

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A FATICA DI
COMPONENTI OTTENUTI DA ADDITIVE MANUFACTURING

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Polo Giacomo*

Padova, 22/03/2024

OBIETTIVI:

- Introduzione all'Additive Manufacturing e alle principali tecnologie utilizzate per ottenere componenti metallici.
- Studio dei principali difetti di produzione e analisi dei fattori che influenzano la vita a fatica dei componenti additive.
- Confronto sulla resistenza a fatica di materiali metallici lavorati attraverso tecnologie di stampa additiva e tecnologie tradizionali. I materiali analizzati sono: Ti-6Al-4V, AlSi10Mg, 18Ni300.
- Analisi del comportamento a fatica di strutture reticolari prodotte da additive manufacturing, utilizzate per impianti ossei e protesi in ambito biomedico.



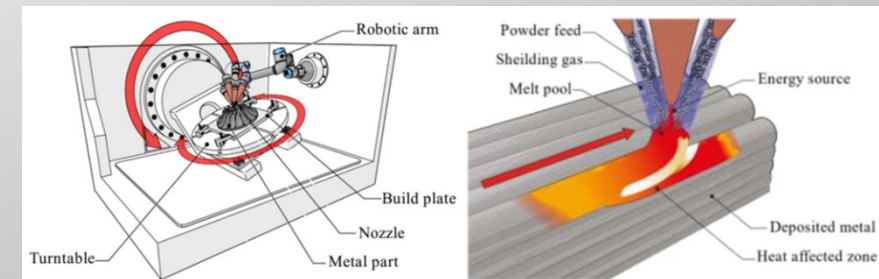
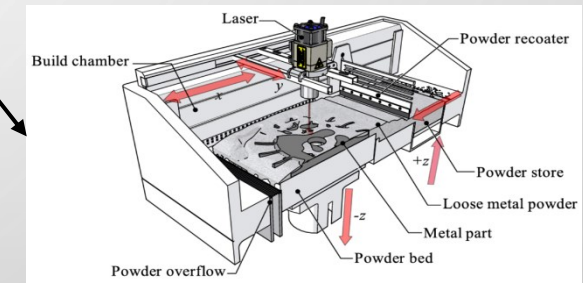
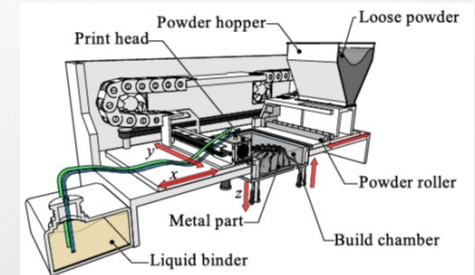
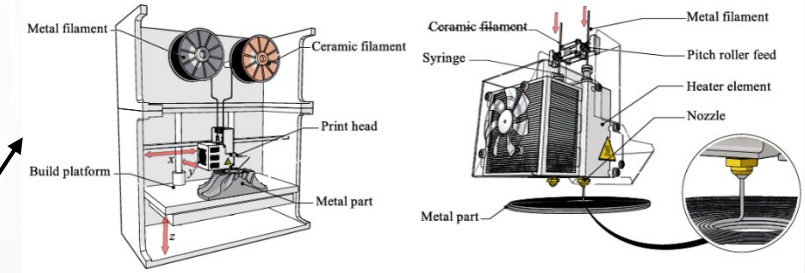
PERCHÉ?

- Tecnologie molto recenti e ancora in fase di ricerca e sviluppo.
- Grande interesse e potenziale in diversi ambiti, soprattutto quello **aerospace** e **biomedico**.

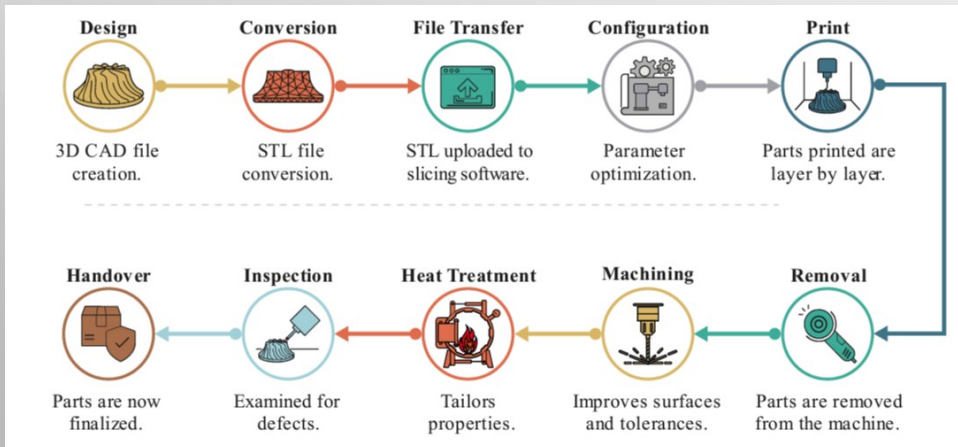
DEFINIZIONE: per Additive Manufacturing (AM) si intende il processo di unione di materiali volto a creare componenti a partire dai dati di modelli 3D, generalmente strato su strato, in contrapposizione alle tecnologie di produzione sottrattiva e formativa.

