

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Fabbricazione di acciai bainitici carbide free alto resistenziali tramite tecnica L-PBF

Tutor universitario: Ing. PhD Luca Pezzato

Co-tutor : Ing. PhD Mattia Franceschi

Laureando: *Jacopo Vianelli*

Padova, 16/11/2023

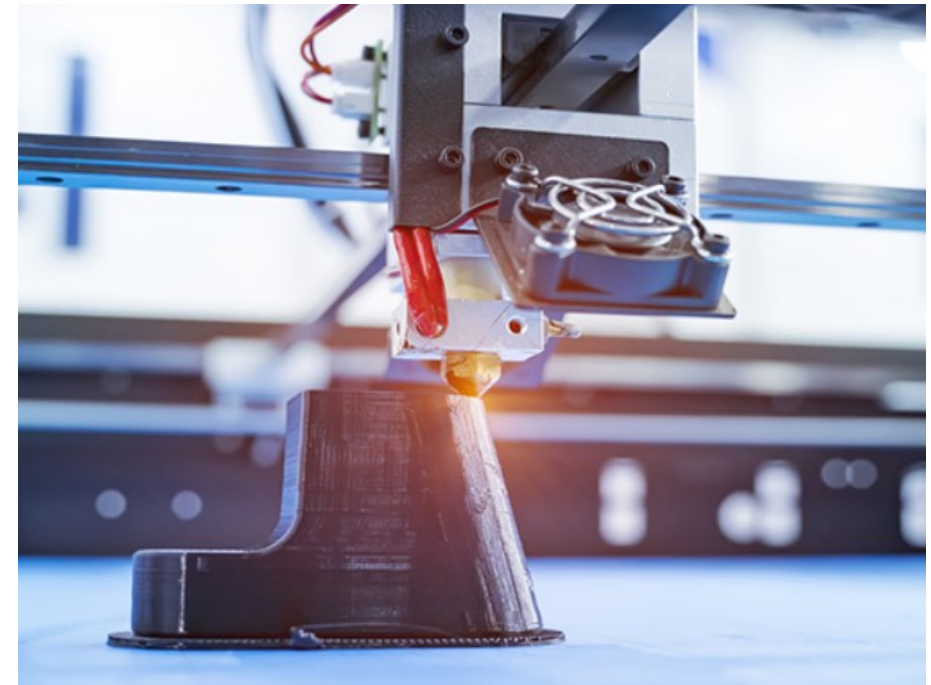
Con Additive Manufacturing si intende una serie di tecnologie e metodi di fabbricazione innovativi, che a differenza dei metodi di produzione tradizionali non prevedono l'asportazione di materiale da un pezzo grezzo per ottenere la forma desiderata ma la costruzione progressiva del manufatto.

PRO

- Creazione di forme complesse
- Risparmio di materie prime e minori scarti
- Limitato post processing

CONTRO

- Ingente investimento iniziale
- Limitata dimensione degli oggetti ottenibili
- Controllo qualità



