

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

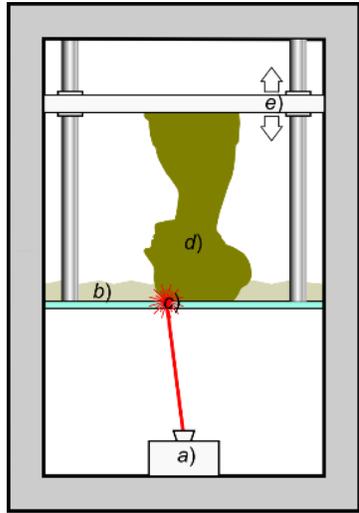
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

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

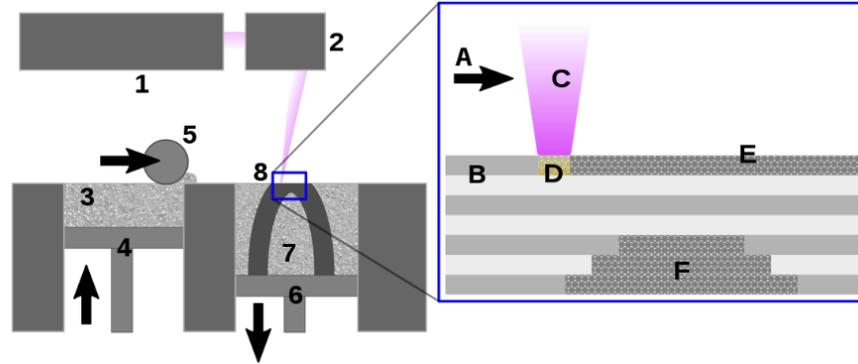
Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Alberto Bertin*

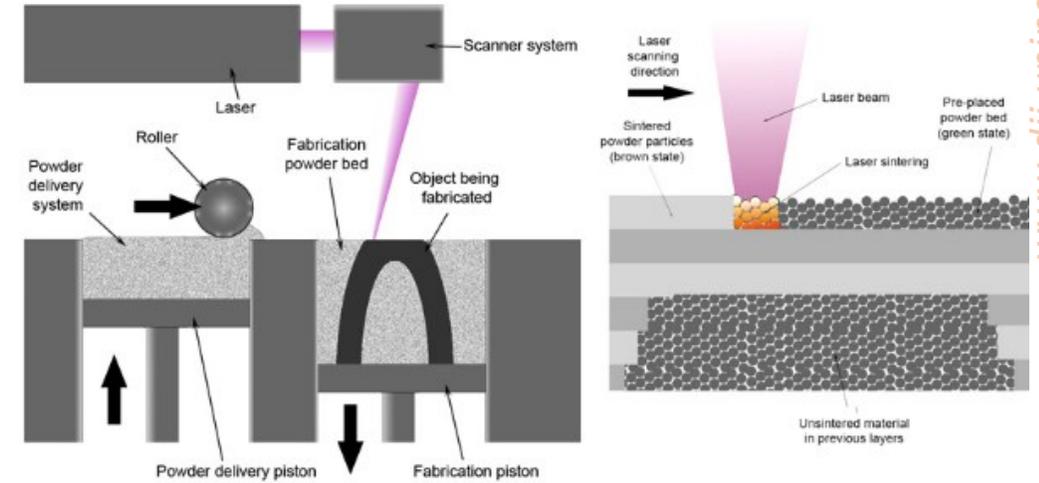
Padova, 13/03/2023



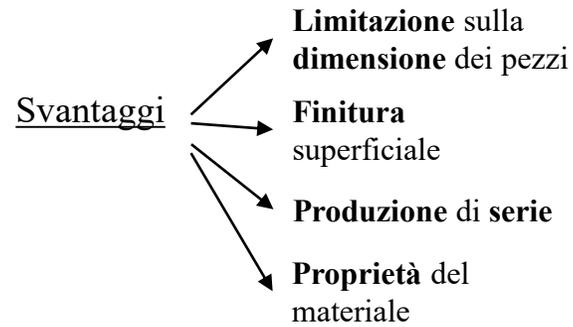
SLA



SLS



LPBF

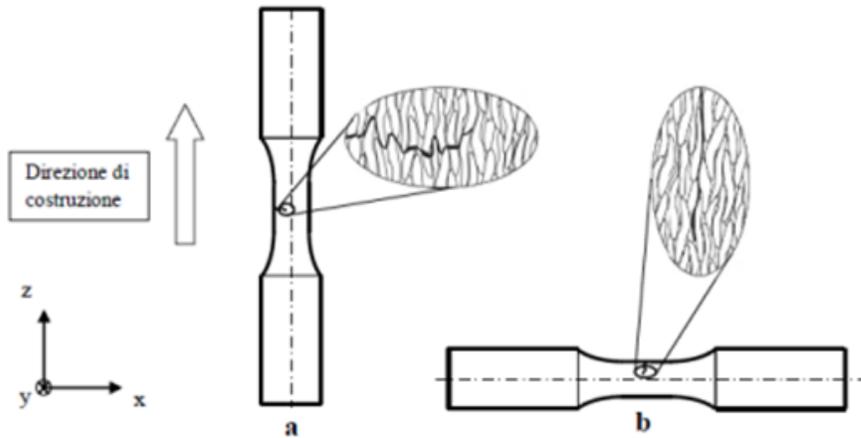


Obiettivi:

- Ricerca dei parametri che influenzano la vita a fatica.
- Studio/analisi del comportamento statico e a fatica di:
 - Lega Ti-6Al-4V
 - AISI316L
 - Lega AlSi10Mg
- Analisi dei vantaggi e svantaggi

La **vita a fatica** di un componente prodotto in modo additivo può essere **influenzata** da diversi fattori:

