www.dii.unipd.it

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Fabbricazione tramite tecniche di additive manufacturing di un acciaio bainitico nanostrutturato

Tutor universitario:

Ing. Franceschi Mattia

Ing. Pezzato Luca

Laureando*: Piazza Ginevra*

Padova, 14/03/2025

LASER-POWDER BED FUSION (L-PBF)

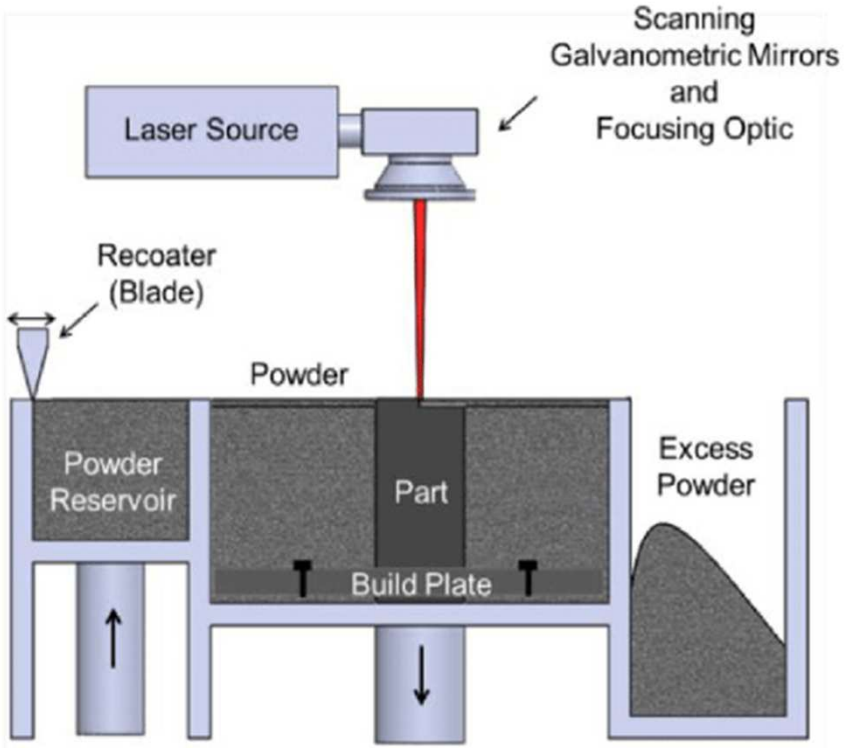
www.dii.unipd.it

Tecnica di Additive Manufacturing (AM) per materiali metallici :

Fusione di strati successivi di polveri metalliche (processo asincrono), su piattaforma di stampa, tramite laser ad alta intensità

VANTAGGI L-PBF :

- ✓ Possibilità di ottenere componenti metallici con geometrie complesse
- ✓ Tecnica adatta a molti tipi di materiali (acciaio, leghe di alluminio e titanio)
- ✓ Versatilità
- ✓ Idonea per la produzione di pezzi unici (prototipazione)



Schematic representation of the laser powder bed fusion (LPBF) process.

[1]Multi phenomena melt pool sensor data fusion for enhanced process monitoring of laser powder bed fusion additive manufacturing. A. Gaikwad, R.J. Williams, H. de Winton et al. Materials & Design 221 (2022)

LASER-POWDER BED FUSION (L-PBF)

www.dii.unipd.it

SVANTAGGI L-PBF :

- ✓ Cricche (a caldo, a freddo)
- ✓ Porosità (lack of fusion, keyhole)
- ✓ Stress residui
- ✓ Scarsa rifinitura superficiale
- ✓ Nel caso degli acciai : necessità di trattamenti termici post fabbricazione

(possibile struttura martensitica in acciai con elevata temprabilità)

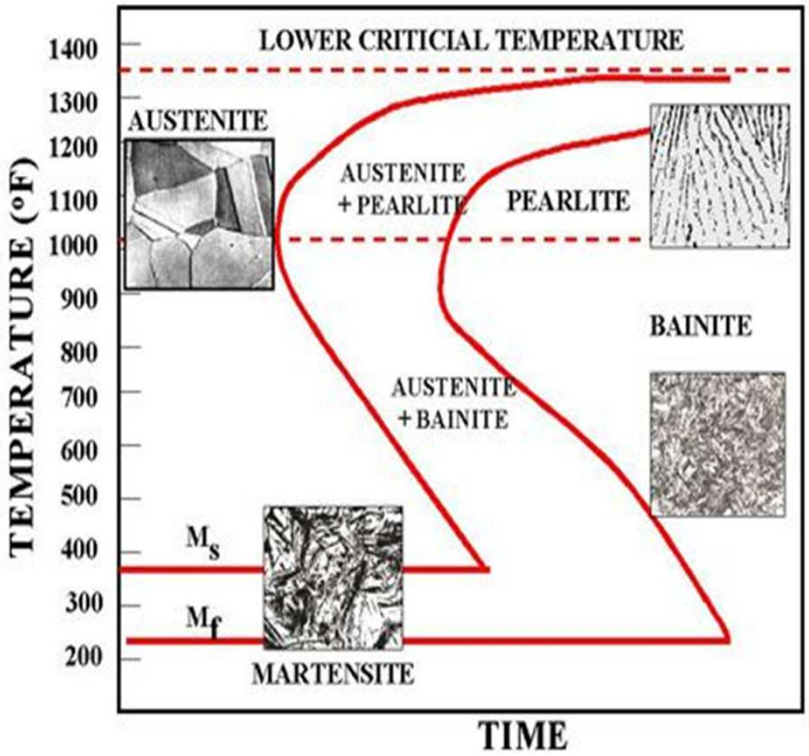


Fig. Curve CCT

ACCIAI BAINITICI NANOSTRUTTURATI

www.dii.unipd.it

Gli acciai bainitici nanostrutturati presentano una microstruttura tale da avere una **resistenza a trazione superiore a 1.5 GPa** e un **allungamento fino al 20%.**

MICROSTRUTTURA:

