

Allegato tecnico sistema di micro- e nano-fabbricazione 3D DLW-TPP

Contenuti

Introduzione	1
Requisiti tecnici specifici per stampante 3D DLW-TPP	3
Ulteriori caratteristiche richieste	4
Caratteristiche minime richieste	5
Caratteristiche elettriche (non valutate per la scelta della macchina).....	6
Peso e dimensioni (non valutate per la scelta della macchina)	6
Requisiti del sito di installazione.....	6
Posizionamento e relative strutture	7
Configurazione di posizionamento preferenziale:.....	7
Configurazione di posizionamento secondaria:.....	8

Introduzione

Le tecniche di scrittura laser diretta (*Direct Laser Writing*) rappresentano un progresso significativo delle tecnologie base di *additive manufacturing* per la fabbricazione di dispositivi architetturati, rappresentando la sua evoluzione come tecnologia per la deposizione o modifica di materiali funzionali su un substrato specifico impiegando un fascio laser focalizzato su percorsi guidati mediante specifiche strategie di controllo digitali. Da quest'aspetto nasce la terminologia per identificare il più piccolo elemento di volume fabbricato del materiale funzionale in esame, il voxel, che funge da elemento costitutivo fondamentale durante il processo di fabbricazione.

Le tecniche DLW sono adatte per applicazioni che richiedono microstrutture 3D complicate ad alta risoluzione con elevati rapporti di aspetto e geometrie non convenzionalmente realizzabili.

Lo sfruttamento dei fenomeni multifotonici rappresenta un miglioramento specifico delle tecniche DLW per il raggiungimento dell'energia necessaria per la creazione di voxel e la riduzione delle dimensioni minime ottenibili dei voxel. Questa particolare tecnologia viene applicata a fotopolimeri a tono negativo e positivo strutturati tramite l'assorbimento di fotoni aventi lunghezze d'onda specifiche. In contrasto con i fenomeni di polimerizzazione indotti dalla luce standard, i quali si verificano in corrispondenza del cerchio di messa a fuoco e alla profondità di campo dell'ottica impiegata, l'assorbimento bi-fotonico si avvantaggia dei fenomeni combinatori del terzo ordine (un processo del secondo ordine relativo all'intensità della luce) rispetto alla suscettibilità ottica χ^3 , per raggiungere le dimensioni dei voxel ellissoidali di 150 nm x 600 nm (al massimo della risoluzione teorica della tecnica). Ciò si ottiene regolando con precisione la funzione di assorbimento del fotoresist in modo che sia in intervalli di lunghezze d'onda corrispondenti al doppio (nel caso di assorbimento a due fotoni) delle lunghezze d'onda dei fotoni incidenti. In questo modo, solo eventi combinatori tra due fotoni sono in grado di raggiungere le caratteristiche spettrali richieste per la polimerizzazione

(mentre gli eventi di assorbimento di un singolo fotone sono altamente soppressi). In quanto fenomeno statistico, la più alta probabilità di assorbimento si trova nel punto focale del sistema ottico. Un fenomeno di ordine secondario è un processo non lineare con diversi ordini di grandezza più deboli dell'assorbimento lineare. Pertanto sono necessarie intensità luminose molto elevate per aumentare il numero di eventi così rari.

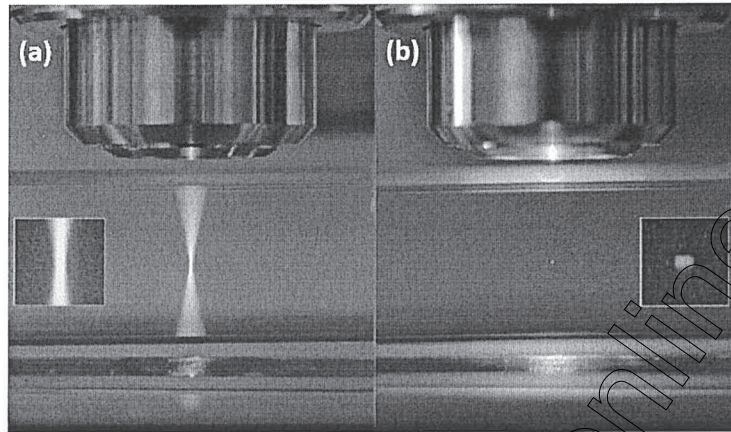


FIGURA1. CONFRONTO TRA (A) ASSORBIMENTO DI UN FOTONE E (B) ASSORBIMENTO DI DUE FOTONI. (PER GENTILE CONCESSIONE DI NANOSCRIBE)