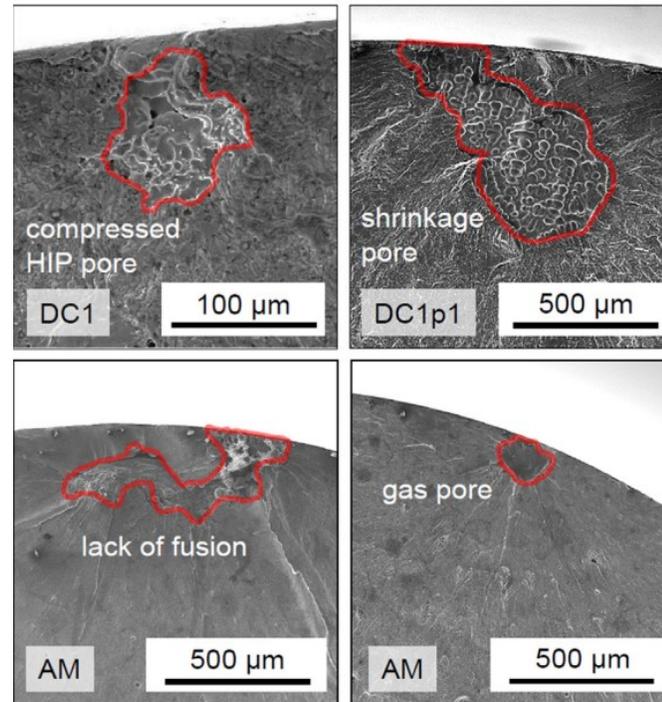
- **Qualità delle polveri** utilizzate per la stampa: dimensioni dei grani, grado di impaccettamento e forma delle particelle.
- **Difetti**: forma, posizione e dimensione di essi.
- Orientamento della **direzione di costruzione rispetto al carico applicato**.
- **Rugosità superficiale**.



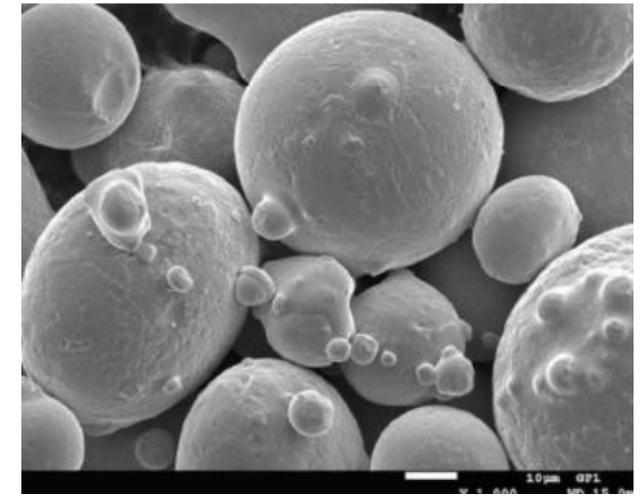
Direzione di costruzione in funzione del carico applicato

Tecnologia di Additive Manufacturing	Dimensione della polvere
EBM (Electron Beam Melting)	45-100 μm
LPBF (Laser Powder Bed Fusion)	15-45 μm
LD (Laser Deposition)	25-45 μm