- Ferrite bainitica
- Austenite a film e in blocchi, ricca in carbonio

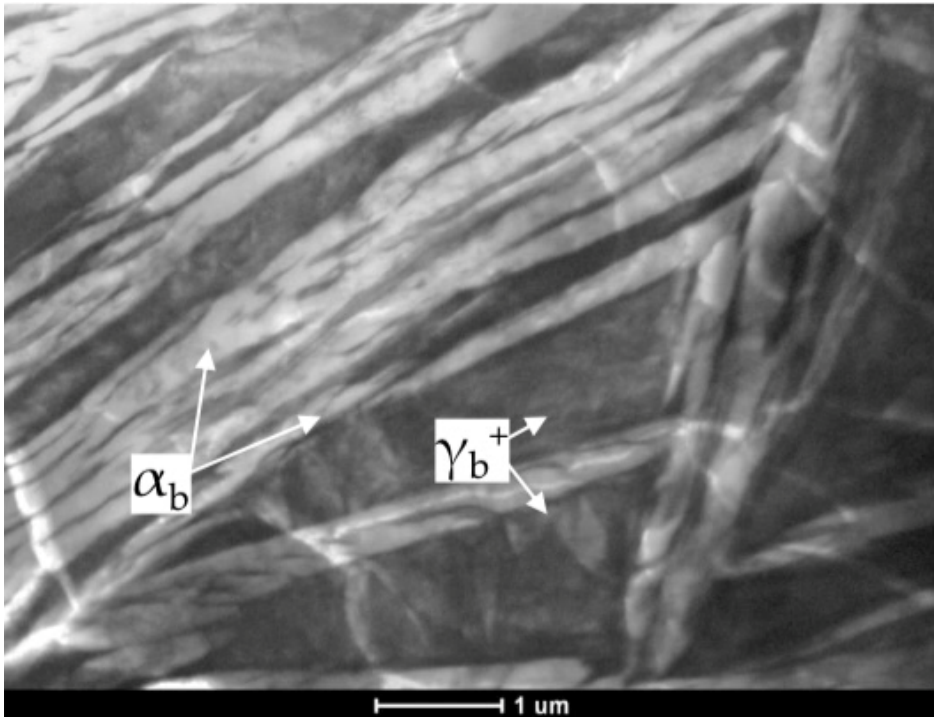
TRASFORMAZIONI DELL'AUSTENITE:

- Trattamento di austempering isotermo per ottenere bainite

Struttura <u>bainitica soggetta a tensioni</u>

- Effetto TRIP, se soggetta a stress applicato

  l'austenite si trasforma in martensite



Ferrite bainitica (chiara) e austenite (scura)

[2] Caballero, F.G, Garcia-Mateo, C. & Miller, M.K. Design of Novel Bainitic Steels: Moving from UltraFine to Nanoscale Structures. JOM 66, 747-755 (2014)

OBIETTIVI DELLO STUDIO

www.dii.unipd.it

Fabbricare dei manufatti in acciaio bainitico nanostrutturato mediante tecnica L-PBF caratterizzati da :

1) ELEVATA DENSITÀ (> 99%)

2) ASSENZA DI CRICCHE E ALTRI DIFETTI DOVUTI A STRESS TERMICI RESIDUI

3) MICROSTRUTTURA BAINITICA

MATERIALE ESAMINATO

www.dii.unipd.it

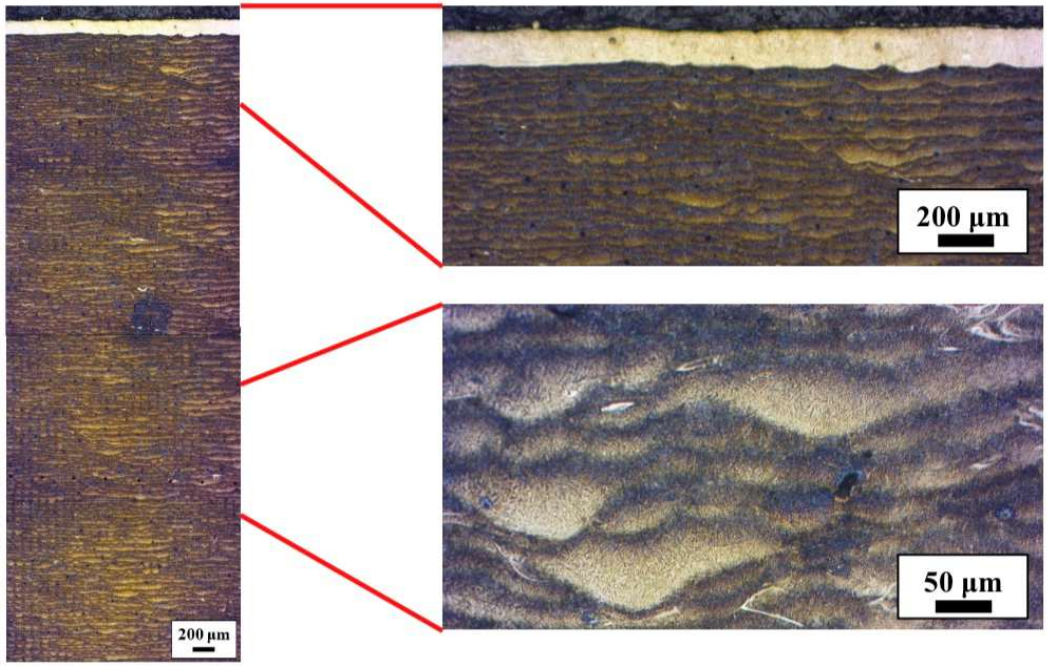
Fe	C	Si	Mn	Al	O
Bal.	0.35	3.2	2.8	0.1	0.02

[Tabella 1] Composizione chimica (wt%) delle polveri utilizzate

- Aggiunta di Si e Al evita la formazione di cementite
- Elevato contenuto di C diminuisce la temperatura iniziale della trasformazione martensitica
- Manganese migliora la temprabilità

TECNICHE DI CARATTERIZZAZIONE :

1. Analisi d'immagine (per valutazione della densità)
2. Analisi microstrutturale con microscopio ottico e elettronico

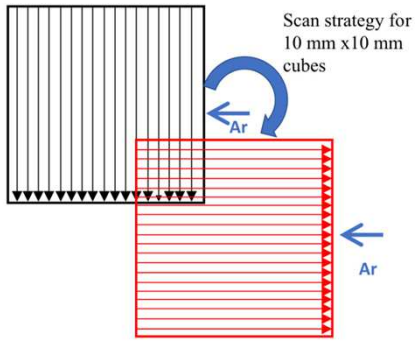


PARAMETRI DI STAMPA

www.dii.unipd.it

SAMPLE	LASER POWER [W]	SCAN SPEED [mm/s]	LAYER THICKNESS [um]	HATCH DISTANCE [um]	ENERGY DENSITY [J/mm3]
1	100	400	30	80	104.2
2	100	600	30	80	69.4
3	100	800	30	80	52.1
4	150	400	30	80	156.3
5	150	600	30	80	104.2
6	150	800	30	80	78.1
7	150	1000	30	80	62.5
8	150	1200	30	80	52.1
9	175	600	30	80	121.5
10	175	800	30	80	91.4

[Tabella 2] Combinazioni dei parametri di stampa utilizzati.