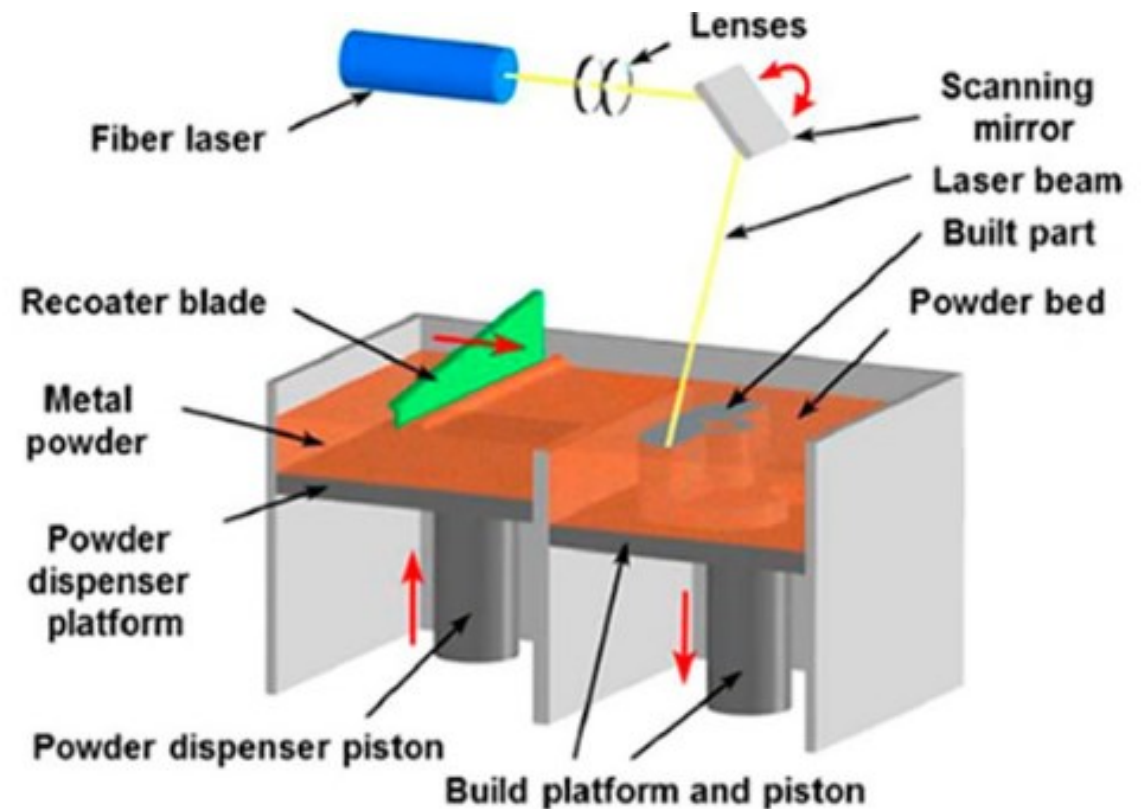
<https://www.esa-automation.com/it/additive-manufacturing-nellindustria-4-0/>

Materiali impiegati: polimeri termoplastici, polveri metalliche, polveri di ceramica, materiali compositi

Tra le diverse tecniche di AM disponibili, per la fabbricazione dei campioni studiati è stato utilizzato il metodo L-PBF. Il materiale utilizzato, inizialmente sotto forma di polveri, viene fuso selettivamente strato dopo strato tramite il fascio laser.

FASI CHIAVE:

1. Insufflaggio di Argon nella camera di lavoro
2. Recoating del primo strato di polvere
3. Esposizione laser e fusione selettiva della sezione
4. Abbassamento della piattaforma di costruzione
5. Post processing