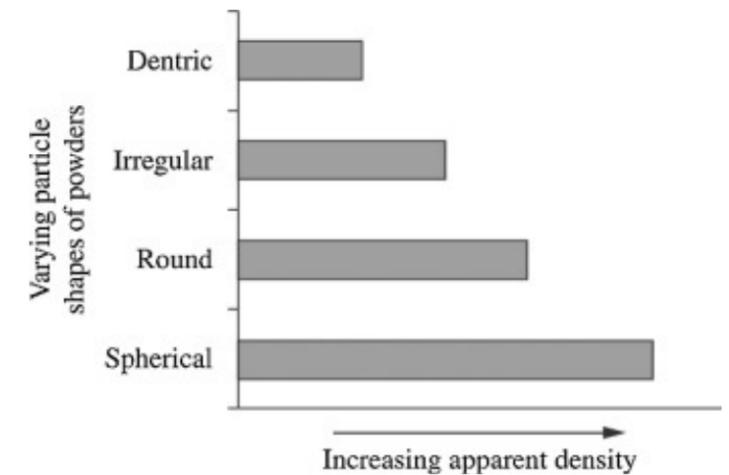
Dimensioni delle polveri



Difetti interni



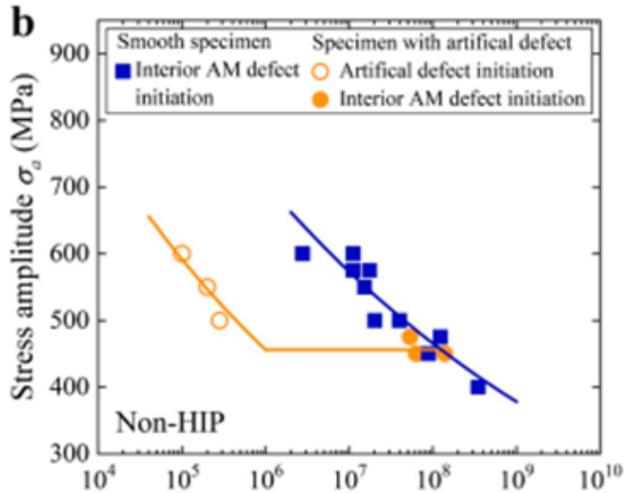
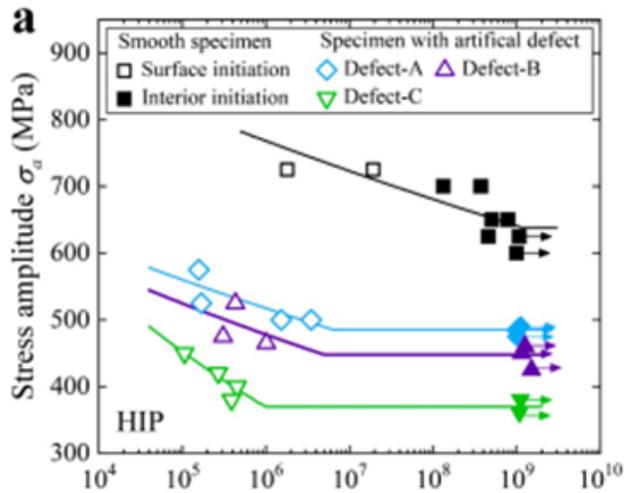
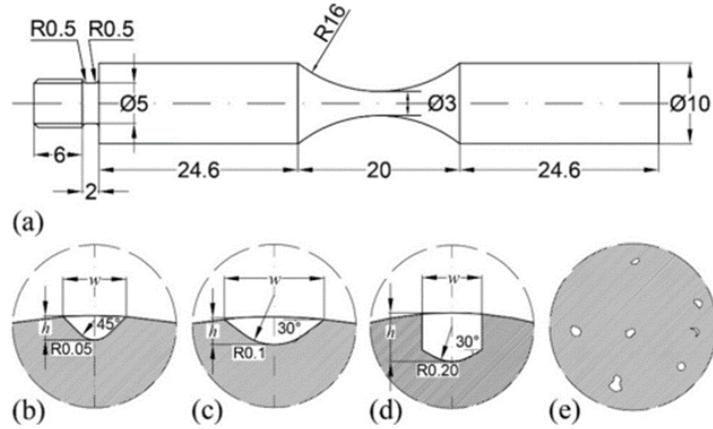
Satelliti sulla superficie delle particelle



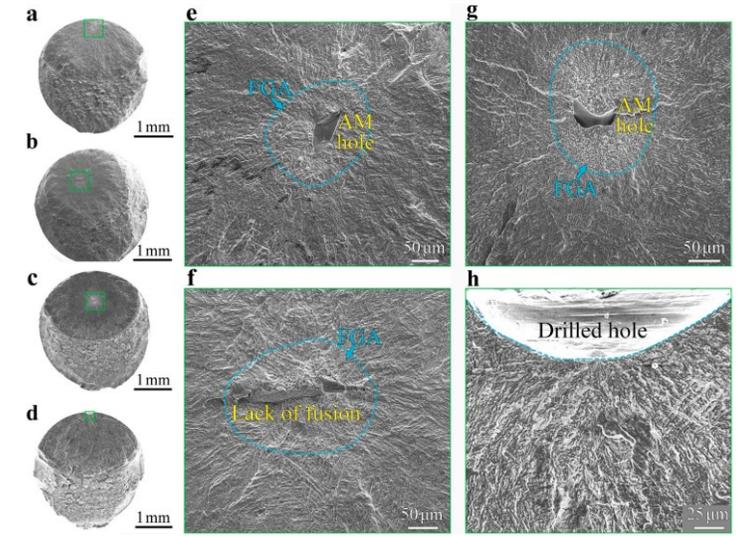
Morfologia della polvere sulla densità apparente

- I provini sono stati prodotti utilizzando la tecnica **LPBF**.
- Vengono considerati due lotti di provini: **HIP** e **no-HIP**.
- I provini vengono forati: **tre diverse geometrie di difetto superficiale artificiale**.