- **POTENZA LASER**: dimensione delle meltpool; possibili grani grossolani
- **VELOCITÀ DI SCANSIONE**: velocità di raffreddamento, possibili stress residui e cricche
- **DENSITÀ DI ENERGIA**: potenza laser per unità superficiale, lack of fusion e scarsa rifinitura superficiale

FABBRICAZIONE CAMPIONI

www.dii.unipd.it

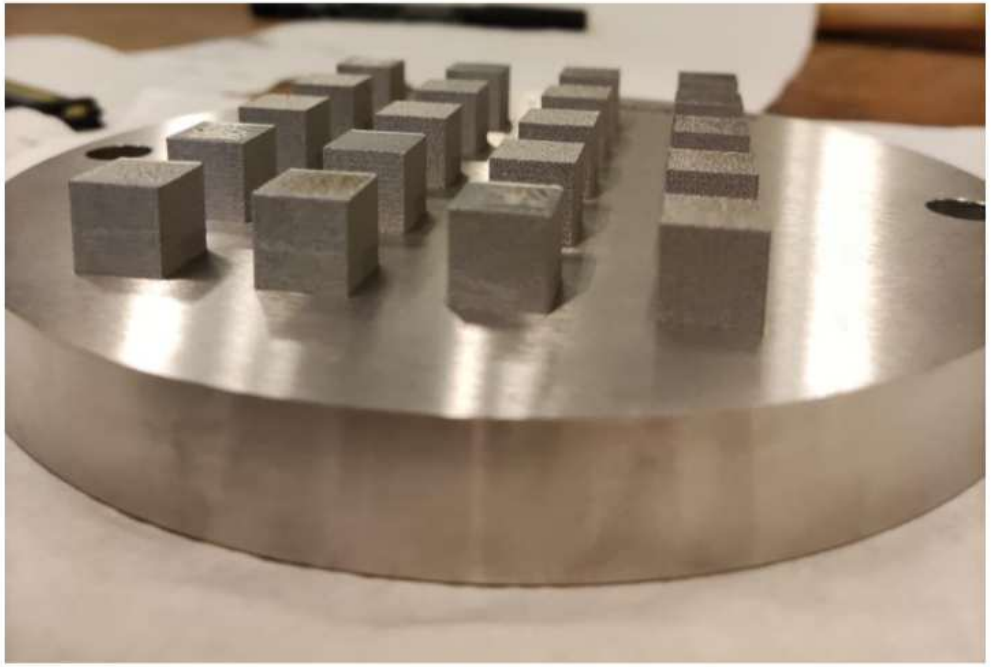
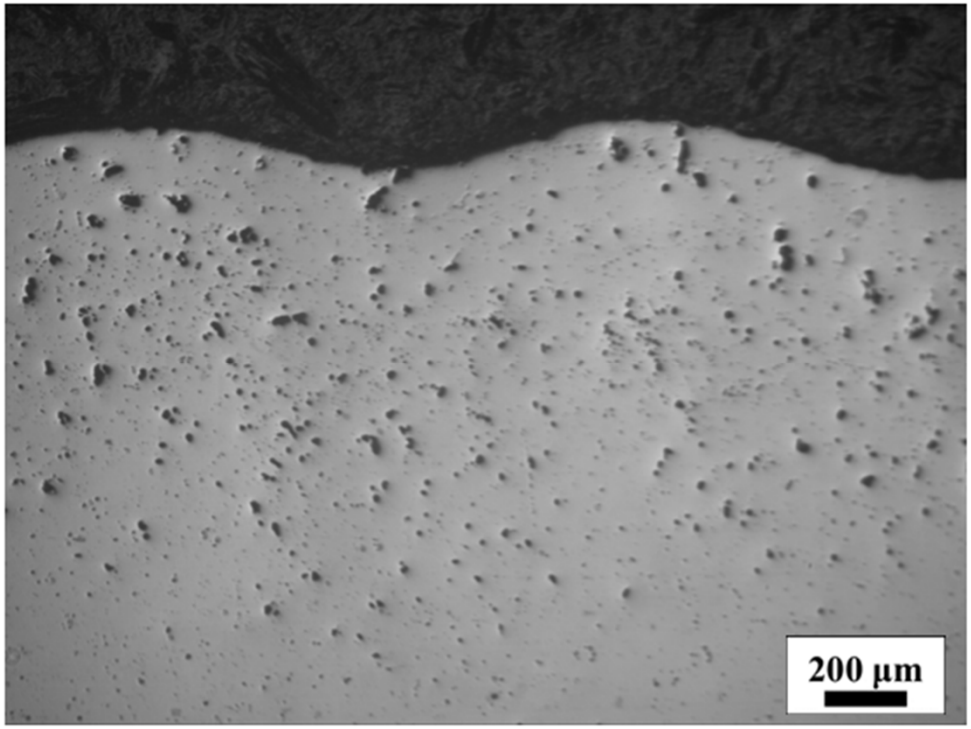


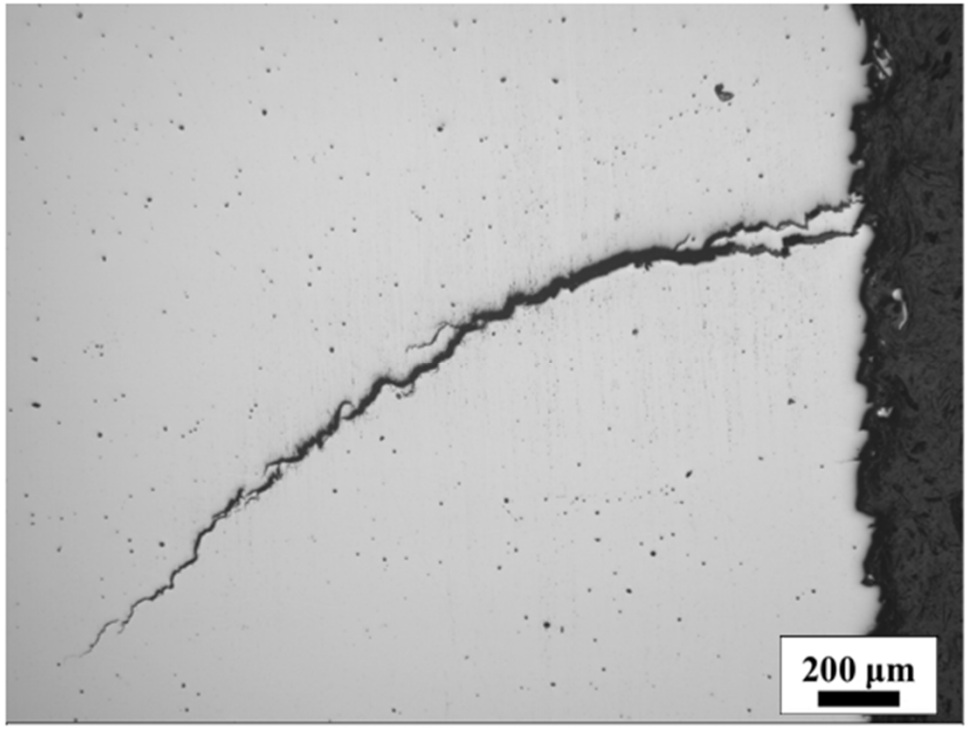
Figura: Campioni realizzati, cubi di dimensioni 10x10x10mm3