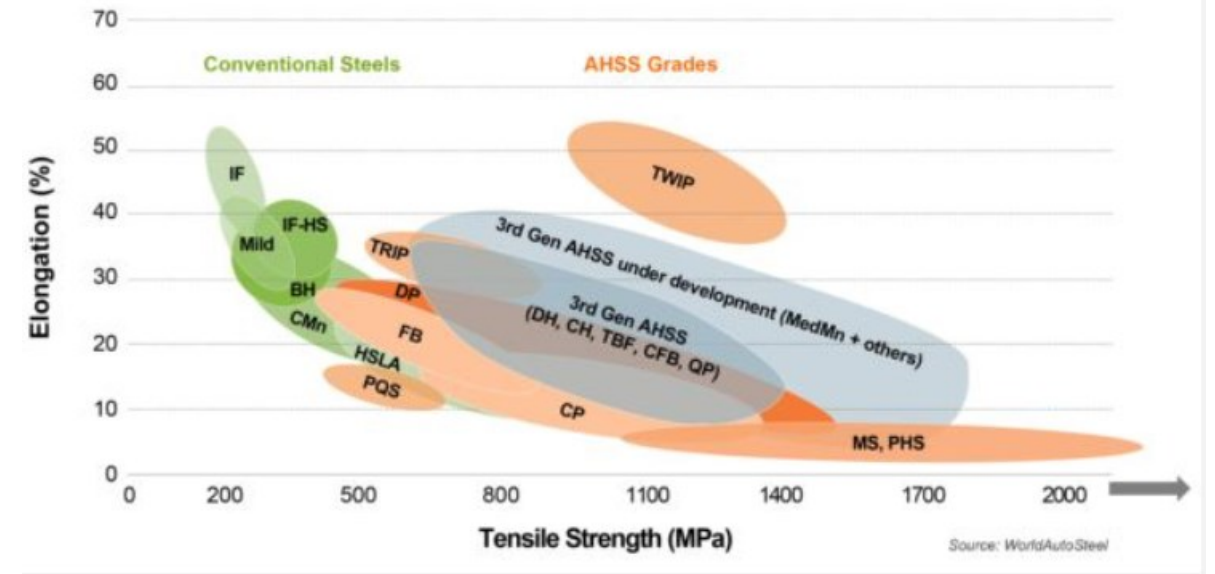
Source: CustomPartNet

Gli acciai bainitici carbide free appartengono alla terza generazione di «Advanced high strength steels»

Essi si distinguono per:

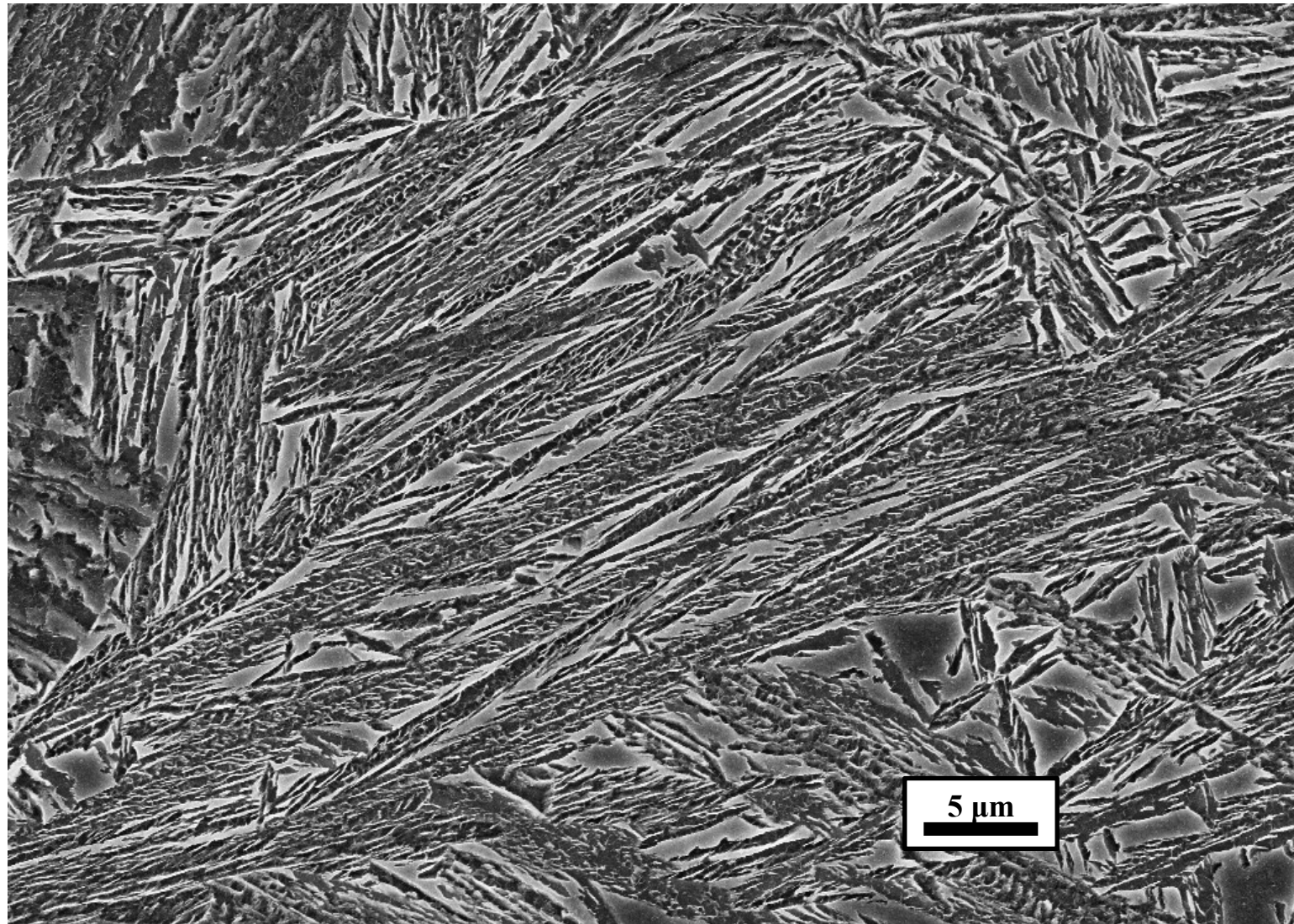
- Ottime proprietà di resistenza meccanica (UTS > 1500 Mpa)
- Buona duttilità (allungamento a rottura del 20%)