TECNOLOGIE:

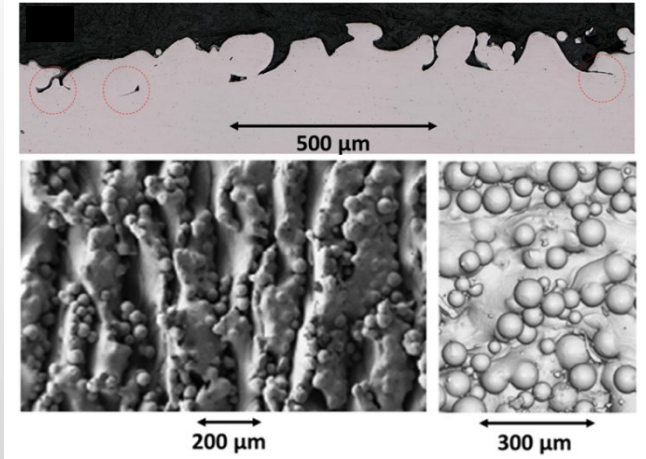
- Material Extrusion (ME)
- Binder Jetting (BJ)
- Powder Bed Fusion (PBF)
- Directed Energy Deposition (DED)



FASI DEL PROCESSO DI STAMPA ADDITIVA



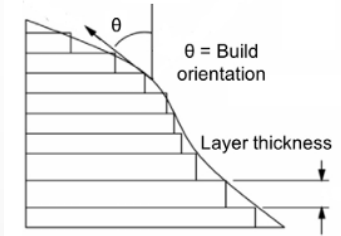
RUGOSITÀ SUPERFICIALE



Dovuta
a

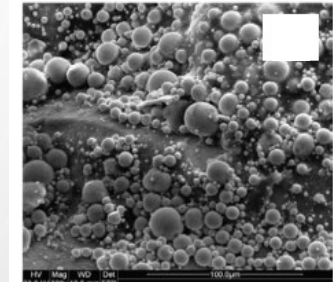
GEOMETRIA
COMPONENTE

Stair Step Effect

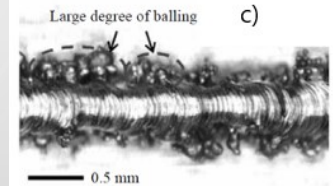


PARAMETRI DI
PROCESSO

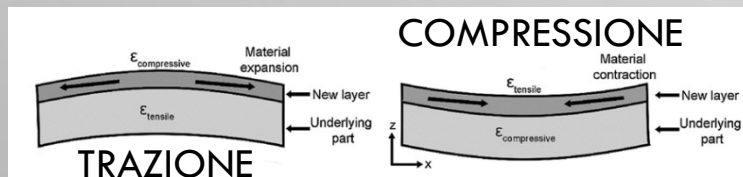
Fusione Parziale
delle polveri