DIFETTI DI FABBRICAZIONE

www.dii.unipd.it



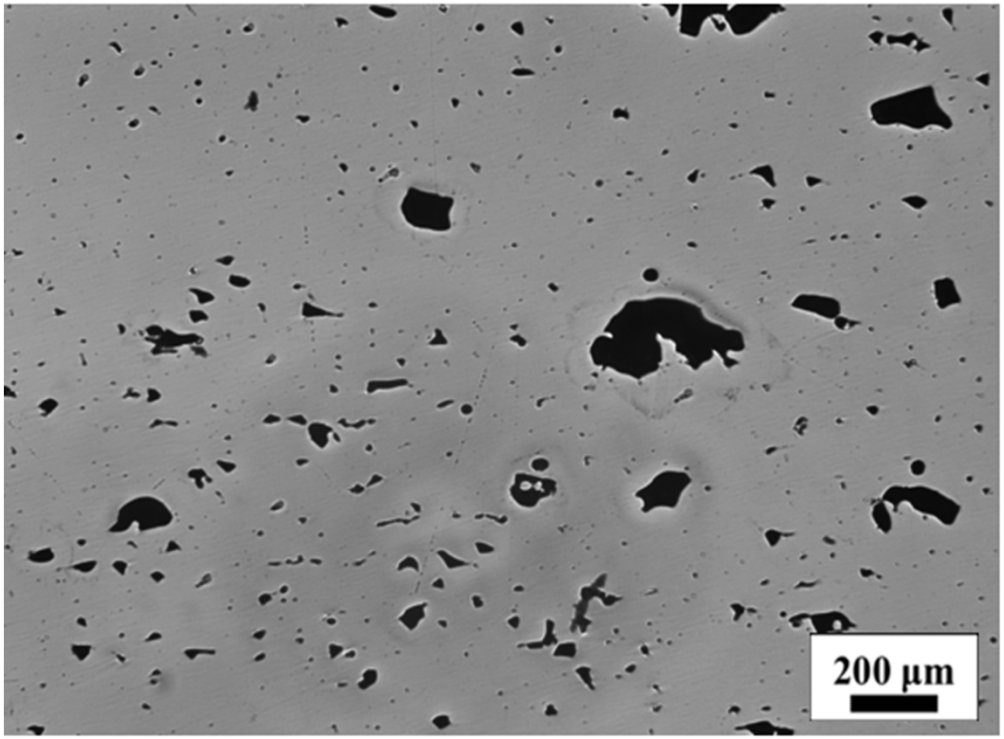
1) 4-NPH: Difetti sulla parte superiore dovuti all'elevata energia di stampa



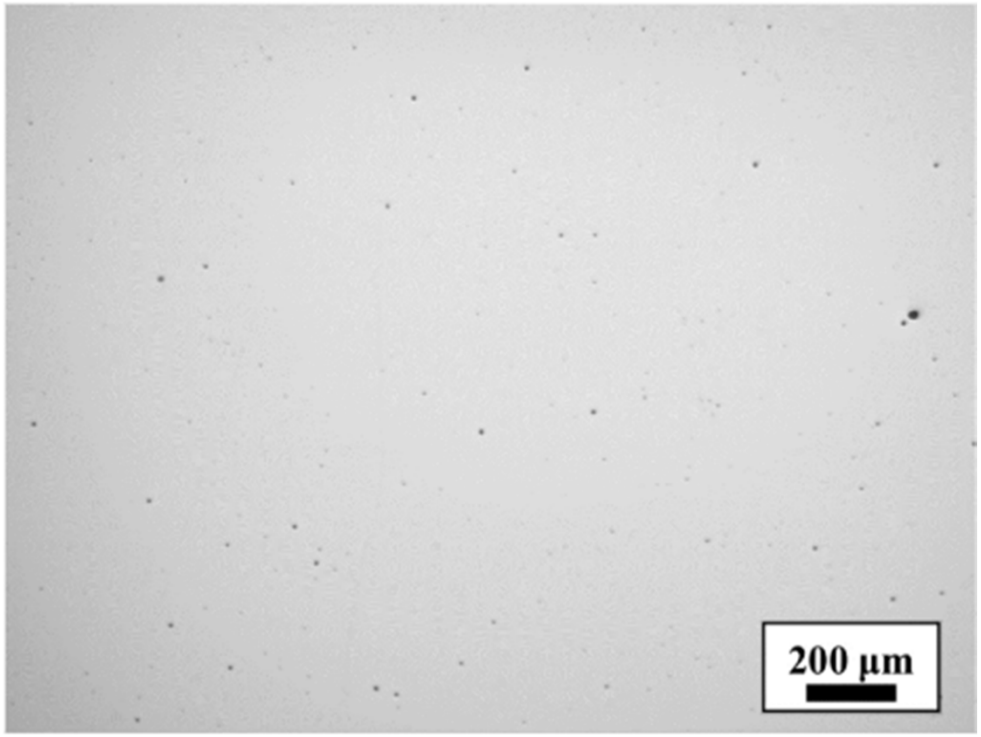
2) 7-NPH: Cricca laterale causata dagli eccessivi stress termici

DIFETTI DI FABBRICAZIONE

www.dii.unipd.it



3) 3-NPH: Grandi porosità distribuite su tutto il campione e lack of fusion



4) 6-NPH: piccole porosità da gas (sferiche) regolari

DENSITÀ RELATIVA NPH

www.dii.unipd.it

NPH

- Densità in funzione dei parametri di stampa
- Porosità elevata in alcuni campioni (>99%)