➔ Essi grazie alle loro proprietà meccaniche vengono utilizzati nel settore automotive, mentre nel settore logistico vengono apprezzati principalmente per la loro resistenza all'usura



Source: WorldAutoSteel

Fe	C	Si	Mn	Al	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V	P	S
Bal.	0.38	3.20	2.65	0.10	0.05	0.05	0.02	0.05	0.001	0.006	0.008	0.007

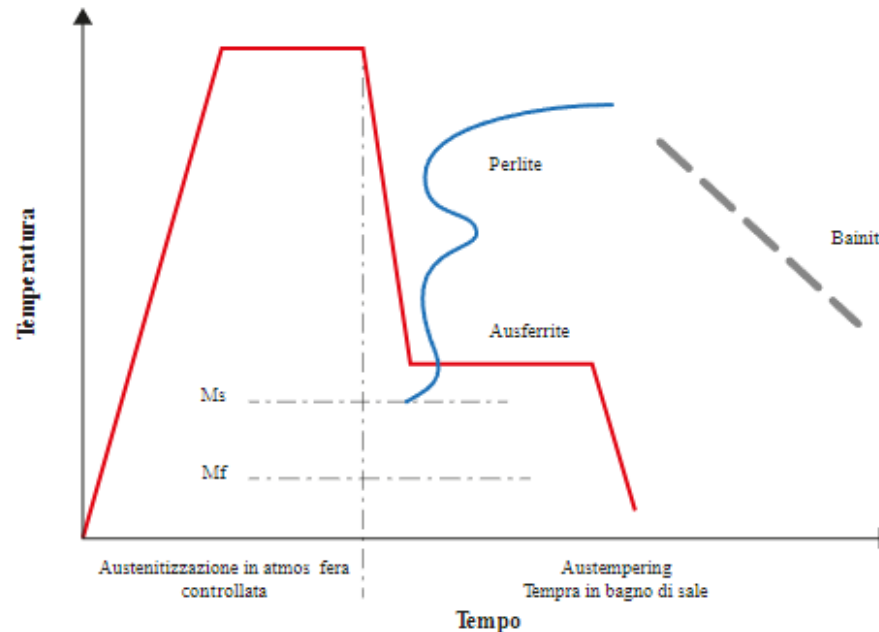
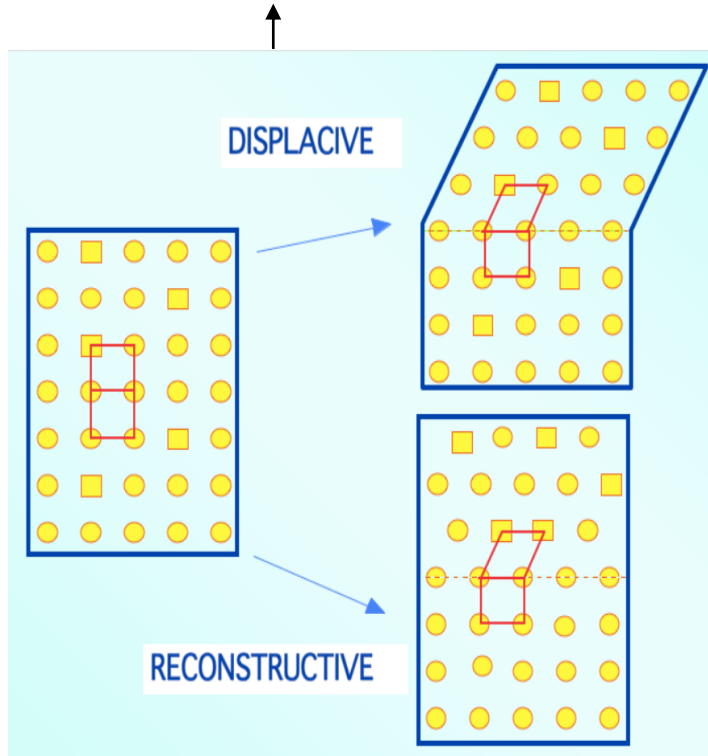