Balling



TENSIONI RESIDUE

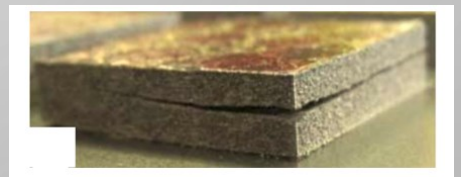


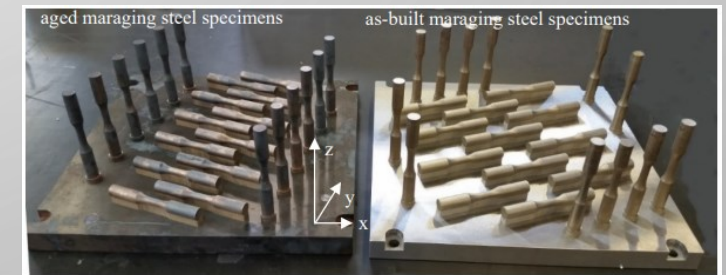
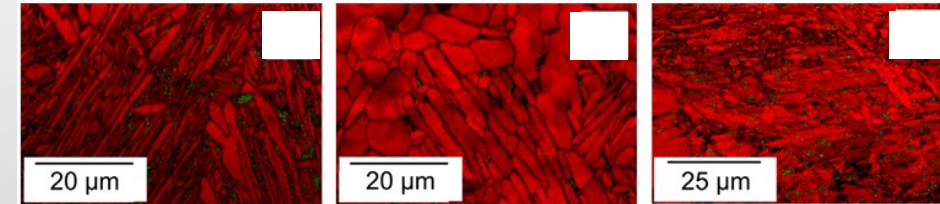
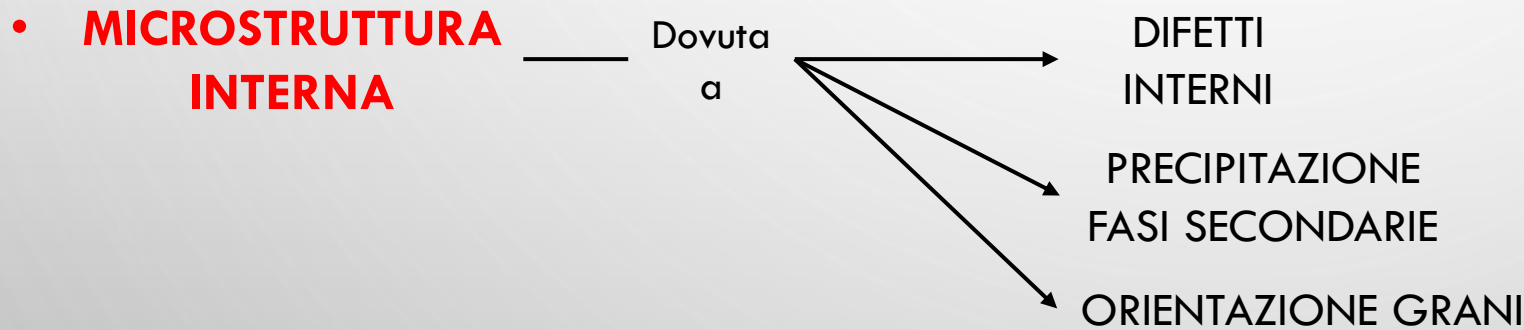
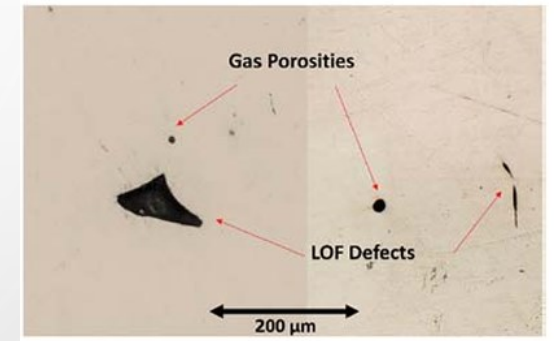
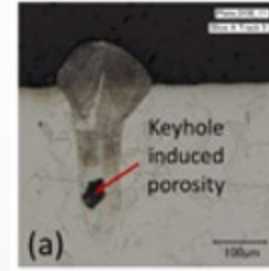
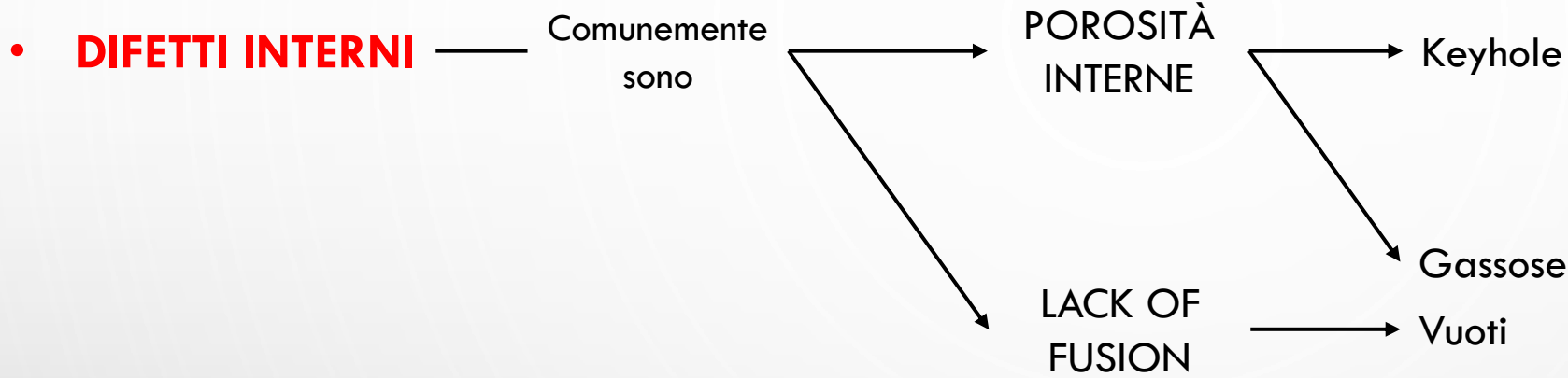
Dovute
a

RITIRI TERMICI E
VOLUMETRICI
DIFFERENZIATI

Microcricche già
innescate

Delaminazione





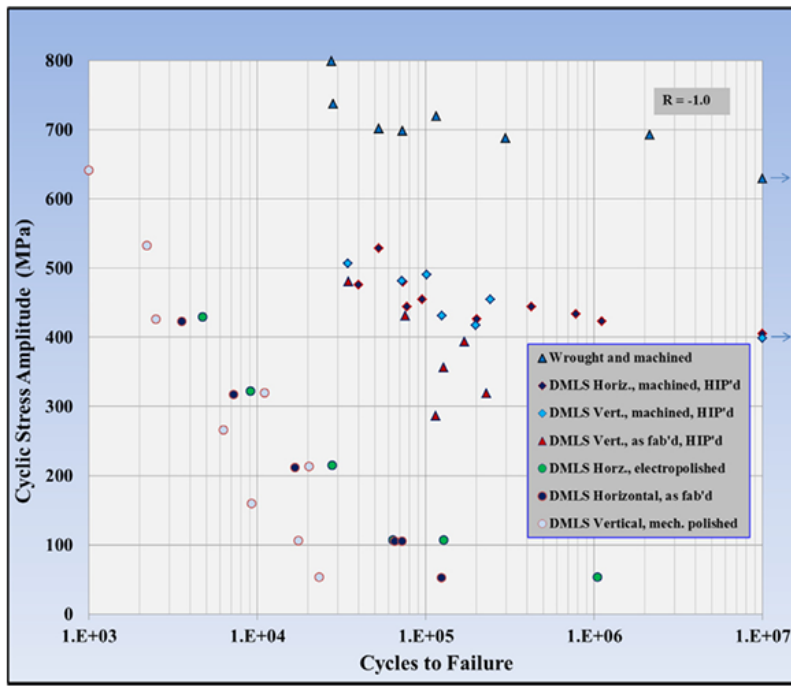
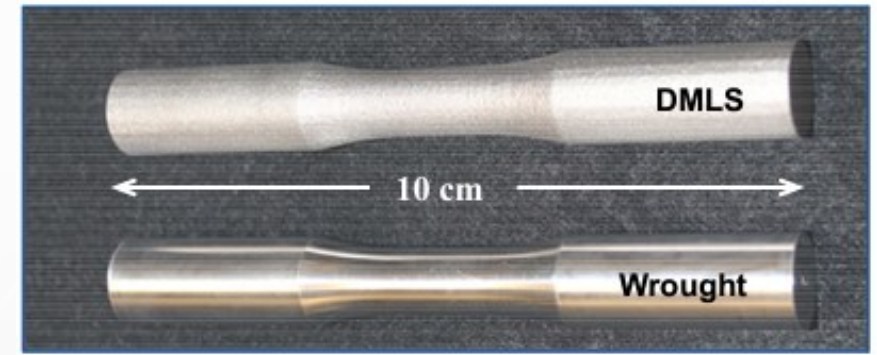
PROVINI AM:

- Ottenuti tramite DMLS.
- Forma ad «osso di cane» con diametro di 12,5mm e lunghezza 100mm.
- Orientazione di stampa: sia verticale (0°) che orizzontale (90°).
- Trattamenti: HIP, lucidatura elettrochimica ($10\text{-}15\mu\text{m}$), metodo meccanico.

PROVINI TRADIZIONALI:

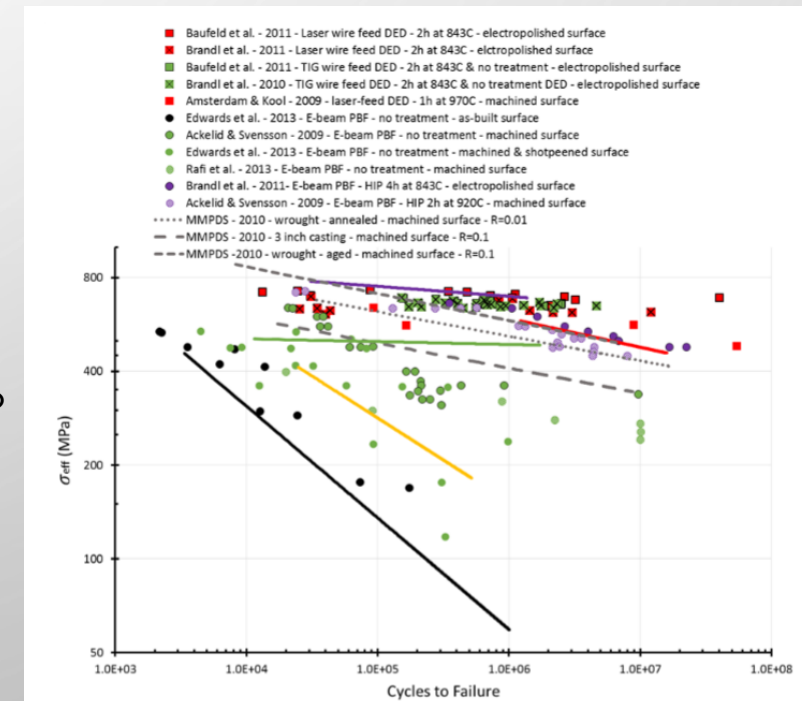
- Ottenuti da barre trafilate
- Lucidati con grane via via più fini

PROVA: Flessione rotante, $R = -1$, Frequenza di carico 25Hz



RISULTATI:

- Provini AM non lavorati presentano caratteristiche di resistenza a fatica inferiori di almeno 600MPa rispetto ai provini convenzionali.
- La lucidatura elettrochimica migliora le caratteristiche di resistenza a fatica.
- Tramite l'HIP si registra un aumento della vita a fatica di circa 400MPa, rispetto ai provini non trattati, ed una diminuzione di circa 200MPa rispetto ai provini convenzionali.
- L'orientazione influenza in maniera relativa la vita a fatica del provino.
- Tecnologie diverse di produzione conducono a risultati differenti;



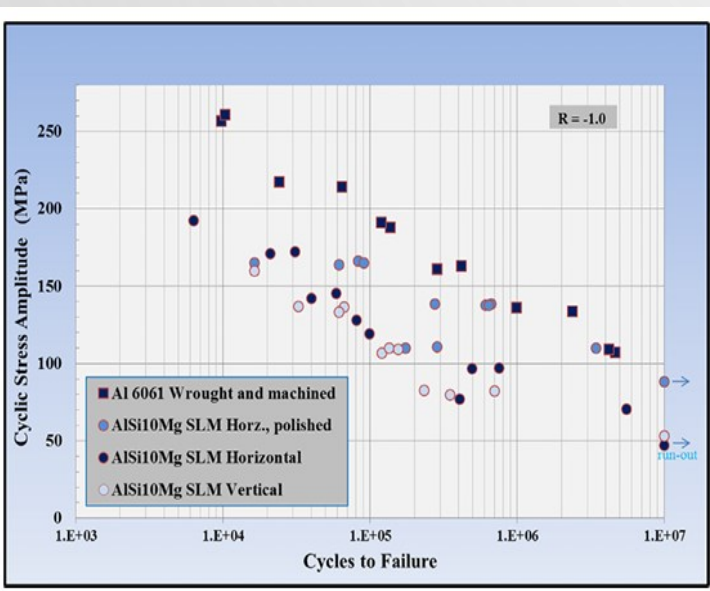
PROVINI AM:

- Ottenuti tramite DMLS
- Forma ad «osso di cane» con diametro di 12,5mm e lunghezza 100mm.
- Orientazione di stampa: sia verticale (0°) che orizzontale (90°).
- Trattamenti: lucidatura elettrochimica ($10-15\mu\text{m}$).

PROVINI TRADIZIONALI:

- Alluminio Al6061.
- Ottenuti da barre trafilate.
- Lucidati con grane via via più fini.

PROVA: Flessione rotante, $R = -1$, Frequenza di carico 25Hz

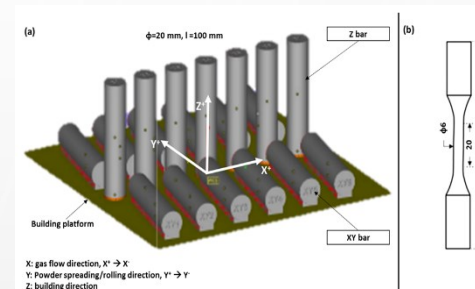


RISULTATI:

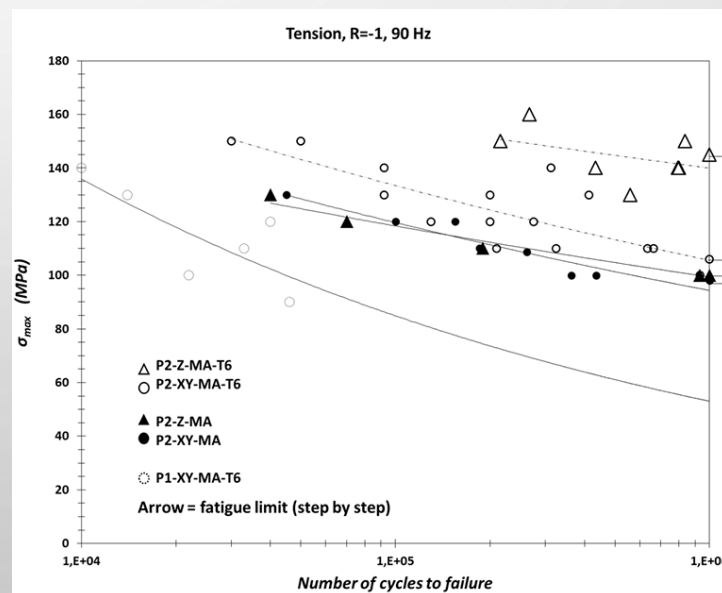
- Vita a fatica sempre inferiore rispetto alle lavorazioni convenzionali. Ampiezza massima ridotta di circa il 30% a parità di cicli a rottura.
- Lucidatura elettrochimica migliora i risultati sperimentali soprattutto per elevati numeri di cicli a rottura. Riduzione di circa 30MPa rispetto ai provini in Al6061 e aumento di circa 50MPa rispetto ai provini non lavorati.
- L'orientazione di stampa gioca un ruolo marginale.

PROVINI AM:

- Ottenuti da barre cilindriche con asse parallelo (XY) e perpendicolare (Z) alla piattaforma di costruzione.
- Tutti hanno subito una lavorazione meccanica per asportazione di truciolo (MA).
- Alcuni hanno subito un trattamento termico T6.
- Parametri di stampa ottimali (P2) e non ottimali (P1).



PROVA: Trazione-Compressione, $R = -1$, Frequenza di carico 90 HZ



RISULTATI:

- P1-XY-MA-T6 mostra i risultati sperimentali peggiori.
- P2-XY-MA e P2-Z-MA mostrano andamenti molto simili; ancora una volta l'orientazione di stampa gioca un ruolo marginale.
- L'orientazione di stampa gioca un ruolo fondamentale a seguito del trattamento termico T6.
- P2-XY-MA-T6 ha un'ampiezza di carico, a parità di cicli a rottura, più elevata del 20% rispetto a P2-XY-MA.
- P2-XY-Z-T6 ha un'ampiezza di carico, a parità di cicli a rottura, più elevata del 45% rispetto a P2-Z-MA.