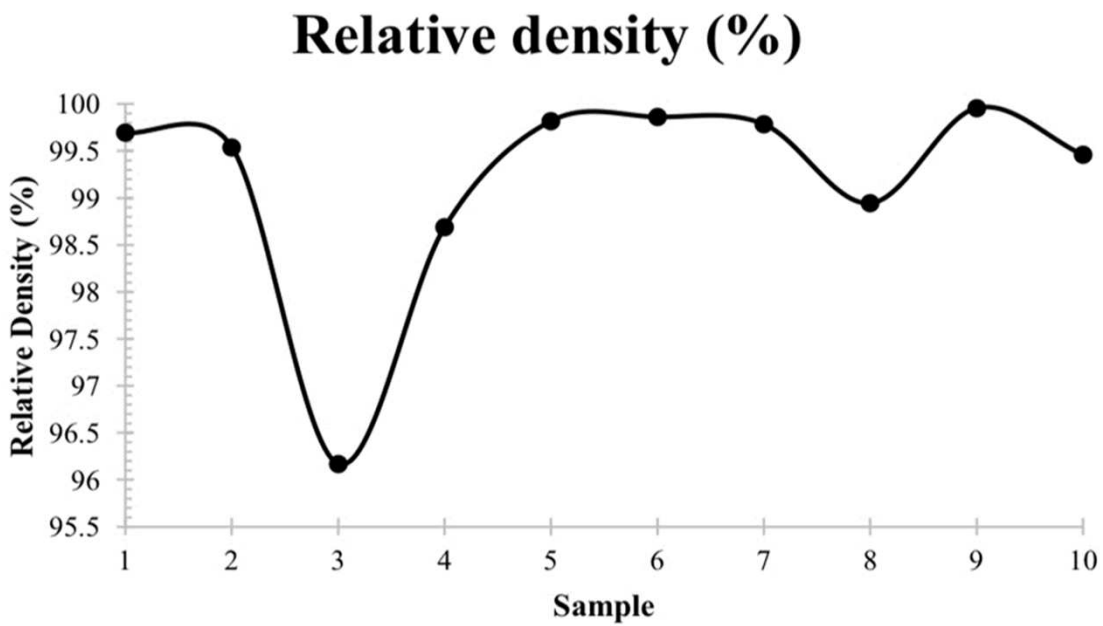
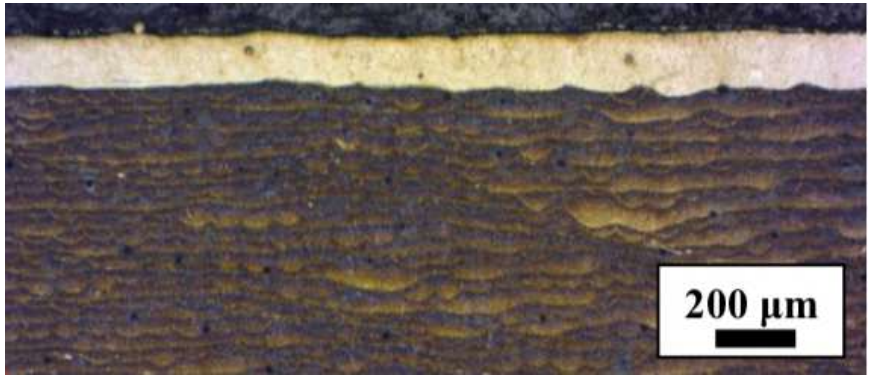


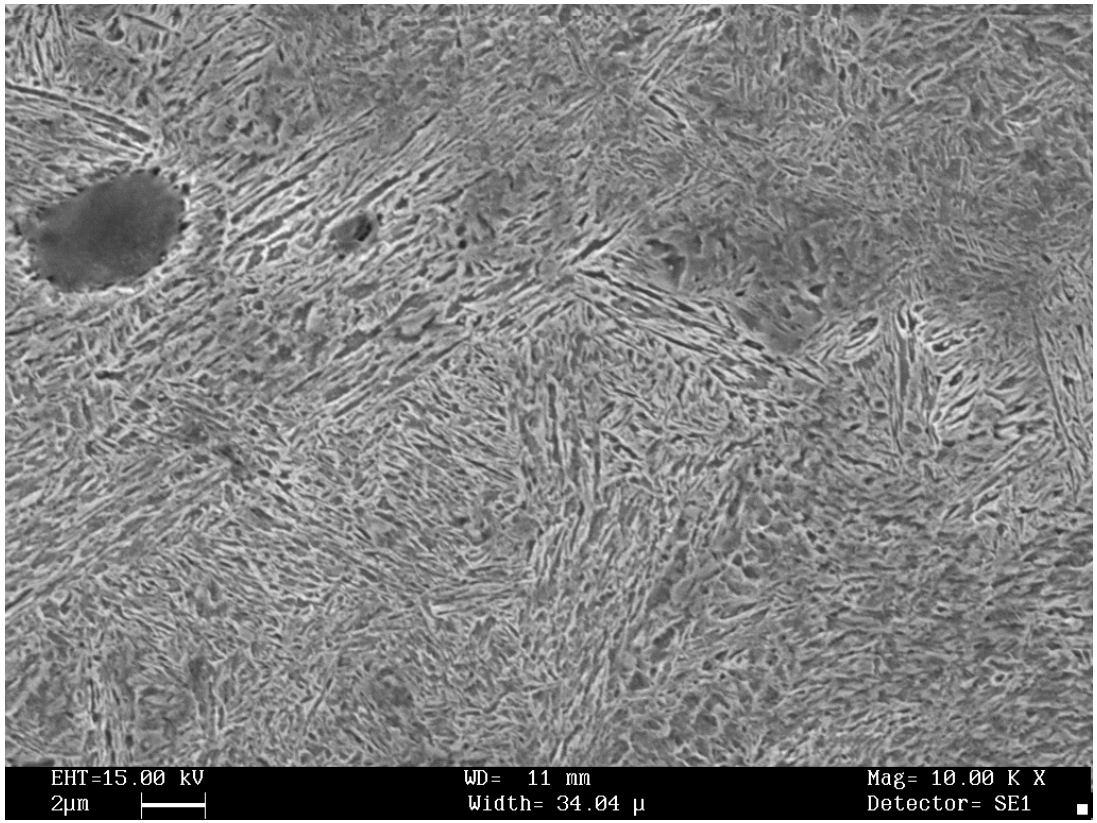
Figura: Campioni NPH

SAMPLE	LASER POWER [W]	SCAN SPEED [mm/s]	ENERGY DENSITY [J/mm3]
1	100	400	104.2
2	100	600	69.4
3	100	800	52.1
4	150	400	156.3
5	150	600	104.2
6	150	800	78.1
7	150	1000	62.5
8	150	1200	52.1
9	175	600	121.5
10	175	800	91.4

