

## Messa a fuoco sulle prestazioni

I nuovi schemi ottici per sistemi di fusione laser a letto di polvere offrono un migliore controllo sul processo. La messa a fuoco dinamica del fascio apre nuove possibilità per ottimizzare il controllo su tutta la piastra di costruzione, anche in condizioni di temperatura variabile.

### Le basi della fusione laser

I sistemi di fusione selettiva dirigono un piccolo punto laser che liquefa la polvere di metallo, creando una pozza di fusione che viene poi spostata sul letto di polvere. Quando si toglie l'energia del laser, la "coda" si solidifica rapidamente creando una struttura robusta e completamente densa.

Le impostazioni relative alla quantità di energia fornita e alla velocità con cui viene spostata la pozza di fusione vengono attentamente regolate sulle caratteristiche della lega di metallo e sullo spessore dello strato da fondere. Questo processo si basa su un punto laser dalle dimensioni controllate in modo da garantire l'uniformità della densità dell'energia e dell'energia totale trasferita nella polvere.

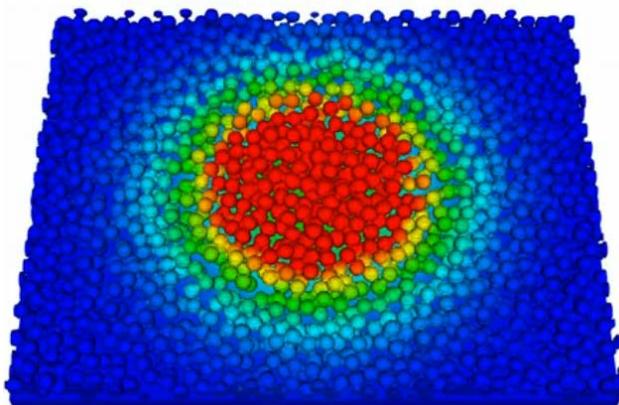
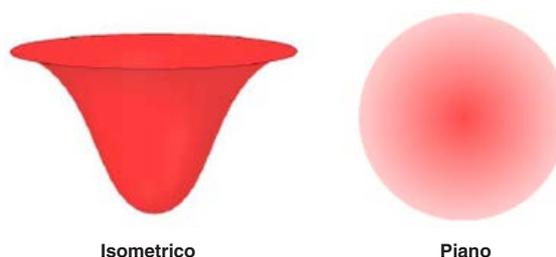


Immagine precedente: i grani di polvere vengono riscaldati dal laser e il calore si trasmette al materiale adiacente

La messa a fuoco del fascio laser è un fattore critico per una buona performance del processo di fusione. Solo con un fascio perfettamente a fuoco si può creare un corretto effetto di riscaldamento. Qualsiasi sfocatura causa la diffusione dell'energia su aree di materiale esterne alla zona di fusione e potrebbe provocare errori dimensionali e una finitura delle superfici non adeguata. Se la sfocatura dovesse causare un incremento sostanziale delle dimensioni del punto, la fusione potrebbe risultare incompleta, con conseguente incertezza delle proprietà meccaniche del materiale.

### Le difficoltà di ottenere una buona messa a fuoco

Idealmente, il fascio laser deve avere un profilo gaussiano, in modo da produrre la massima intensità al centro e ridurla progressivamente verso i bordi.



Le lenti ottiche vengono utilizzate per passare da un diametro di pochi millimetri (in uscita dalla fibra) fino al punto sottile di sezione minima che va a intersecare la piastra di costruzione. Man mano che ci si allontana da questo punto focale, la sezione del fascio aumenta, fino a raddoppiare la dimensione minima a una distanza sul fascio che viene definita distanza di Rayleigh (Z<sub>R</sub> nel diagramma di seguito):

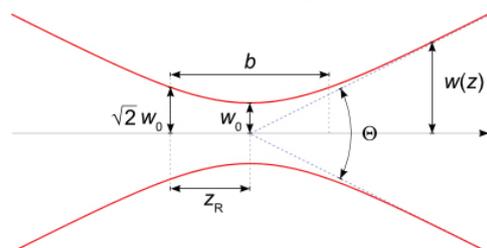
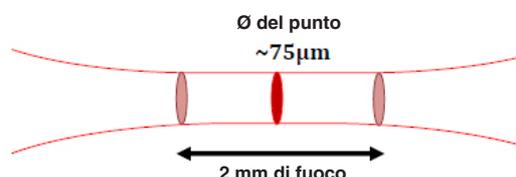


Immagine tratta da Wikipedia

La distanza di Rayleigh è proporzionale al quadrato del diametro della sezione minima e inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda del laser. Un diametro della sezione minima molto piccolo (utile per produrre elementi con molti dettagli) corrisponde a una distanza di Rayleigh breve e aumenta la sensibilità del sistema alla precisione di messa a fuoco. Se la messa a fuoco non è accurata e la distanza di Rayleigh dal punto focale reale è elevata, le dimensioni del punto laser raddoppiano e la densità dell'energia si riduce del 50%.