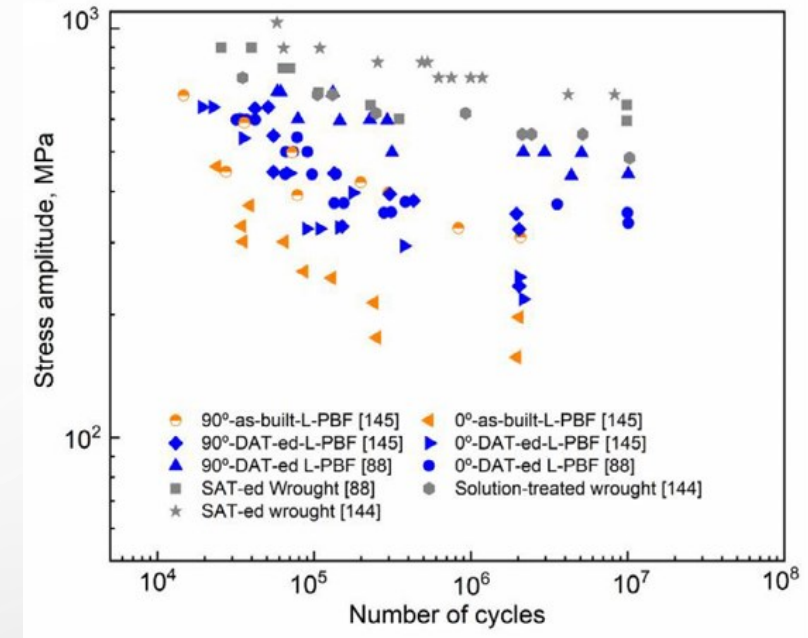
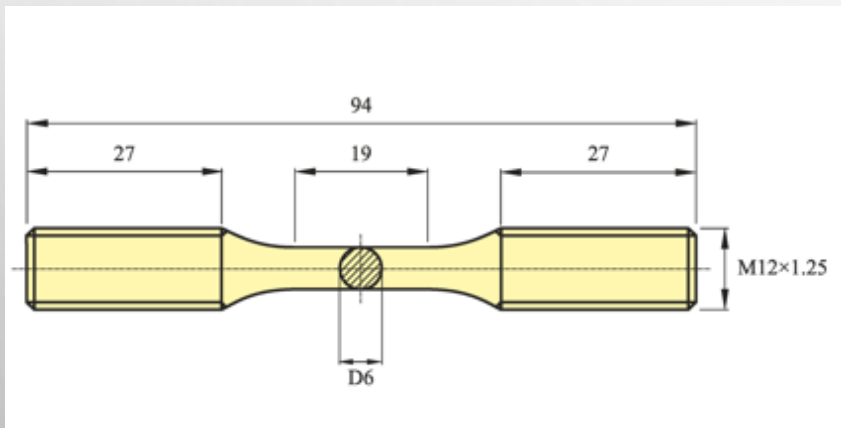
PROVINI AM:

- Ottenuti tramite L-PBF.
- Forma ad «osso di cane» con diametro di 6mm e lunghezza 94mm.
- Orientazione di stampa: sia verticale (90°) che orizzontale (0°).
- Trattamenti: lucidatura superficiale a specchio per tutti, DAT.

PROVINI TRADIZIONALI:

- Trattamenti termici: SAT.

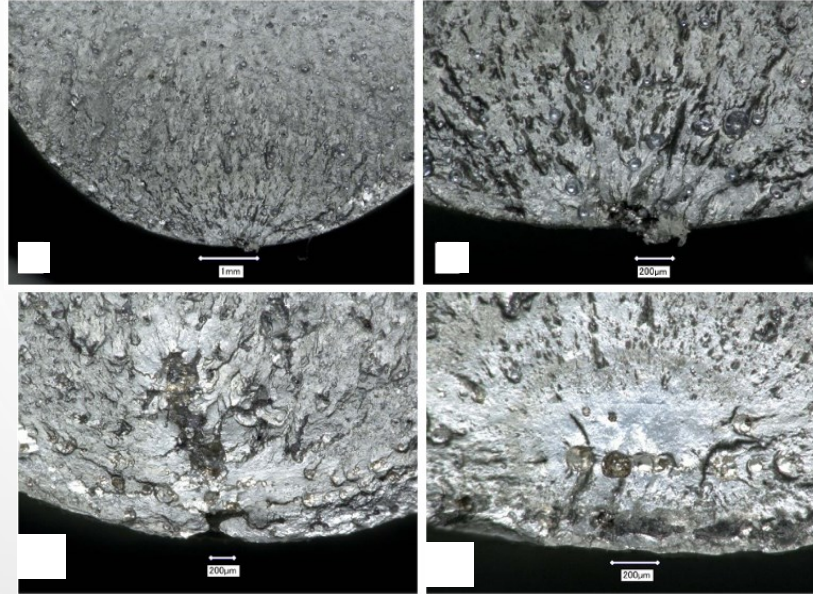
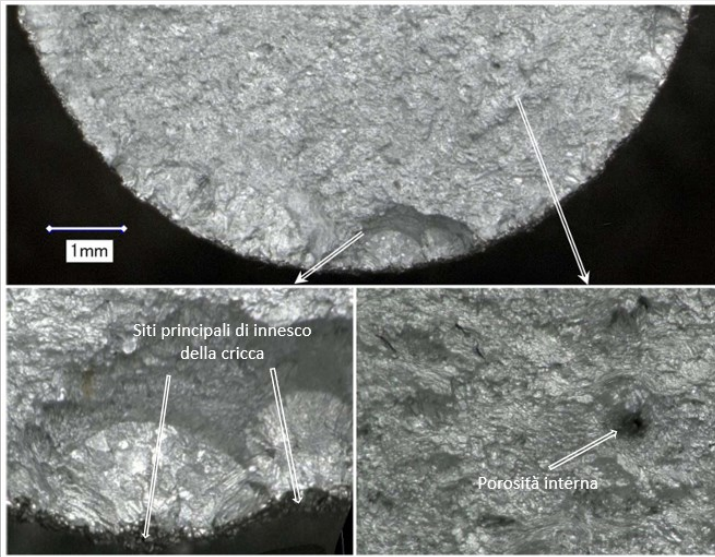
PROVA: Trazione-Compressione, $R = -1$