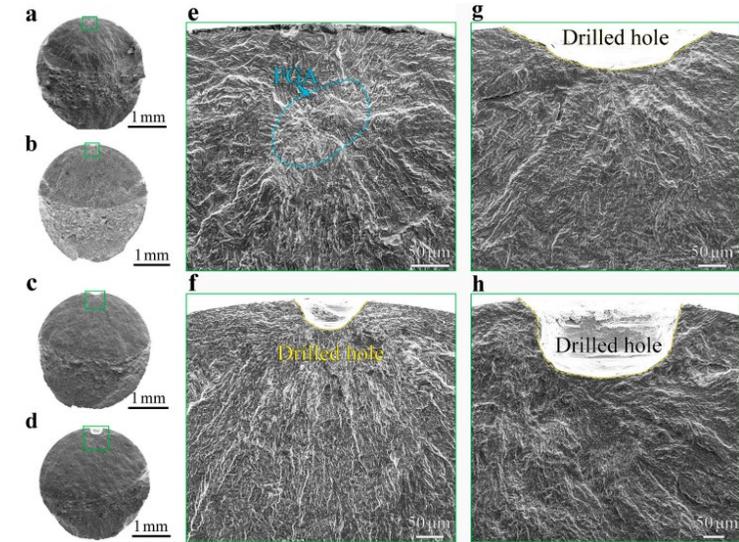
Provino per la prova di fatica



Curve di fatica



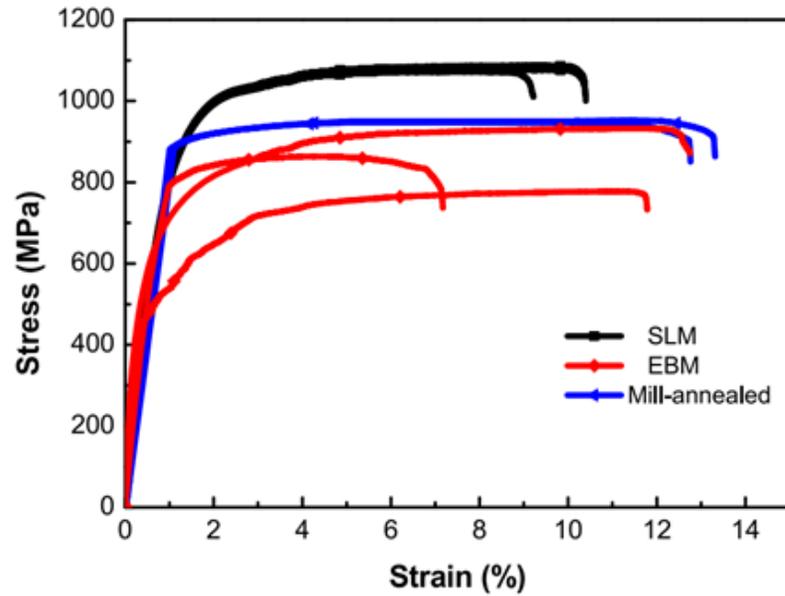
Superficie di frattura provini no-HIP



Superficie di frattura provini HIP

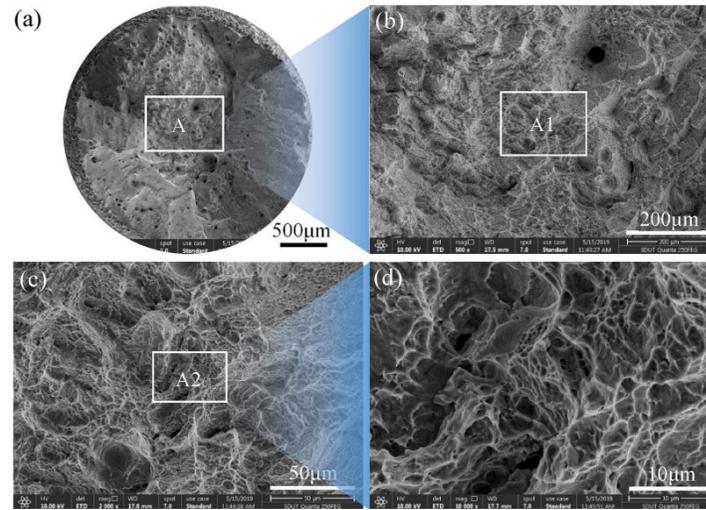
Per la **statica** della **lega di titanio** è stata eseguita la prova di trazione su provini prodotti tramite:

- **EBM** (Electron Beam Melting)
- **SLM** (Selective Laser Melting)
- **Laminazione**

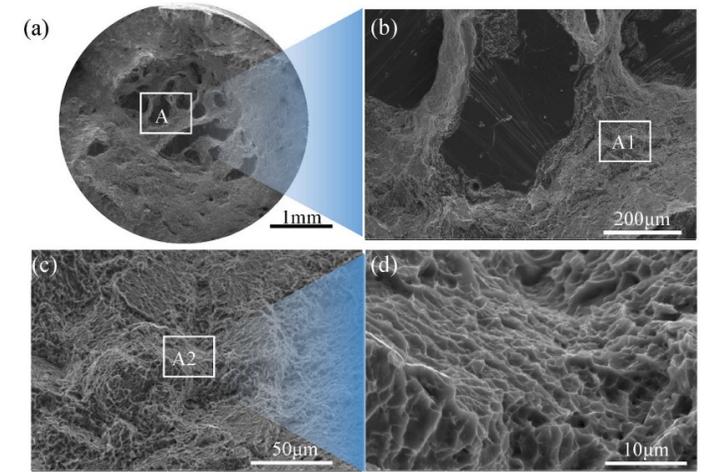


Curva tensione-deformazione

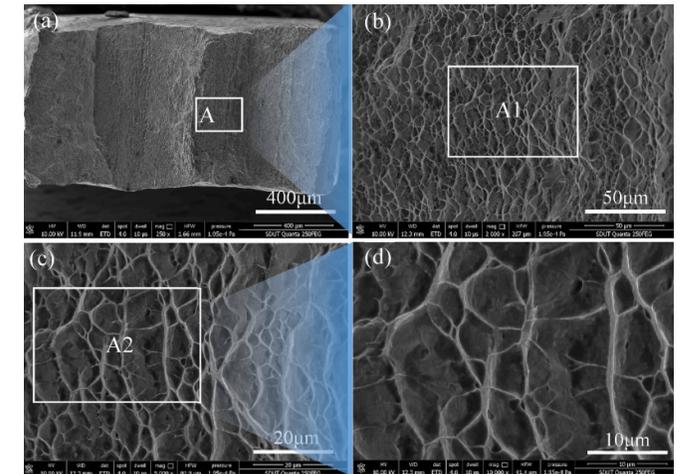
Processing	σ_y (MPa)	σ_{uts} (MPa)	ϵ fracture (%)
SLM	982.3	1071.4	9.2
SLM	1035.7	1086.2	10.4
SLM	999.8	1076.2	10.3
EBM	524.2	912.0	13.7
EBM	644.7	777.8	12.2
EBM	780.0	864.0	7.0
Mill-annealed	885.4	952.9	12.9
Mill-annealed	873.6	947.9	13.3