Pertanto, una tipica stampante 3D DLW TPP è costituita da una sorgente laser pulsata il cui raggio è pilotato tramite sistemi altamente accurati (direzione x e y) verso le lenti dell'obiettivo. Un sistema di scansione piezoelettrica migliora le capacità di copertura laterali del campo di stampa consentendo movimenti geometrici grossolani. Il sistema di lenti risulta generalmente immerso nel fotoreist o agente all'interno di una configurazione di microscopio invertito attraverso substrati trasparenti alla luce come mostrato in Figura2

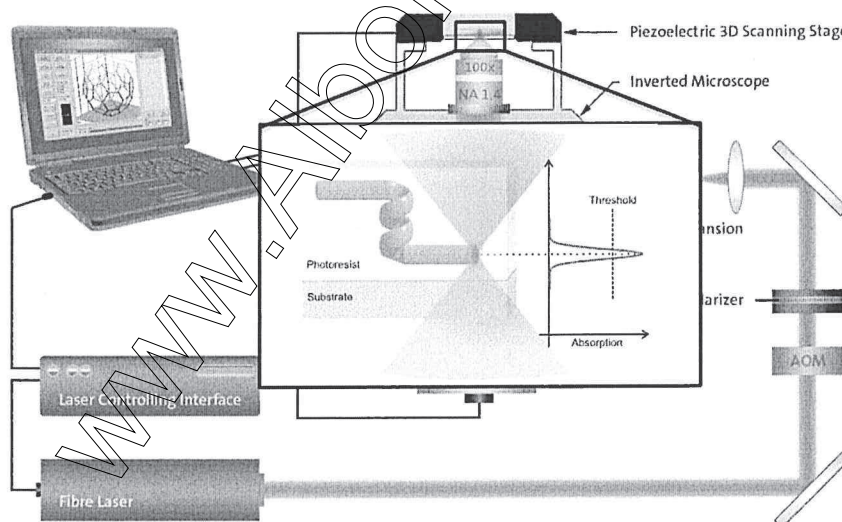


FIGURA2. RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UNA TIPICA STAMPANTE 3D DLW TPP.

Requisiti tecnici specifici per stampante 3D DLW-TPP

La stampante 3D deve essere basata sulla tecnologia di scrittura laser diretta (DLW), che utilizza i principi della polimerizzazione a due fotoni attraverso un laser a femtosecondo per una polimerizzazione multi-scala precisa e di alta qualità di micro, submicro e nanodispositivi, consentendo un controllo accurato delle proprietà geometriche e dei materiali attraverso capacità di sviluppo di percorsi di polimerizzazione specifici e strategie di *hatching/slicing*. Inoltre, deve essere disponibile su richiesta una gamma di fotoresist compatibili con il dispositivo e specificamente progettati per stampa ad alta precisione per applicazioni strutturali, fotoniche, di strutture 2.5D e applicazioni biocompatibili (fotoresist con biocompatibilità migliorata: su richiesta esplicita). In particolare, i suddetti parametri della stampante 3D si intendono obbligatori:

1. Il dispositivo deve utilizzare una tecnologia DLW-TPP tramite un laser a femtosecondo con lunghezza d'onda centrale di 780 ± 10 nm, durata dell'impulso < 120 fs e potenza > 100 mW.
2. La stampante 3D deve fornire una tecnologia di posizionamento e scansione laser ad alta precisione che, da sola (escludendo cioè le modalità di funzionamento che utilizzano l'accoppiamento con i movimenti dello stage), consenta velocità di stampa di almeno 100 mm/s (es. galvoscaner o tecnologia equivalente).
3. Il dispositivo deve fornire un metodo per evitare gli errori di imaging ottico che si verificano nelle configurazioni a immersione convenzionali (lenti, olio per immersione, substrato di vetro, fotoresist) ed essere in grado di stampare oggetti che sono più alti della distanza di lavoro del sistema di lenti utilizzato, evitando percorsi della luce attraverso substrati trasparenti, garantendo così una migliore qualità della struttura mediante ridotta dipendenza dalle aberrazioni ottiche.
4. Il dispositivo deve essere dimostrabilmente adatto per la stampa (è considerato dimostrabilmente adatto se vengono presentate almeno tre pubblicazioni sottoposte a revisione in riviste scientifiche rispettabili in cui il modello offerto, o un modello precedente, è stato utilizzato con successo per il rispettivo scopo. Al fine di escludere conflitti di interesse, possono essere valutate solo quelle pubblicazioni in cui nessuno degli autori sia associato al produttore come dipendente, fondatore o simile al momento della pubblicazione) di:
 - Parti di vetro microscopiche di alta qualità come elementi filtranti microfluidici o lenti micro-ottiche.
 - Micro-ottica di alta qualità su substrati piatti.
 - Dispositivi di alta qualità e altri microelementi stampati in 3D (implementando strategie di ricerca di substrati/interfaccia ad hoc per consentire la stampa diretta su strutture complesse).
 - Stampa di microfluidica 3D.
 - Stampa di elementi micromeccanici 3D.
 - Stampa di scaffold microstrutturati per colture cellulari.
5. Disponibilità di almeno tre set di soluzioni di fabbricazione che consentono di stampare dall'oggetto con la risoluzione più fine verso il sub-micron ($< 1 \mu m$) scala.
6. Deve essere disponibile un materiale di stampa con un'elevata trasparenza nel visibile e nel vicino infrarosso. In particolare, la trasmissione deve avvenire almeno per il 90% attraverso un pezzo di materiale spesso $200 \mu m$, ovunque nell'intervallo da 400 nm a 1660 nm. È richiesta una prova indipendente (pubblicazione scientifica sottoposta a revisione o misurazione indipendente, ad esempio da un laboratorio esterno).
7. Deve essere disponibile un materiale stampabile che mostri un assorbimento estremamente basso alla lunghezza d'onda dell'infrarosso per applicazione nelle telecomunicazioni:

trasmissione del 99% attraverso 1 mm a 1550 nm. È richiesta una prova indipendente (pubblicazione scientifica sottoposta a revisione paritaria o misurazione indipendente, ad esempio da un laboratorio esterno).

8. Il dispositivo deve consentire di stampare direttamente su substrati quali wafer di silicio (4 pollici) per integrare strutture di dimensioni submicroniche all'interno di altre strutture precedentemente litografate (microcanali, micropozzetti, ecc.). La resina deve essere utilizzata direttamente come liquido di immersione per le lenti. Nessun altro liquido deve essere messo a contatto con le microstrutture.
9. Strategie attive o passive per eliminare rumore e vibrazioni e garantire la piena funzionalità e il raggiungimento delle risoluzioni massime dichiarate in ambienti di laboratorio con specifiche di livello uguali o inferiori a VC-B (secondo VDI2038-2).
10. Il dispositivo deve avere un sistema di messa a fuoco automatica per consentire la stampa TPP con una precisione nell'asse ottico di $\pm 150 \text{ nm}$ (con un obiettivo 60x o superiore).
11. Installazione, formazione completa degli utenti, inclusi materiali di formazione, costi di viaggio per il set di soluzioni di microfabbricazione 3D selezionato.
12. Computer di controllo di livello industriale affidabile (MS Windows 10 installato) che consente la creazione e la gestione rapida di modelli CAD e lavori di stampa.
13. Telecamera per microscopio dedicata per la visualizzazione del processo di stampa.
14. Editor di lavori di stampa che include procedura guidata per l'importazione dei dati, anteprima 3D interattiva, simulazione di stampa, ricette specifiche dell'applicazione, opzione per salvare parametri specifici dell'utente con l'installazione abilitata per più licenze e aggiornamenti garantiti per almeno 12 mesi.
15. Garanzia estendibile per almeno un anno (con possibilità di estensione a posteriori a 24 mesi), comprensiva di diagnosi e ispezione, riparazione e sostituzione di parti a distanza e in loco.

Ulteriori caratteristiche richieste

Il seguente insieme di requisiti concorrerà alla valutazione complessiva dell'offerta proposta come criteri di selezione aggiuntivi rispetto alle caratteristiche minime del dispositivo descritte nel paragrafo precedente. Di seguito viene presentato un elenco di parametri valutati:

- In conformità con i requisiti del dipartimento verso una transizione verde, verrà valutato positivamente il dispositivo con il minor consumo di energia possibile - $\leq 400 \text{ W}$ - per consentire il funzionamento continuo nei laboratori e il backup/protezione contro le sovratensioni tramite linea elettrica UPS
 - L'apparecchio consuma una media di 300 W o meno durante il funzionamento - 5 punti.
 - L'apparecchio consuma una media di 500 W o meno durante il funzionamento - 2 punti.
 - L'apparecchio consuma in media 700 W o meno durante il funzionamento - 1 punto
- In accordo con le ultime direttive in materia di tutela ambientale e seguendo i requisiti cogenti verso una diffusa accettazione delle direttive del Green Deal europeo nell'ambito delle azioni che configurano il dipartimento di ingegneria come quadro di eccellenza, l'offerente deve dimostrare un approccio strutturato alla tutela dell'ambiente (es. sistema di gestione ambientale secondo ISO 50001, ISO 14001, linee guida ufficiali per la protezione dell'ambiente e la prevenzione dei rifiuti o misure comparabili).
- È necessario garantire che il servizio clienti sia disponibile rapidamente quando necessario, anche se i singoli dipendenti sono assenti per ferie o malattia. L'offerente deve dimostrarlo descrivendo la propria struttura del servizio:
 - *Presentato in modo non convincente - esclusione dell'offerente*

- Sufficientemente presentato - 1 punto
- Soddisfacente - 3 punti
- Convincente in modo speciale - 5 punti
- A seguito della durata del progetto che ha configurato il dipartimento di ingegneria come un centro di eccellenza, si deve garantire che l'offerente sarà disponibile come azienda in un arco di almeno due anni per fornire materiali di consumo, pezzi di ricambio, formazione e servizi di riparazione. L'offerente, infatti, deve dimostrare di possedere la capacità finanziaria per eseguire un contratto di queste dimensioni in modo affidabile. Deve essere presentata un'autodichiarazione relativa al fatturato degli ultimi tre esercizi conclusi e una dichiarazione di quale quota di tale fatturato è stata realizzata con servizi paragonabili a quelli qui appaltati. Il fatturato annuo dovrebbe essere superiore a 750 000 EUR in ogni caso. Qualora ciò non fosse possibile, l'offerente deve dimostrare il contrario di essere finanziariamente idoneo.

Caratteristiche minime richieste

Caratteristica	Valori richiesti
<i>Tecnologia di stampa</i>	Scrittura laser diretta - Polimerizzazione a due fotoni
<i>Dimensione minima dell'elemento in XY [nm]*</i>	≤ 200
<i>Minimum XY feature size [nm]</i>	
<i>Risoluzione XY massima [nm]**</i>	≤ 500
<i>Maximum XY resolution [nm]</i>	
<i>Altezza massima raggiungibile dell'oggetto [mm]</i>	≥ 5
<i>Maximum achievable object height [mm]</i>	
<i>Velocità di scansione [mm/s]</i>	≥ 100
<i>Scan Speed [mm/s]</i>	
<i>Rugosità superficiale minima [nm]</i>	$\leq 20 \text{ nm}$

*Per dimensione minima ottenibile si intende la larghezza di una linea scritta parallelamente al piano di scrittura dell'obiettivo (piano XY).

** La risoluzione massima nel piano è intesa definita come la distanza minima raggiungibile (da centro a centro) tra due linee sullo stesso piano quando si stampa alla dimensione minima ottenibile dell'elemento). Nel caso in cui si ritenga sussistere ambiguità o differenze tra la definizione proposta e quella dell'offerente, per poter valutare e confrontare le delibere ottenibili, è necessario presentare gratuitamente una struttura di test con la risposta al bando. La struttura deve essere stampata con un dispositivo identico nella costruzione al dispositivo offerto. Deve essere stampata una struttura a "catasta di legna", cioè una pila di singole linee che corrono alternativamente nella direzione X e Y. Come area di base deve essere scelto almeno $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$. I piani adiacenti della stessa lunghezza devono essere spostati di mezza distanza di linea. La distanza (da centro a centro) di due linee sullo stesso piano dovrebbe essere al massimo $a = 700 \text{ nm}$, la distanza tra due linee che giacciono una sopra l'altra nella direzione Z (cioè al prossimo ma un piano che corre nello stesso modo) dovrebbe essere $c = a * \sqrt{2}$. Devono essere stampati almeno 10 strati. La struttura del test viene esaminata con un microscopio elettronico a scansione. La prova deve essere riprodotta sull'attrezzatura fornita al momento dell'accettazione. Le valutazioni dei criteri di selezione seguono in ordine crescente:

1. Le linee sono chiaramente separate in X, Y e Z.
2. Le linee sono chiaramente separate in X, Y e Z e non sono più larghe di 300 nm sul piano XY.
3. Le linee sono chiaramente separate in X, Y e Z e non sono più larghe di 200 nm sul piano XY.
4. Le linee sono chiaramente separate in X, Y e Z e non sono più larghe di 160 nm sul piano XY.