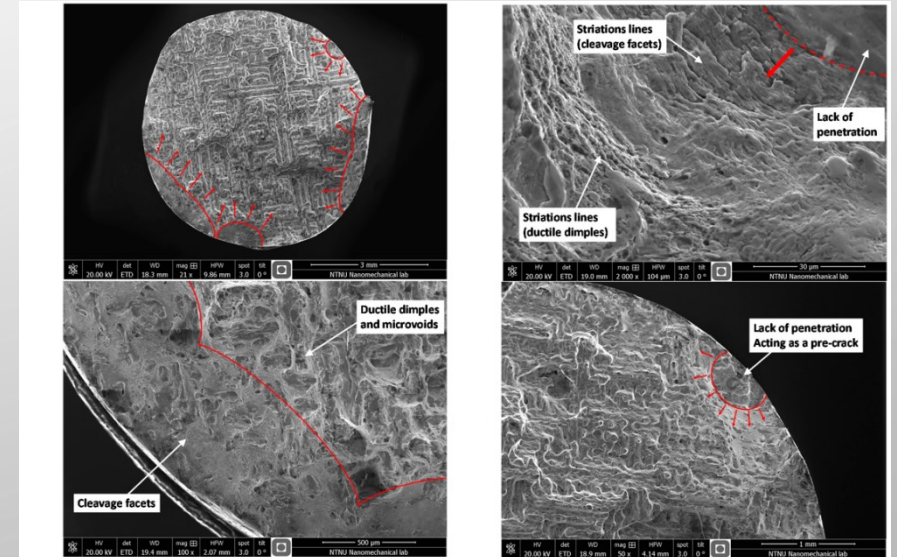
RISULTATI:

- Vita a fatica sempre inferiore rispetto ai provini ottenuti tramite lavorazioni convenzionali.
- L'orientazione di stampa svolge un ruolo fondamentale nella vita a fatica dei provini.
- Nelle condizioni «as-built» i provini a 90° registrano un incremento del 50% della vita a fatica rispetto ai provini orizzontali 0°, (quasi 300MPa contro 200MPa per $N = 2 \cdot 10^6$).
- Il trattamento Direct Aging Treatment (DAT) produce un miglioramento di prestazioni per entrambe le orientazioni di stampa.
- A seguito del trattamento DAT i provini orizzontali registrano un incremento della vita a fatica del 40% rispetto a quelli non trattati, ($\approx 380\text{MPa}$ contro circa 270MPa per $N = 10^5$ cicli).
- A seguito del trattamento DAT i provini verticali registrano un incremento della vita a fatica del 45% rispetto a quelli non trattati, ($\approx 600\text{MPa}$ contro circa 410MPa per $N = 2 \cdot 10^5$ cicli).

Ti-6Al-4V



18Ni300

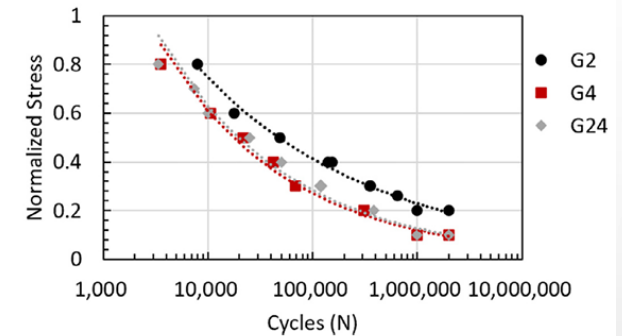
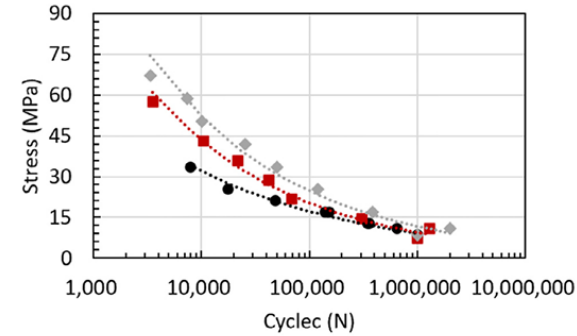
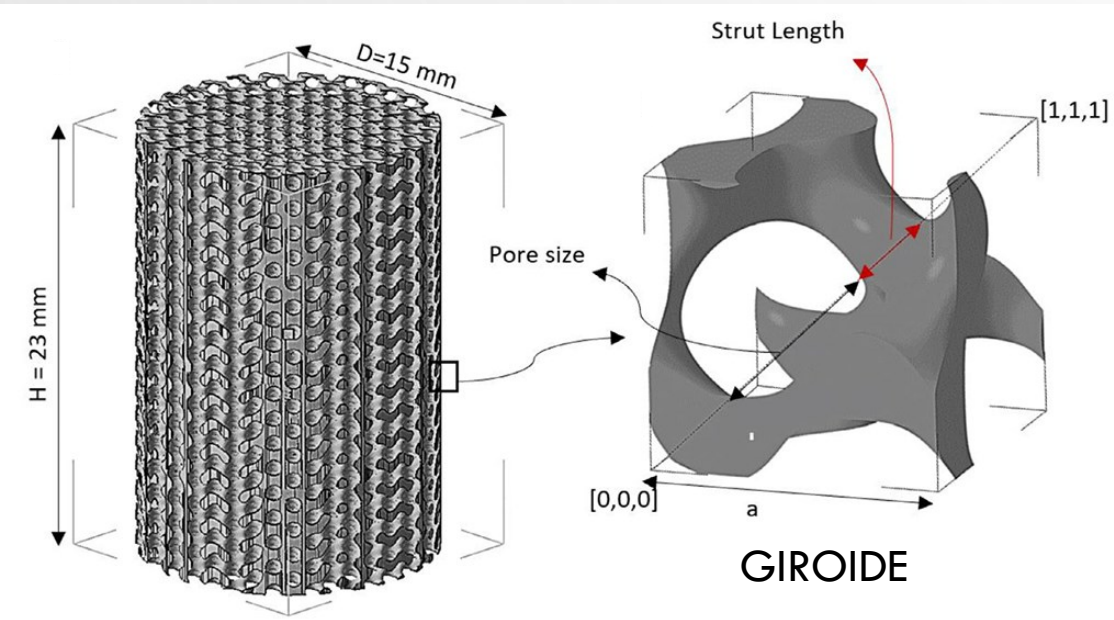