MICROSTRUTTURA NPH

www.dii.unipd.it





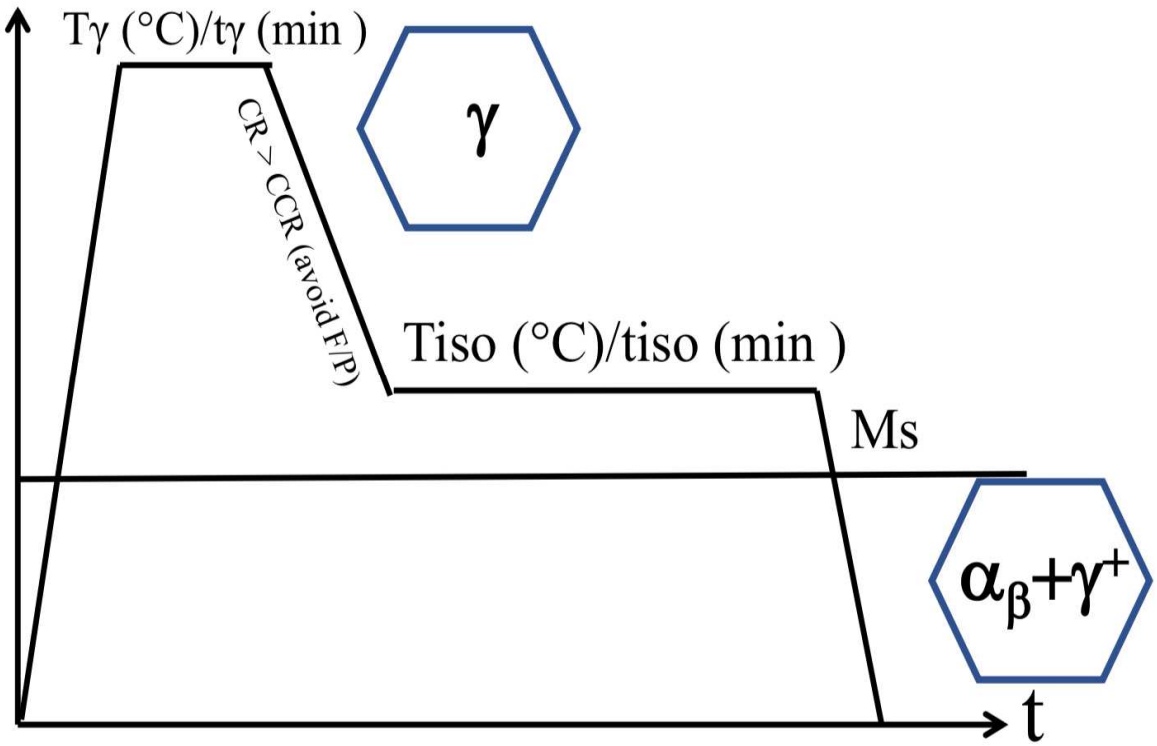
I campioni NPH sono caratterizzati da microstruttura martensitica non uniforme

- Bordo meltpool : struttura martensitica non rinvenuta
- Centro meltpool : struttura martensitica rinvenuta