Le proprietà meccaniche descritte sono dovute alla loro microstruttura, che è costituita principalmente da due fasi: ferrite bainitica ed austenite residua.

Obiettivo: unire la fase di fabbricazione e il trattamento termico di austempering, necessario per ottenere la microstruttura bainitica desiderata

Tale microstruttura è originata dalla trasformazione di una frazione dell'austenite in ferrite bainitica. Si parla di trasformazione displacive

La piattaforma di fabbricazione è stata preriscaldata a 320 °C

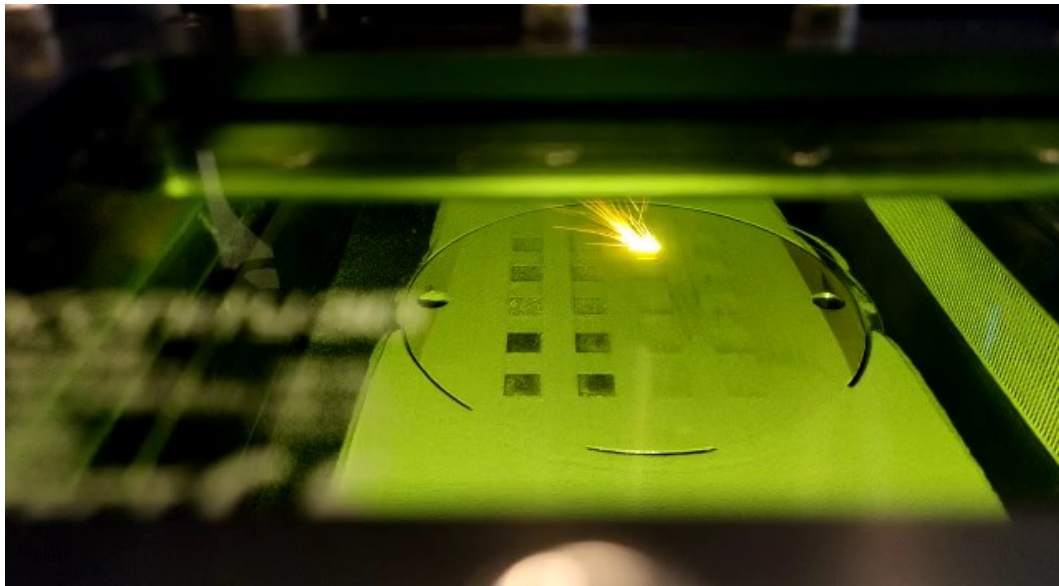
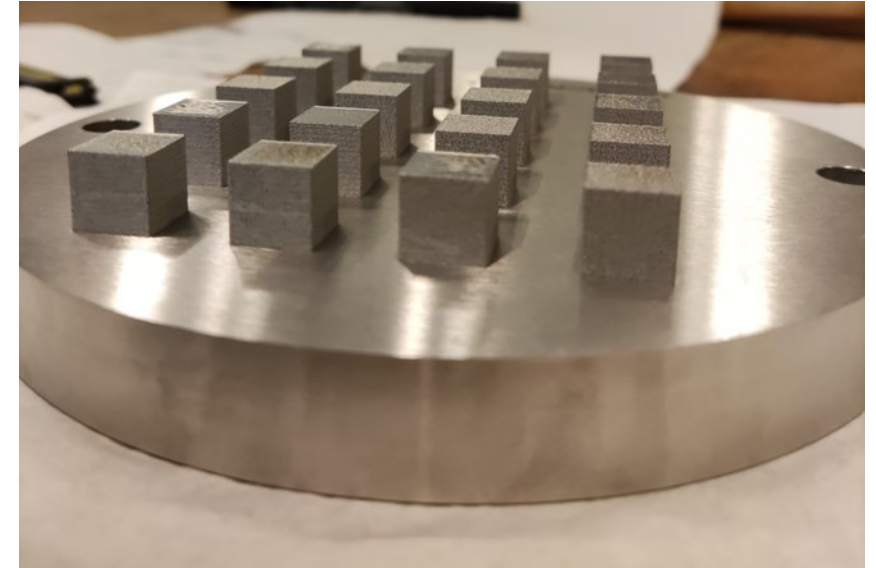
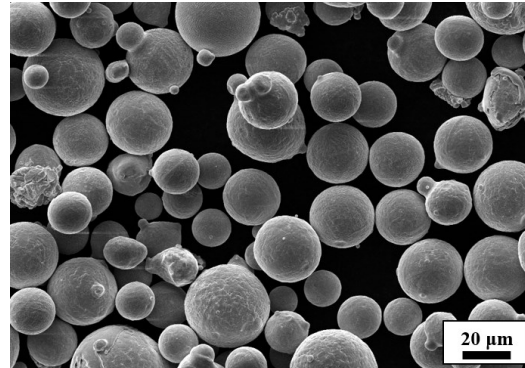