AlSi10Mg



PROVINI:

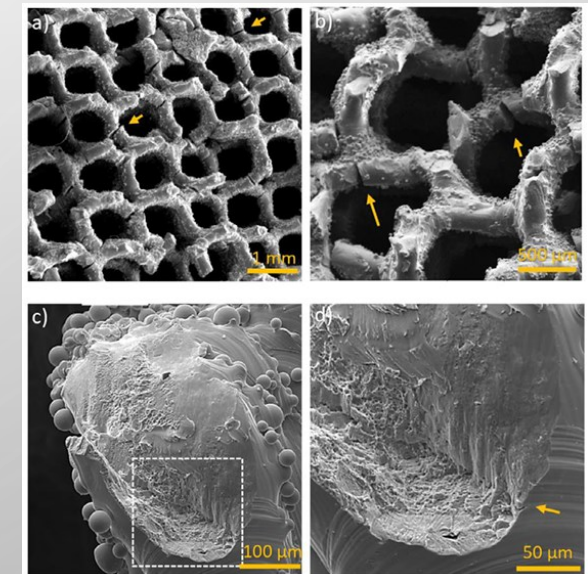
- Ottenuti tramite SLM.
- Forma cilindrica con diametro di 15mm e lunghezza 23mm.
- Cella di base: Giroide
- Tre tipi di celle di base:
 - G2 con porosità uniforme e spessore della struttura di 200 μ m.
 - G4 con porosità uniforme e spessore della struttura di 400 μ m.
 - G24 con porosità graduata e spessore della struttura pari a 400 μ m ai bordi e 200 μ m nel centro.



RISULTATI:

- Il provino con cella base G24 presenta le migliori caratteristiche di resistenza a fatica rispetto alle celle G2 e G4.
- Guardando la curva normalizzata, però, il comportamento migliore è registrato dalla cella base G2.

ROTTURA A FATICA

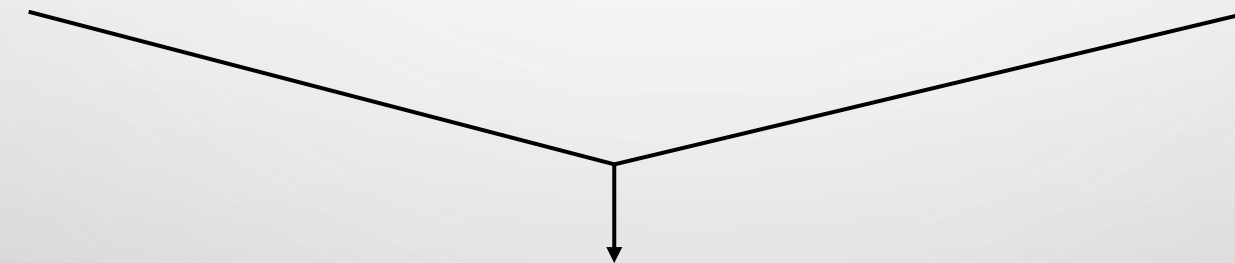


VANTAGGI:

- Complessità Geometrica e possibilità di realizzare strutture reticolari interne.
- Flessibilità produttiva sia per la produzione su richiesta, sia in ambito di ricerca.
- Riduzione rapporto BUY-TO-FLY e costi più contenuti.
- Riduzione degli sprechi di materie prime costose.
- Costi di manutenzione minori.
- Riduzione del peso del componente.

SVANTAGGI:

- Caratteristiche di resistenza a fatica minori rispetto alle tecnologie tradizionali di lavorazione dei metalli.
- Difetti interni non sempre facilmente controllabili e identificabili.
- Microstruttura non omogenea.
- Tecnologie non adatte per lavorare tutti i tipi di materiale.



La storia recente e le ampie potenzialità che queste tecnologie possono portare in ambito industriale spingono la ricerca scientifica a soffermarsi in maniera incisiva sullo studio e risoluzione delle principali criticità.