Superficie di frattura SLM



Superficie di frattura EBM



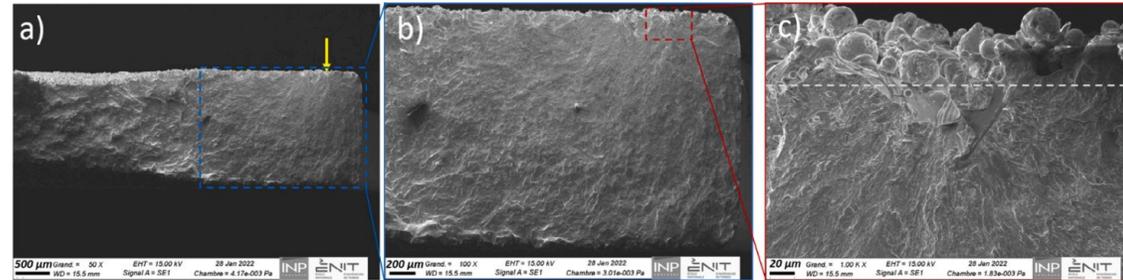
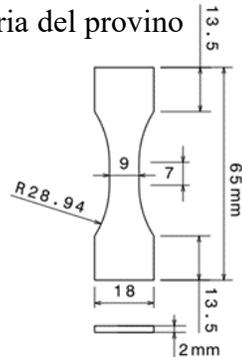
Superficie di frattura Mill-annealed

- I componenti in acciaio inossidabile AISI316L sono **prodotti** tramite **laminazione** e stampa **LPBF**.
- Vengono analizzati provini: laminati a freddo e ricotti, stampati additivamente e componenti saldati tramite la tecnica della saldatura laser autogena.
- Rapporto di ciclo $R = 0,1$ e il numero di cicli è $N = 10^6$.

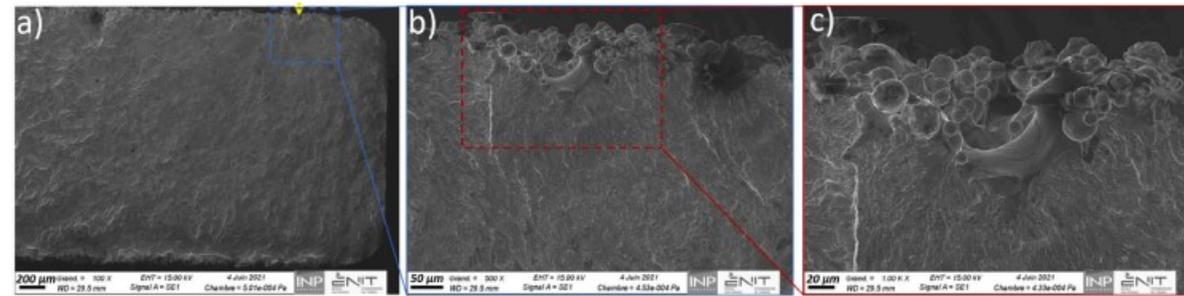
Batch	Loading at failure σ_u (MPa)	Step N°	N_f ($\times 10^5$)	Estimated fatigue strength (MPa)	Topography	Mean fatigue strength/ batch (MPa)
RP	235	6	2.32	234		224
	215	1	9.79	214 NV		
RW	160	4	2.33	152		135
	140	2	3	131		
	140	2	4.65	122		
RWP	120	2	6.41	118		136
	160	4	6.44	161		
	140	3	2.42	131		
AMAB	100	2	3.54	92		95
	100	2	8.5	101		
	100	2	3.16	91		
AMP	140	4	7.7	140 NV		130
	120	2	8.21	120		
AMW	100	2	3.29	92		88
	100	2	2.87	90		
	100	2	0.6	83		
AMWP	120	3	9.34	121 NV		130
	140	3	6.31	138		

- RP → Laminata
- RW → Laminata e saldata
- RWP → Laminata, saldata e lucidata
- AMAB → LPBF
- AMP → LPBF e lucidato
- AMW → LPBF e saldato
- AMWP → LPBF, saldato e lucidato