https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2008/Steel_Microstructure/SM.html

<https://zanardifonderie.com/en/academy/the-basics-of-the-austempering-process/austempering-heat-treatment/>

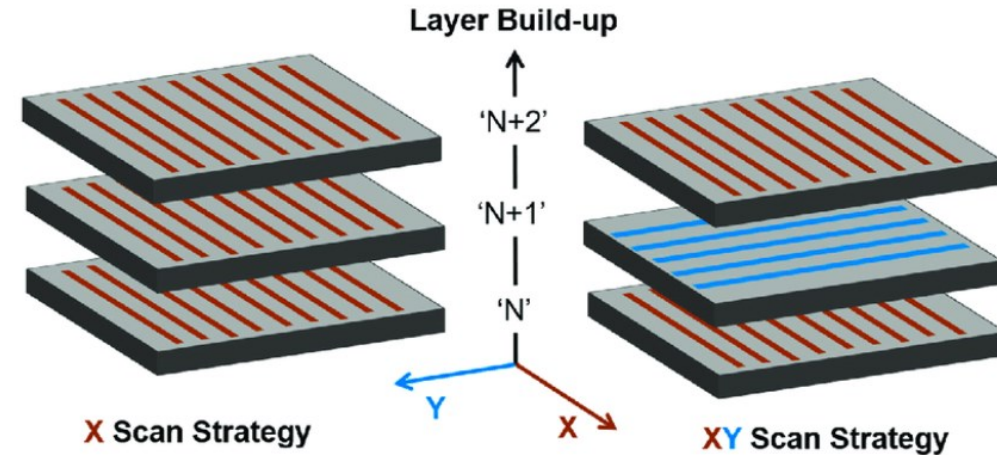
- Potenza del laser: 50-200 W (50, 100, 150, 175, 185, 200)
- Velocità: 200-2000 mm/s (200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000)
- Punto laser: 80 μm
- Spessore strato: 30 μm
- Hatch spacing: 80 μm

Polveri utilizzate



→ Da un set iniziale di 53 combinazioni di parametri ottenibili variando potenza del laser e velocità del fascio laser, 20 ne sono state selezionate. La selezione si è basata sulla regolarità dello spessore dello strato e sulla qualità dello stesso