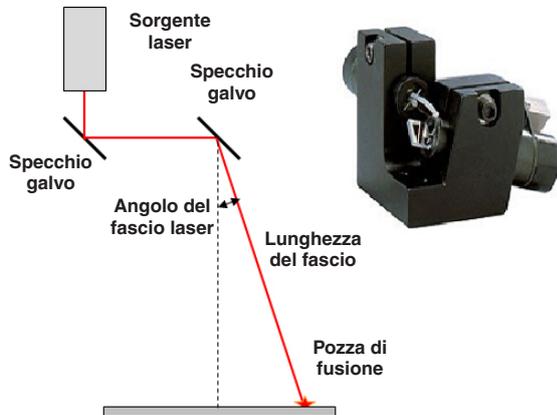
In una macchina per fusioni Renishaw con un diametro della sezione minima pari a 75 micron e una lunghezza d'onda di 1.070 nm, la distanza di Rayleigh è di alcuni mm. Ovviamente, se la densità dell'energia si dimezza, ci si allontana dalle condizioni di lavoro ottimali per molti materiali, pertanto, l'intervallo accettabile di messa a fuoco si aggira intorno a ±1 mm:

Questo significa che le nostre ottiche devono essere in grado di mantenere il fuoco all'interno di tale intervallo, man mano che il punto laser si sposta lungo il letto.



## Posizionamento e messa a fuoco

Molte macchine di fusione laser sfruttano sistemi di specchi galvanometrici ("galvo") per direzionare il fascio laser su aree diverse del letto di polvere. Una coppia di specchi viene posizionata sopra il centro del letto per direzionare il fascio, con una serie di angolazioni composte, fino alle posizioni XY desiderate sulla piastra di costruzione.

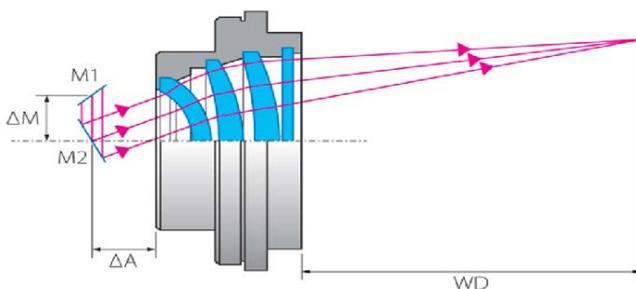


Dato che gli angoli variano, il fascio deve percorrere distanze diverse prima di colpire il letto. Se allontaniamo la pozza di fusione dal centro del letto, si allunga il percorso del fascio laser dagli specchi galvo al letto.

Ciò significa che la lunghezza focale del fascio laser deve variare per corrispondere con precisione all'angolo del fascio. Per ottenere questo risultato si possono utilizzare sistemi F-teta passivi e sistemi dinamici a fuoco variabile.

## Sistemi F-teta

Per la sua macchina AM400, Renishaw utilizza il sistema F-teta Composto da una lente con più elementi che focalizza un fascio incidente su un piano. La lente F-teta ha una lunghezza focale che varia in base all'angolo con cui il fascio entra nell'elemento. L'obiettivo è mantenere un diametro della sezione minima costante su tutto l'intervallo di angoli di fascio incidenti:



nei sistemi F-teta hanno un semplice controllo passivo che consente il funzionamento ad alta velocità. Tuttavia, il loro design non è esente da problemi quando si usano laser ad alta potenza:

- per evitare la presenza di fasci luminosi all'interno del sistema, si ricorre a rivestimenti antiriflesso che però possono generare calore fino allo 0,3% della

potenza incidente su ciascuna superficie. Se associato all'assorbimento delle lenti, questo fenomeno può produrre fino a 10 W di calore, che aumenta ulteriormente con la potenza del laser. La variazione termica del gruppo lente può modificare la lunghezza focale.