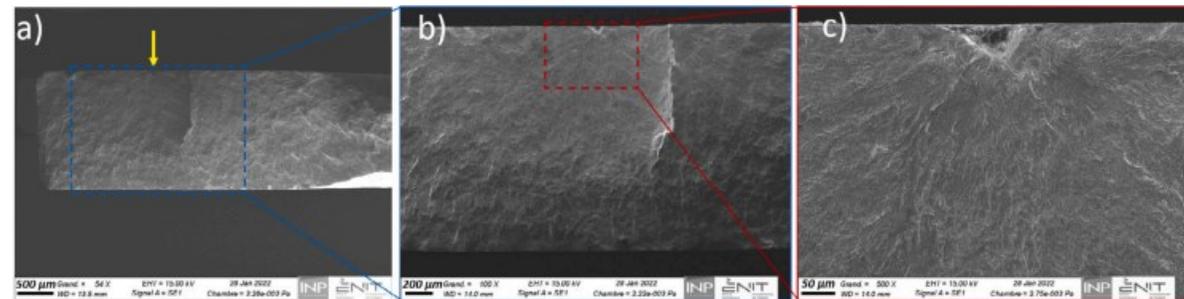
Geometria del provino



Frattografia AMAB



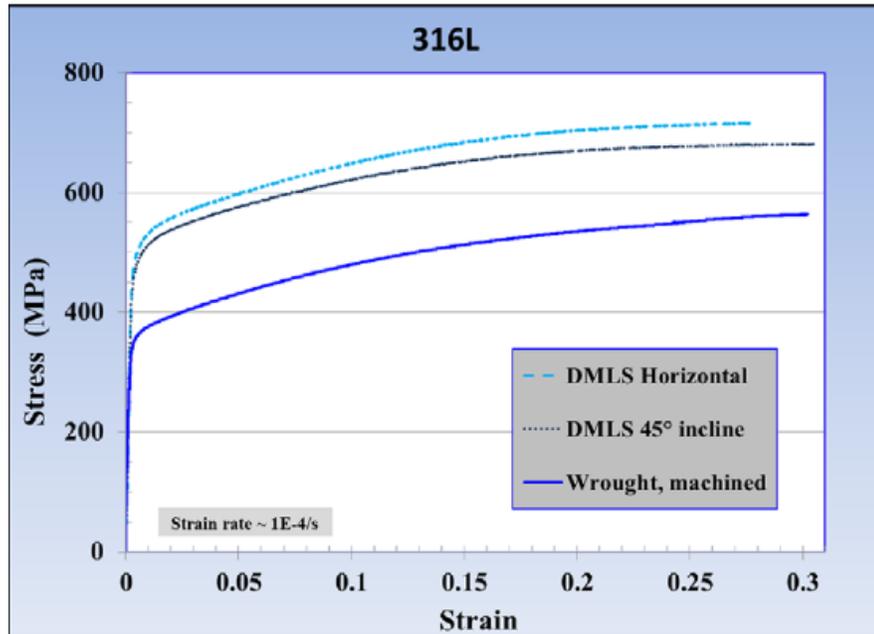
Frattografia AMW



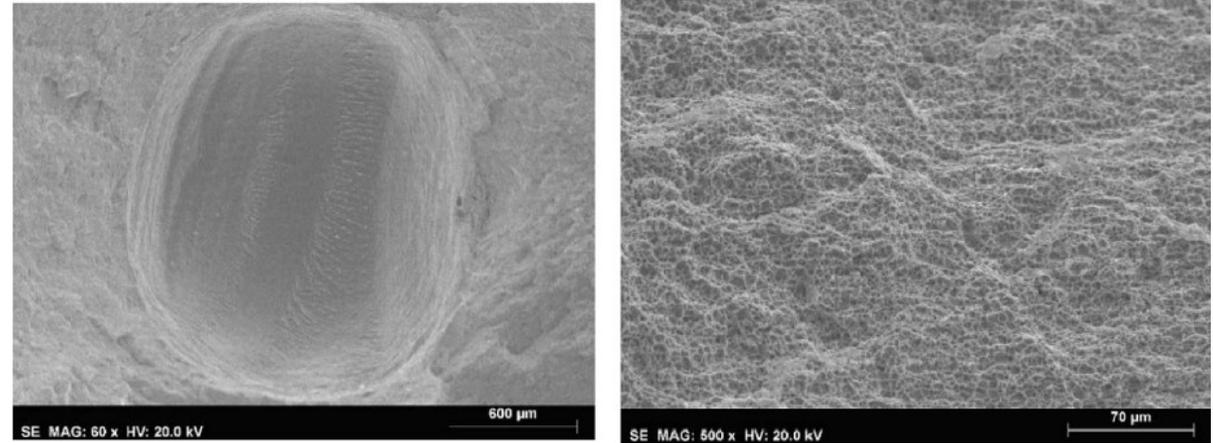
Frattografia AMP

È stata eseguita la **prova di trazione statica** su provini prodotti tramite:

- Tecniche **tradizionali**: tornitura
- **DMLS**



Curva tensione deformazione AISI316L prodotto con tecniche tradizionali (tornitura) e additive (DMLS)

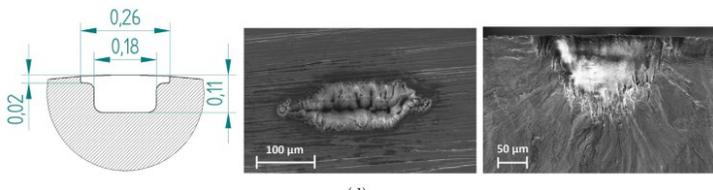
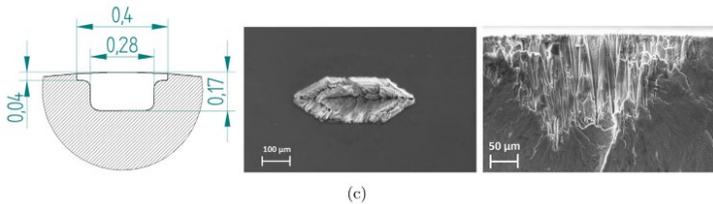
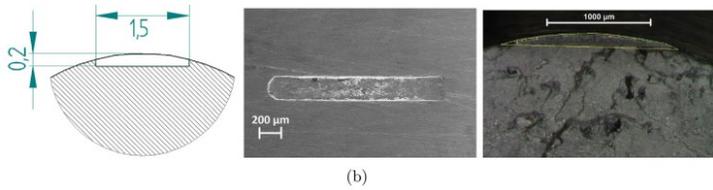
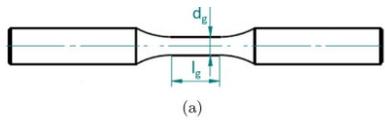


Superficie di frattura

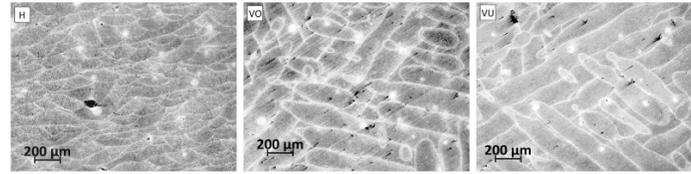
Material	Orientation	Modulus (GPa)	Yield (MPa)	Ultimate (MPa)	Failure strain
Wrought 316L	Longitudinal	187	345	563	~0.30
DMLS 316L	Horizontal	180	496	717	0.28
DMLS 316L	45° Incline	193	473	680	~0.30

Risultati della curva tensione deformazione

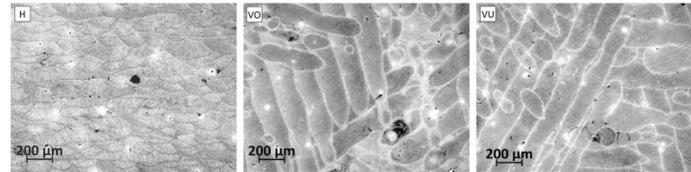
- Provini prodotti con la tecnica SLM.
- Tre processi P1, P2 e P3.
- Provini con difetti superficiali artificiali.