FABBRICAZIONE DEI CAMPIONI : NPH e PH

www.dii.unipd.it

TRATTAMENTO DI PRE-HEATING: COME OTTENERE LA MICROSTRUTTURA DESIDERATA IN FASE DI STAMPA



Range di temperaura per trasformazione bainitica: T = 300-350 ºC

Preriscaldamento della base di stampa a T = 320 ºC +1h30

- PH: campioni con pre-heating
- NPH: campioni no pre- heating

NB. I campioni NPH dovranno subire un trattamento termico post fabbricazione

MIGLIORAMENTI CON PRE-HEATING

www.dii.unipd.it

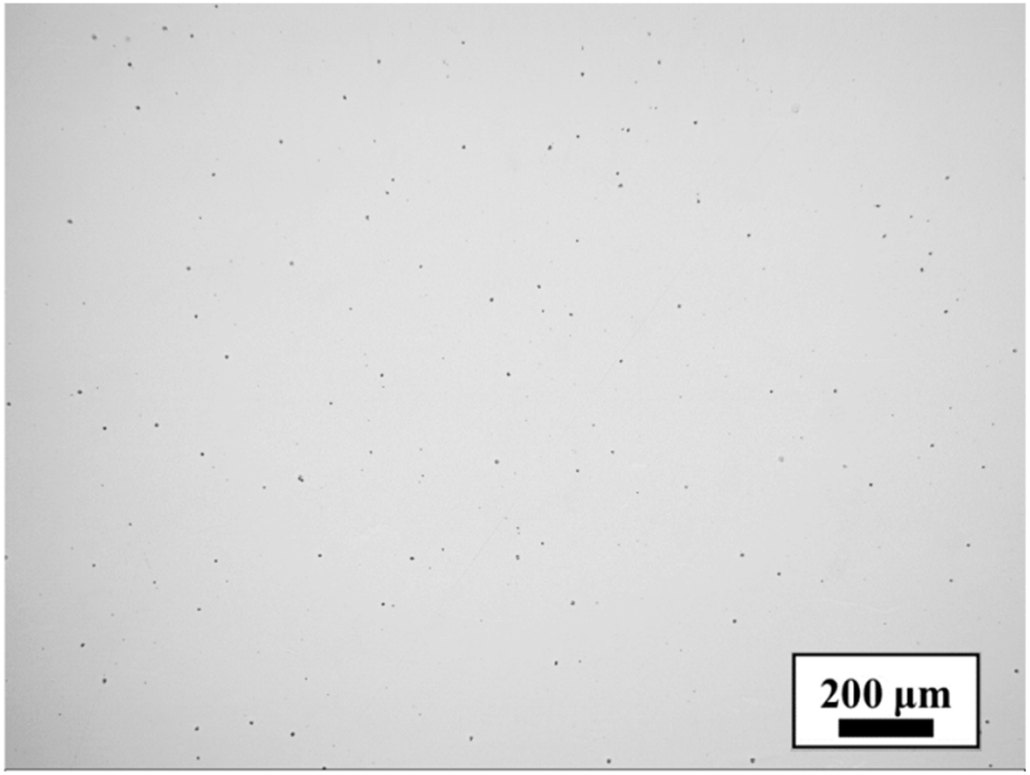
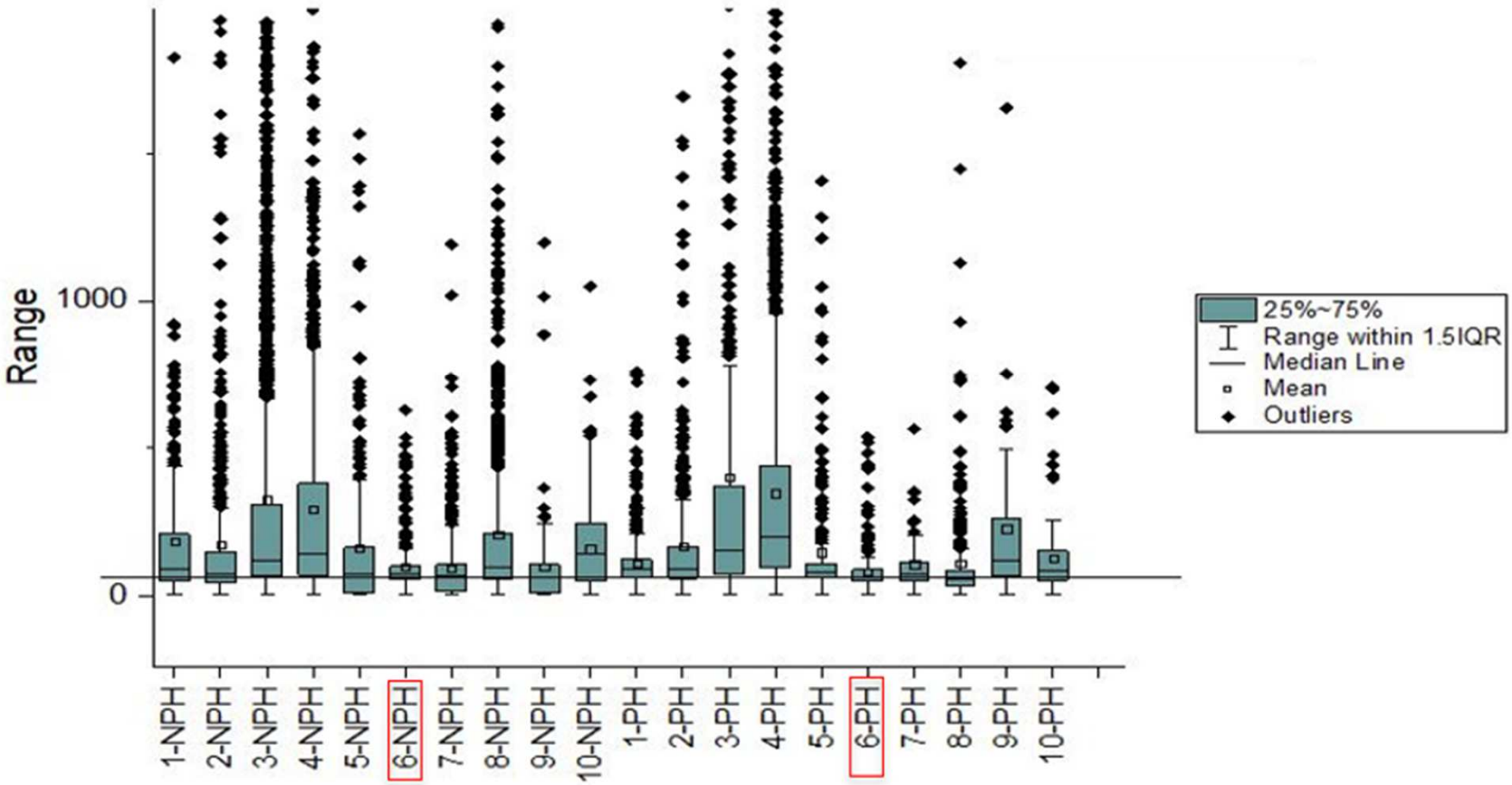


Figura: Campione 6-PH

- ✓ Assenza di cricche legate a stress termico residuo
- ✓ Riduzione notevole di dimensione e numero di difetti (es. lack of fusion)

ANALISI STATISTICA POROSITÀ

SAMPLE	LASER POWER [W]	SCAN SPEED [mm/s]	LAYER THICKNESS [um]	HATCH DISTANCE [um]	ENERGY DENSITY [J/mm3]
6	150	800	30	80	78.1