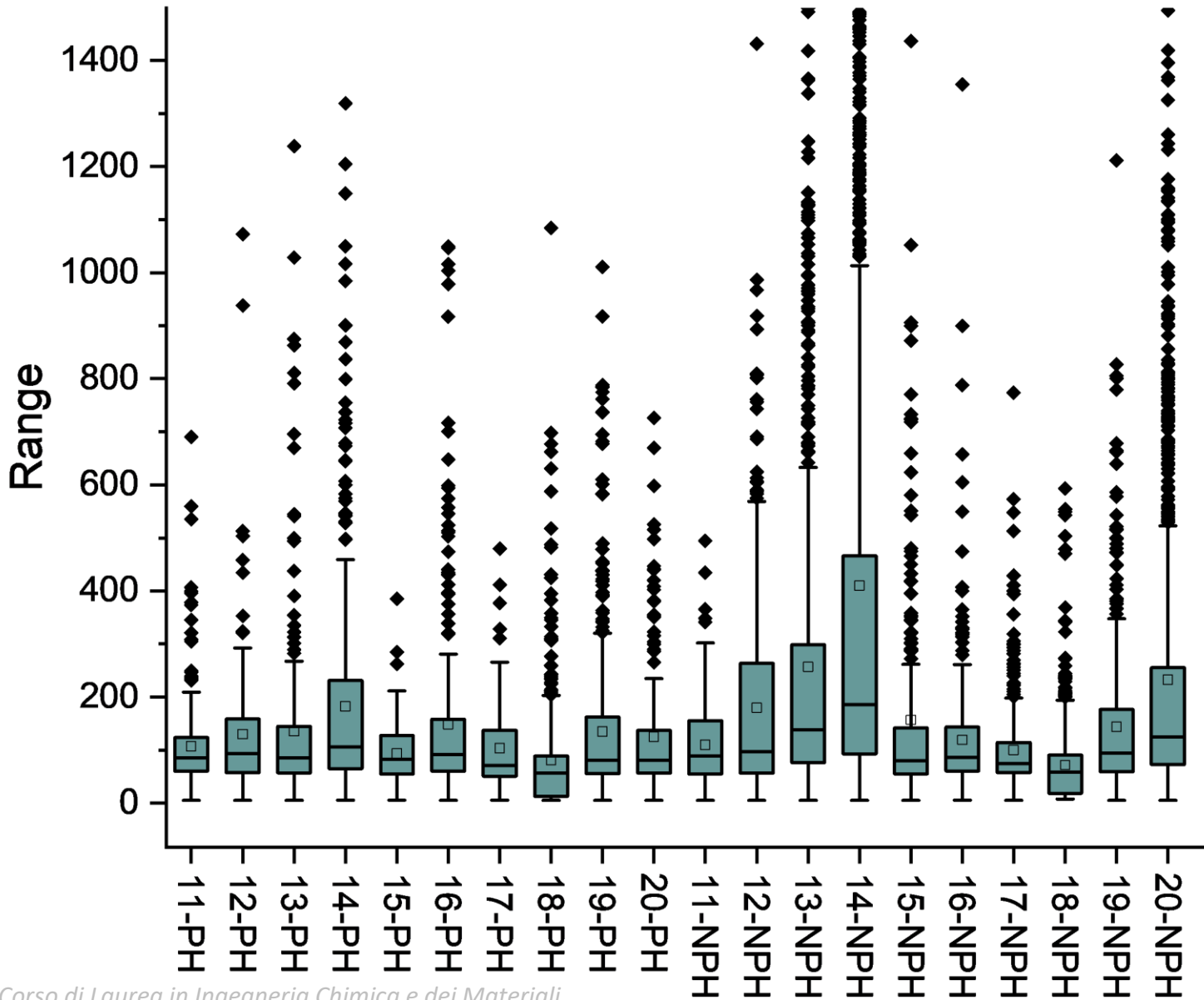
Sample	Laser Power (W)	Speed (mm/s)	Energy (J/mm ³)
11 NPH	175	1000	72.92
12 NPH	175	1200	60.76
13 NPH	175	1400	52.08
14 NPH	175	1600	45.57
15 NPH	200	600	138.89
16 NPH	200	800	104.17
17 NPH	200	1000	83.33
18 NPH	200	1200	69.44
19 NPH	200	1400	59.52
20 NPH	200	1600	52.08
11 PH	175	1000	72.92
12 PH	175	1200	60.76
13 PH	175	1400	52.08
14 PH	175	1600	45.57
15 PH	200	600	138.89
16 PH	200	800	104.17
17 PH	200	1000	83.33
18 PH	200	1200	69.44
19 PH	200	1400	59.52
20 PH	200	1600	52.08



Kyriakos I. Kourousis, Barry Mooney. A review of factors affecting the mechanical properties of maraging steel 300 fabricated via L-PBF

➔ Si è utilizzata una scan strategy unidirezionale.