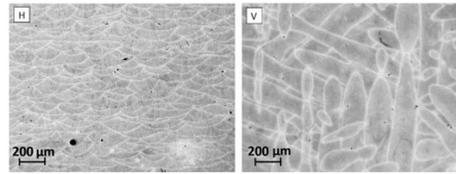
Provino e geometria del difetto superficiale



(a)

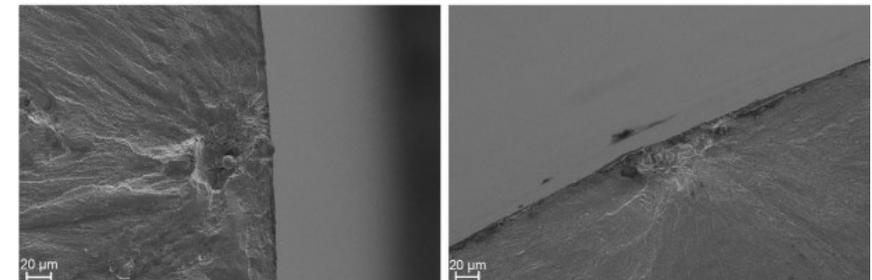
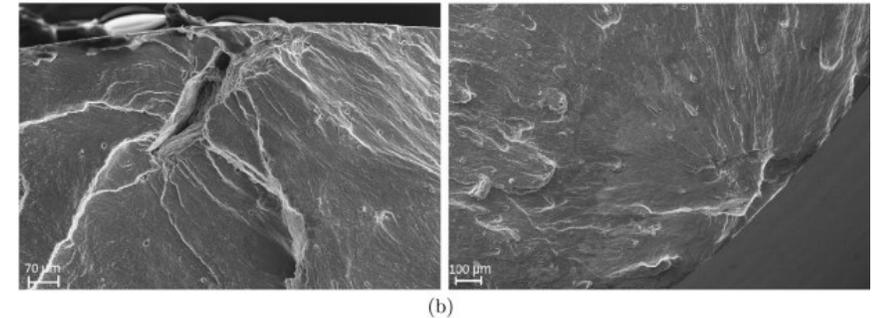
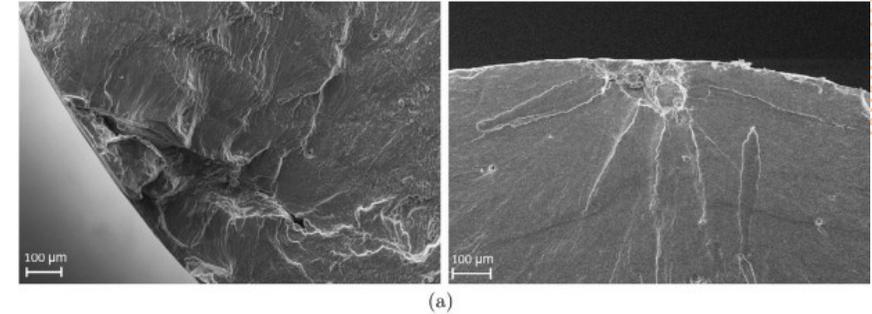


(b)



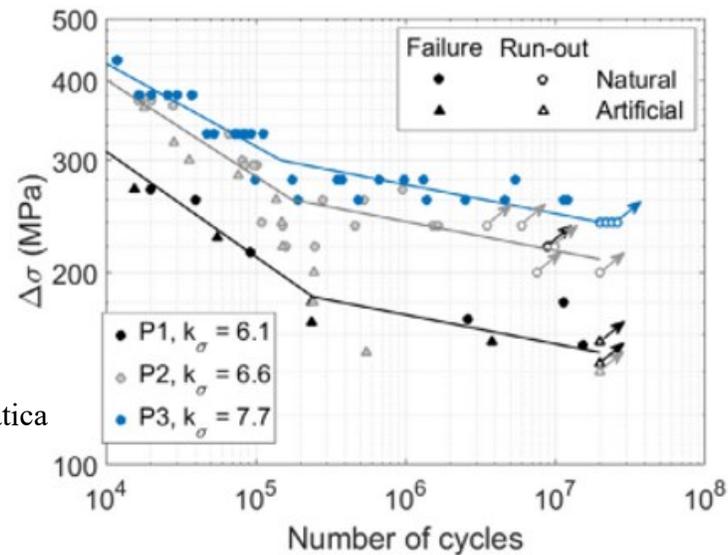
(c)