- Dato che la lunghezza focale è una funzione dell'angolo incidente, è fondamentale posizionare correttamente gli specchi galvo in relazione alle ottiche F-teta. Eventuali variazioni, che potrebbero insorgere a causa degli sbalzi termici, possono portare a una perdita di fuoco del laser.
- Infine, i sistemi con laser multipli richiedono l'uso di più sistemi F-teta, con un conseguente aumento dei costi e della complessità.

## Sistemi di messa a fuoco dinamica

Nei sistemi dinamici una lente di piccole dimensioni viene posizionata nel fascio, a monte degli specchi galvo e viene quindi spostata in relazione alla posizione della sorgente, per consentire la modifica della lunghezza focale del sistema ottico. Renishaw ha scelto questo metodo per il controllo del fuoco della sua nuova macchina RenAM 500M che installa un laser da 500W.

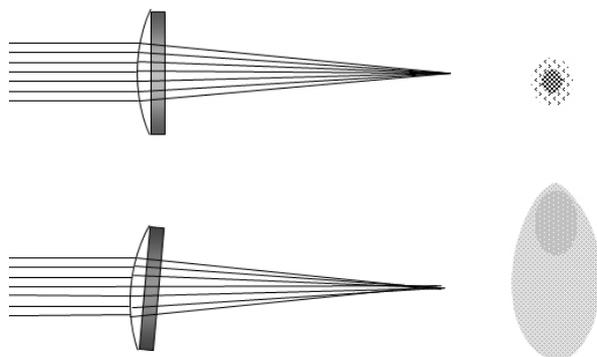


Lo spostamento controllato della lente compensa le variazioni della lunghezza focale semi parabolica, necessarie per consentire al sistema galvo di scansionare il fascio sul letto. Tale soluzione fornisce un'importante serie di vantaggi:

- Le variazioni della lunghezza focale sono servo-controllate per consentire la mappatura di tutte le distorsioni note causate dal sistema di scansione in base alle necessità di posizionamento della lente.
- In questo modo si ottiene il controllo programmatico completo sulla messa a fuoco. Se necessario, possiamo deliberatamente mettere il laser fuori fuoco per creare vari effetti di lavorazione.
- L'assenza delle restrizioni imposte da una lente rigida ci permette di adattare il fuoco alle condizioni attuali, tracciando gli effetti termici, man mano che i flussi di calore investono la struttura della macchina durante le operazioni di lavorazione.
- Grazie a un numero ridotto di elementi ottici e di rivestimenti anti-riflesso, i sistemi di messa a fuoco dinamica generano meno calore.

- Il feedback ricevuto dai servo di messa a fuoco può essere memorizzato insieme alle posizioni del galvo per aumentare la tracciabilità del processo.
- Rispetto ai dispositivi F-teta, i sistemi di messa a fuoco dinamica sono più compatti ed economici, risultando quindi più scalabili per i sistemi a laser multipli.

Bisogna tenere presente che è molto importante riuscire a controllare l'allineamento della lente con l'asse ottico, per garantire una messa a fuoco accurata e il corretto posizionamento del punto laser. Errori, anche piccoli, di allineamento possono causare una perdita significativa di messa a fuoco, pertanto il sistema ottico deve essere allineato con la massima cura e le variazioni termiche devono essere tenute sotto controllo, per evitare risultati indesiderati.



## Riepilogo

Per una lavorazione di alta qualità sono necessari uniformità, controllo e tracciabilità. Un buon controllo della lunghezza focale è importante per ottenere prestazioni di fusione uniformi ed efficaci.

I sistemi AM diventano ogni giorno più sofisticati e potenti, grazie all'utilizzo di laser multipli. Per queste ragioni la capacità di messa a fuoco dinamica diventa sempre più importante.

## Informazioni sull'autore

### Marc Saunders, Director of AM Applications

Marc Saunders vanta più di 25 anni di esperienza nella produzione high-tech. In Renishaw, ha già avuto in precedenza un ruolo fondamentale nello sviluppo della piattaforma di lavorazione automatica RAMTIC e nell'offrire soluzioni metrologiche chiavi in mano a importanti clienti del settore aerospaziale.

Marc gestisce la rete globale di Solution Center per la stampa 3D di Renishaw, che consente ai clienti che stanno prendendo in considerazione il passaggio a questo metodo di produzione di provarlo nella pratica, prima di impegnarsi in una nuova struttura.

[www.renishaw.it/additive](http://www.renishaw.it/additive)