Caratteristiche elettriche (non valutate per la scelta della macchina)

<i>Caratteristiche</i>	<i>Valori richiesti</i>
<i>Alimentazione elettrica</i>	single phase 100 ÷ 240 VAC, 50/60 Hz
<i>Corrente massima</i>	5 A
<i>Caratteristiche del laser</i>	Classe 1 secondo IEC 60825-1
<i>Sicurezza elettrica</i>	secondo IEC 61010-1:2010

Peso e dimensioni (non valutate per la scelta della macchina)

<i>Parametro</i>	<i>Valori di riferimento</i>
<i>Dimensioni L x P x A [mm]</i>	(700 ÷ 1200) × (500 ÷ 1200) × (600 ÷ 1500)
<i>Peso [kg]</i>	100 ÷ 400

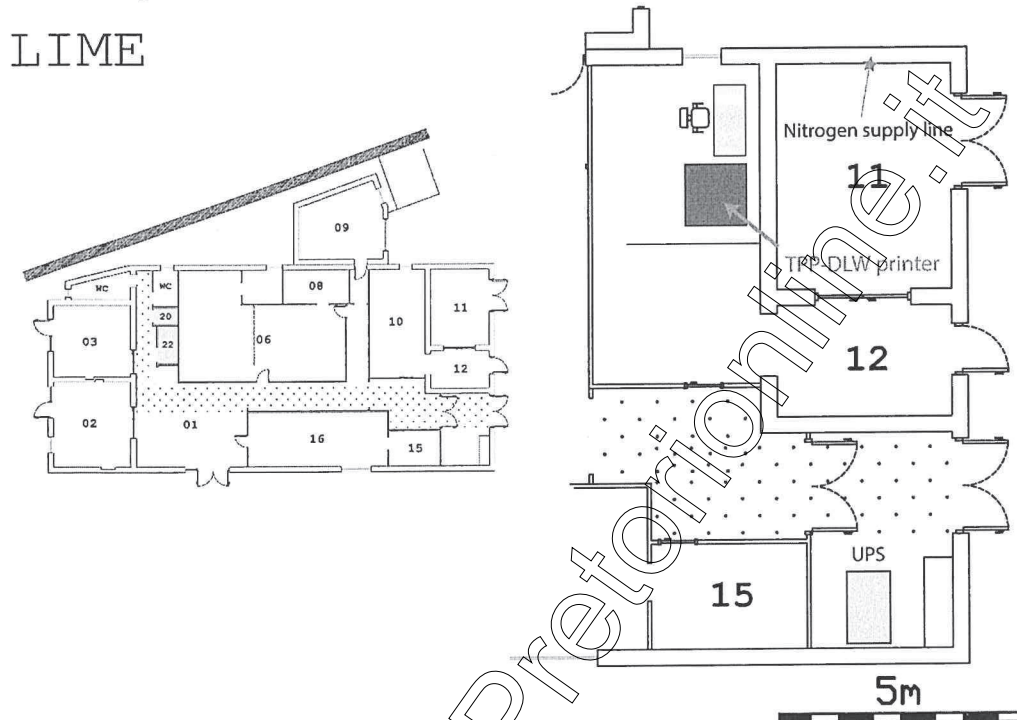
Requisiti del sito di installazione

<i>Parametro</i>	<i>Valori di riferimento</i>
<i>Temperatura di esercizio</i>	22° C ± 4° C
<i>Fluttuazione di temperatura</i>	within 1° C in 2 hours
<i>Massima umidità relativa (UR%)</i>	< 60%
<i>Spettro di emissione (illuminazione ambiente) [nm]</i>	> 500

Posizionamento e relative strutture

La stampante 3D sarà posizionata all'interno delle strutture del laboratorio LIME, seguendo il punto di installazione provvisoria riportato nella seguente planimetria (si evidenzia la posizione degli alimentatori e delle relative altre forniture per le funzionalità della stampante).