Microstruttura del materiale

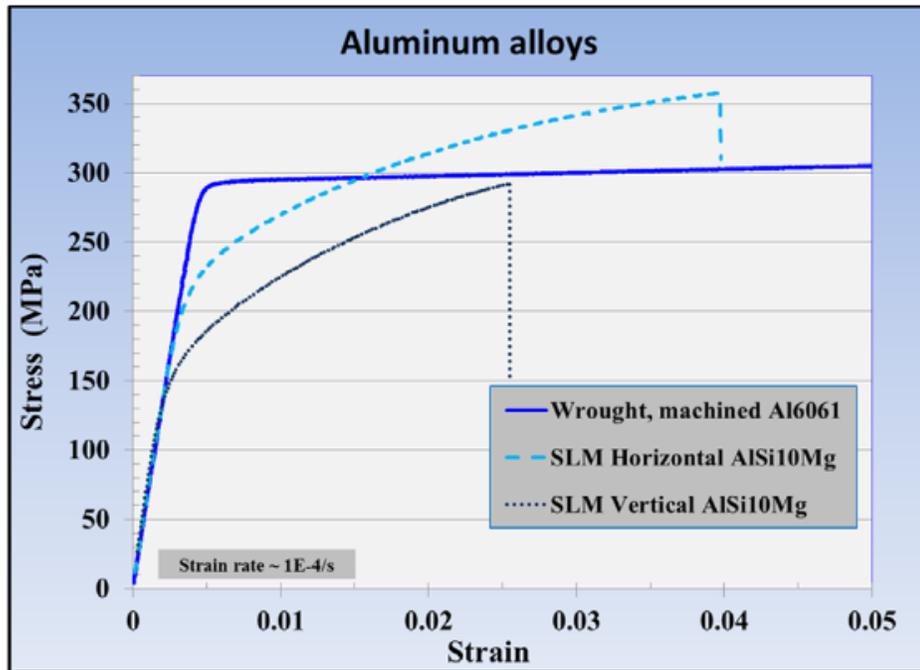


Difetti che portato il provino alla rottura

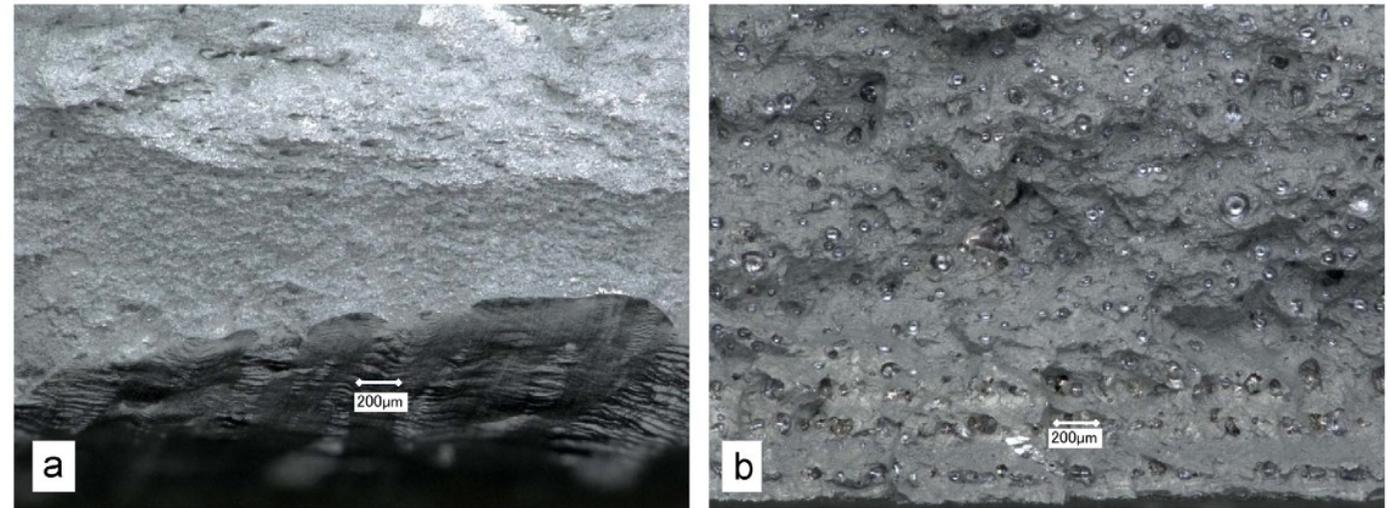
Curva di fatica



È stata eseguita la **prova statica di trazione** sia ad un provino prodotto additivamente (SLM) sia ad uno prodotto tramite **tornitura** ottenendo i seguenti risultati:



Curva tensione deformazione



Superficie di frattura

Material	Orientation	Modulus (GPa)	Yield (MPa)	Ultimate (MPa)	Failure strain
Wrought Al6061	Longitudinal	66.5	293	310	~0.15
SLM AlSi10Mg	Horizontal	65.5	227	358	0.039
SLM AlSi10Mg	Vertical	75.4	172	289	0.026

Risultati della prova di trazione

- Leghe di Ti:

- La tensione di snervamento (σ_y) e la tensione di rottura (σ_{uts}) di provini prodotti con prodotti con la tecnica SLM sono maggiori del 10% circa rispetto alle tecniche tradizionali.
- L'allungamento a rottura è del 25% inferiore usando la tecnica SLM rispetto alle tecnologie tradizionali.
- Il trattamento di pressatura idrostatica a caldo (HIP) migliora del 69% la resistenza a fatica del provino.

- Acciaio:

- La resistenza a fatica di componenti stampati additivamente (lucidati, saldati e non) è del 42% inferiore rispetto a quelli ottenuti con tecniche tradizionali.
- I componenti prodotti additivamente (non lucidati, saldati e non) hanno una resistenza a fatica inferiore del 60% rispetto alle tecniche tradizionali.
- La tensione di snervamento (σ_y) di provini prodotti con la tecnica DMLS è del 30% maggiore rispetto alle tecniche tradizionali.
- La tensione di rottura (σ_{uts}) di provini prodotti con la tecnica DMLS è maggiore di circa il 20%.
- L'allungamento a rottura di provini prodotti con la tecnica DMLS è inferiore del 7% rispetto alle tecniche tradizionali.

- Leghe di AlSi:

- La differenza media tra la vita a fatica di campioni orizzontali e verticali è:
 - 5% per il processo 1
 - 23% per il processo 2
 - 28% per il processo 3
- La tensione di snervamento (σ_y) di provini prodotti con la tecnica SLM è del 22% circa inferiore rispetto alle tecniche tradizionali.
- La tensione di rottura (σ_{uts}) di provini prodotti con la tecnica SLM è del 15% circa maggiore rispetto alle tecniche tradizionali.
- L'allungamento a rottura di provini prodotti con la tecnica SLM è inferiore del 75% circa rispetto alle tecniche tradizionali.