www.dii.unipd.it

ANALISI DENSITÀ RELATIVA

www.dii.unipd.it

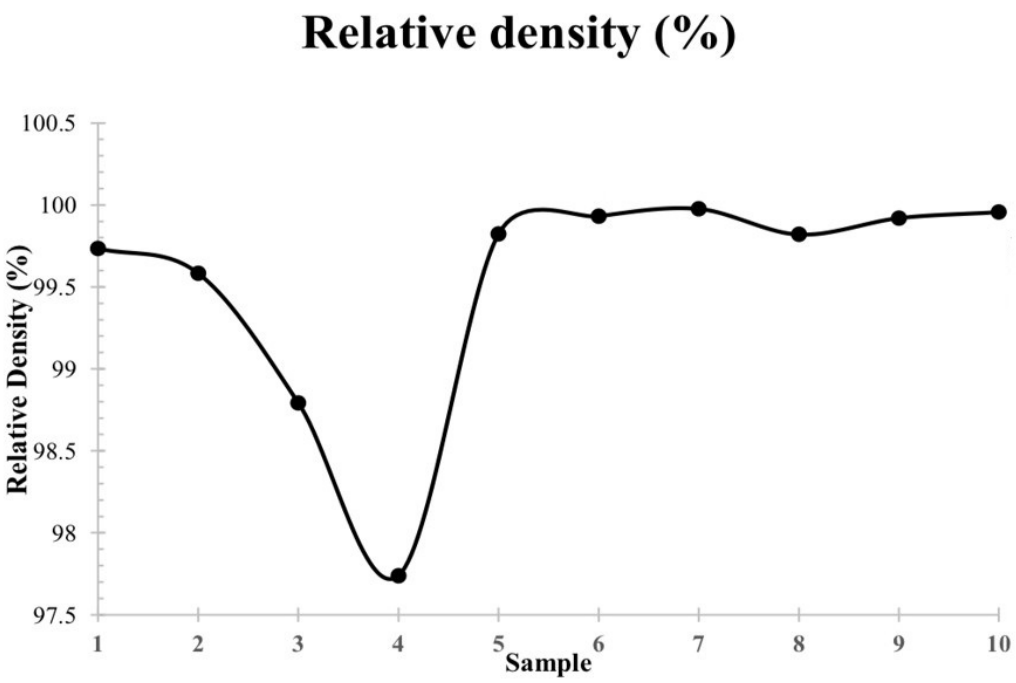
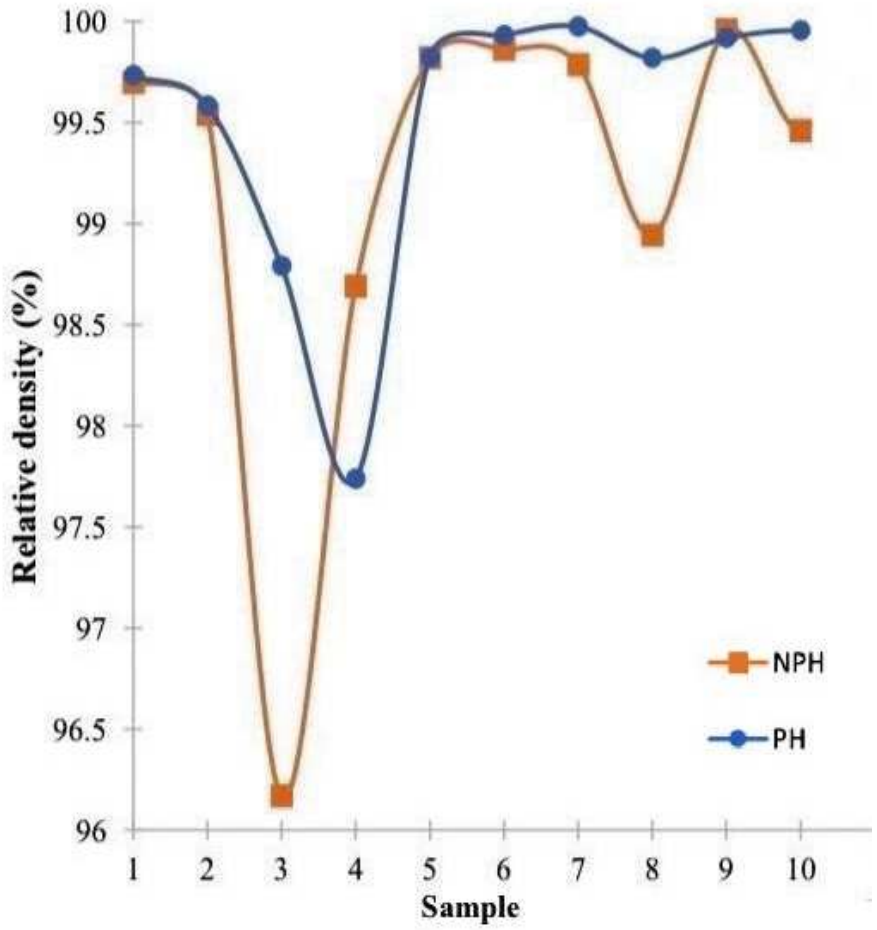


Figura: Campioni PH



MIGLIOR COMBINAZIONE : MICROSTRUTTURA (SEM)

www.dii.unipd.it

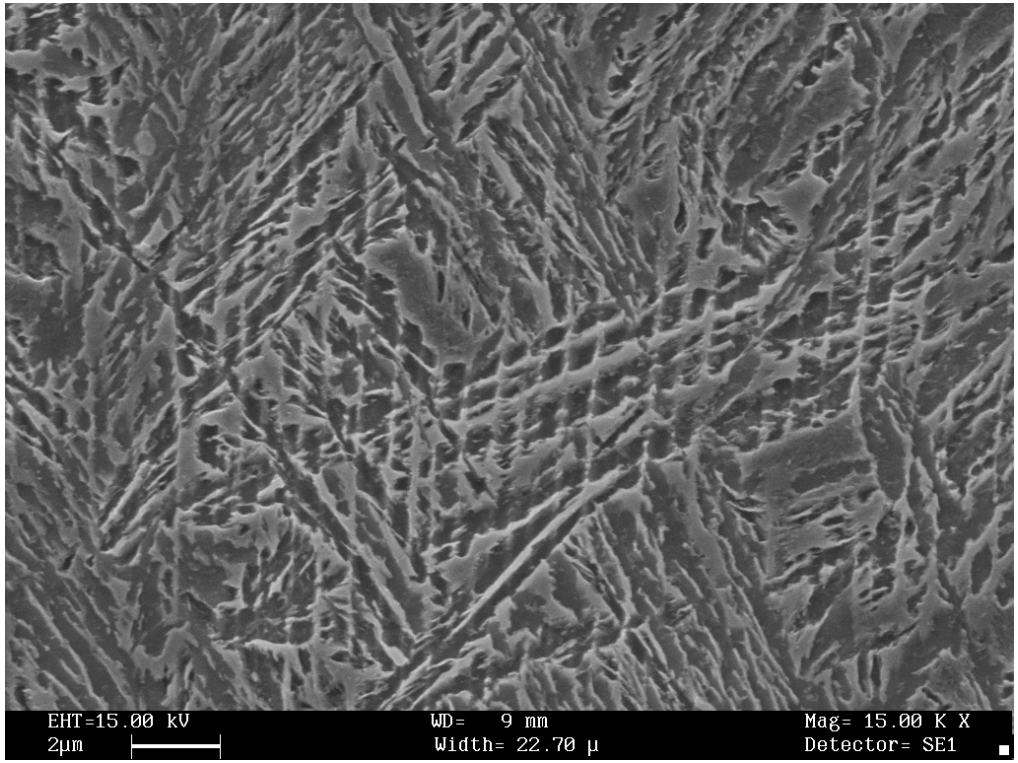


Figura: Campione 6-PH al SEM

- ✓ Presenza microstruttura bainitica in campioni PH grazie al preriscaldo della piattaforma di stampa a T=320°C

CONCLUSIONI

www.dii.unipd.it

- La tecnica di Additive Manufacturing L-PBF, risulta essere valida per la produzione di parti metalliche, anche di piccole dimensioni
- È stata individuata una combinazione di parametri tale da avere le caratteristiche richieste (densità relativa (%) > 99.5%)

SAMPLE	LASER POWER [W]	SCAN SPEED [mm/s]	LAYER THICKNESS [um]	HATCH DISTANCE [um]	ENERGY DENSITY [J/mm3]
6	150	800	30	80	78.1

- Il trattamento di pre-riscaldamento della base di stampa a T = 320 ºC permette una diminuzione dei difetti (pori, cricche) e la formazione della microstruttura bainitica.