Configurazione di posizionamento preferenziale:

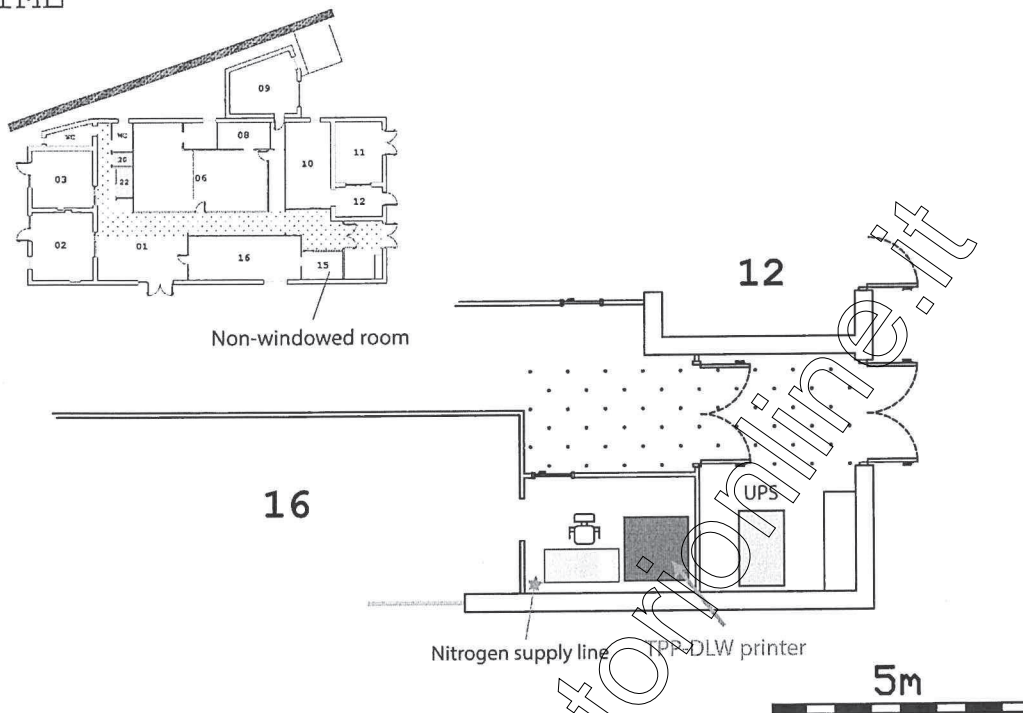


La posizione specifica è suggerita in quanto caratterizzata dai seguenti vantaggi per la stabilità della stampante e la qualità degli output:

1. Minima esposizione alla luce solare diretta e possibilità di schermatura completa dalle sorgenti luminose tramite installazione di tende e schermi gialli.
2. Numero minimo di ingressi per ridurre al minimo l'esposizione a polvere e particelle ed evitare la contaminazione. Possibilità di una gestione indipendente della climatizzazione per garantire stabilità termica e controllo continuo dei parametri ambientali.
3. Accesso alle forniture di azoto secco o aria compressa in prossimità (nella parete adiacente al posizionamento dello strumento) per le funzionalità dei sistemi pneumatici.
4. Volume disponibile ottimale per i requisiti legati alla stabilità termica (presenza di un impianto di condizionamento con splitter sparato rispetto all'impianto principale con possibilità di regolazione indipendente della temperatura e del livello di umidità nella stanza); distanza elevata dagli alimentatori principali (fonti elettromagnetiche) dell'edificio con riduzione delle armoniche spurie conseguenti ad un collegamento diretto e ravvicinato della strumentazione ai quadri elettrici; distanza dagli ingressi principali e corridoi di ingresso dell'edificio con riduzione sensibile delle correzioni alle vibrazioni indotte dalle attività routinarie del laboratorio.
5. Installazione a livello basamento per evitare vibrazioni e rumori strutturali durante il processo di stampa.

Configurazione di posizionamento secondaria:

LIME



La posizione specifica è suggerita come secondaria in quanto caratterizzata dai seguenti vantaggi per la stabilità della stampante e la qualità degli output, ma aderente in misura ridotta (rispetto alla configurazione preferenziale) al punto 4 di cui nella precedente.

- Minima esposizione alla luce solare diretta e possibilità di schermatura completa dalle sorgenti luminose tramite installazione di tende e schermi gialli.
- Numero minimo di ingressi per ridurre al minimo l'esposizione a polvere e particelle ed evitare la contaminazione. Possibilità di una gestione indipendente della climatizzazione per garantire stabilità termica e controllo continuo dei parametri ambientali.
- Accesso alle forniture di azoto secco o aria compressa per le funzionalità dei sistemi pneumatici.
- Installazione a livello basamento per evitare vibrazioni e rumori strutturali durante il processo di stampa.

Lo strumento non necessita di un basamento dedicato.