiva mediante caratterizzazione della polvere". JOM 1062-1072.

Dunkley, J. John. 2019. "Metodi di atomizzazione delle polveri metalliche per la produzione moderna: vantaggi, limiti e nuove applicazioni per le tecniche di produzione di polveri ad alto valore". Johnson Matthey Technol. rev. 226-232.

Nyameke, Patricia, Heidi Piili, Maija Leino e Antti Salminen. 2017. "Indagine preliminare sull'inventario del ciclo di vita della fusione a letto di polvere di acciaio inossidabile". Conferenza nordica sull'elaborazione dei materiali laser. Aalborg: Physics Procedia. 108-121.

Samant, Rutuja e Brendan Lewis. 2017. "Riciclaggio e ricondizionamento delle polveri metalliche nella produzione additiva". EWI. <https://ewi.org/metal-powder-recycling-and-reconditioning-in-additive-manufacturing/>.

Thomas, Douglas S. e Stanley W. Gilbert. 2014. "Pubblicazione speciale NIST 1176". Dicembre. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1176.pdf>.



**amixon GmbH**

Halberstaedter Strasse 55

33106 Paderborn Germania

Telefono: +49-5251-688888-0

Fax: +49-5251-688888-999

[www.amixon.com](http://www.amixon.com)