- I campioni sono stati realizzati con e senza il trattamento di pre-heating
- Il trattamento PH è stato effettuato per indagare il possibile ottenimento di microstruttura bainitica direttamente al termine del processo di fabbricazione



Osservando il grafico ottenuto si può notare una minore presenza di outliers nei campioni PH e una minore estensione dei box



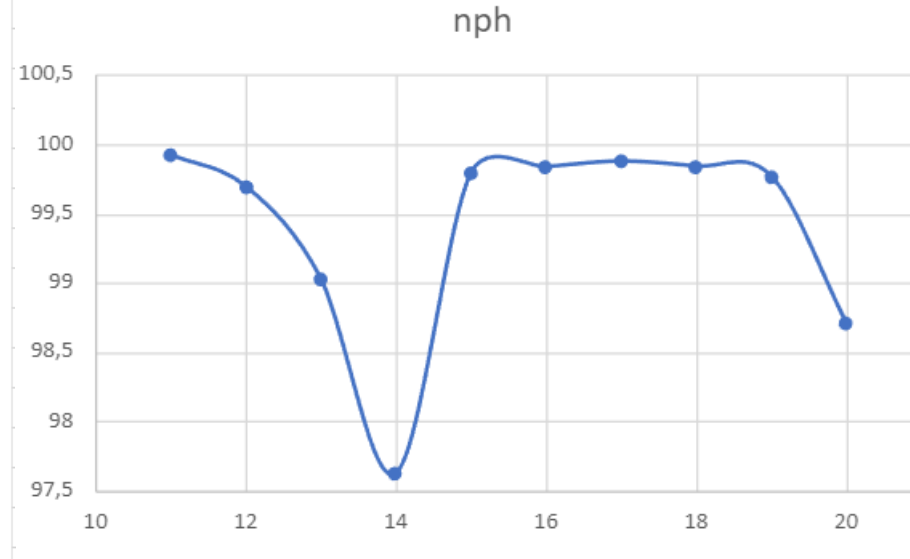
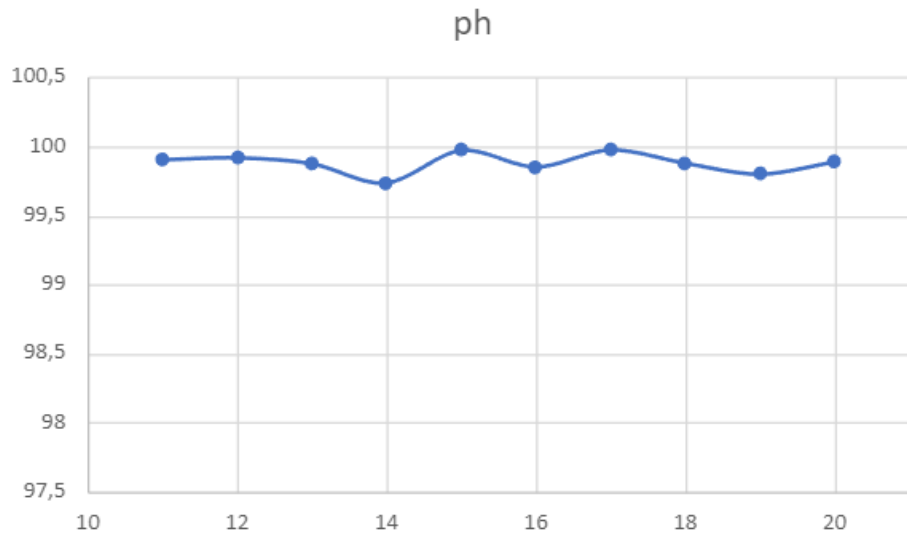
I campioni PH presentano pori di dimensione inferiore e più uniforme

11-NPH	12-NPH	13-NPH	14-NPH	15-NPH	16-NPH	17-NPH	18-NPH	19-NPH	20-NPH
0,074	0,300	0,963	2,373	0,207	0,161	0,120	0,156	0,227	1,285

11-PH	12-PH	13-PH	14-PH	15-PH	16-PH	17-PH	18-PH	19-PH	20-PH
0,096	0,081	0,124	0,265	0,026	0,149	0,024	0,121	0,201	0,111

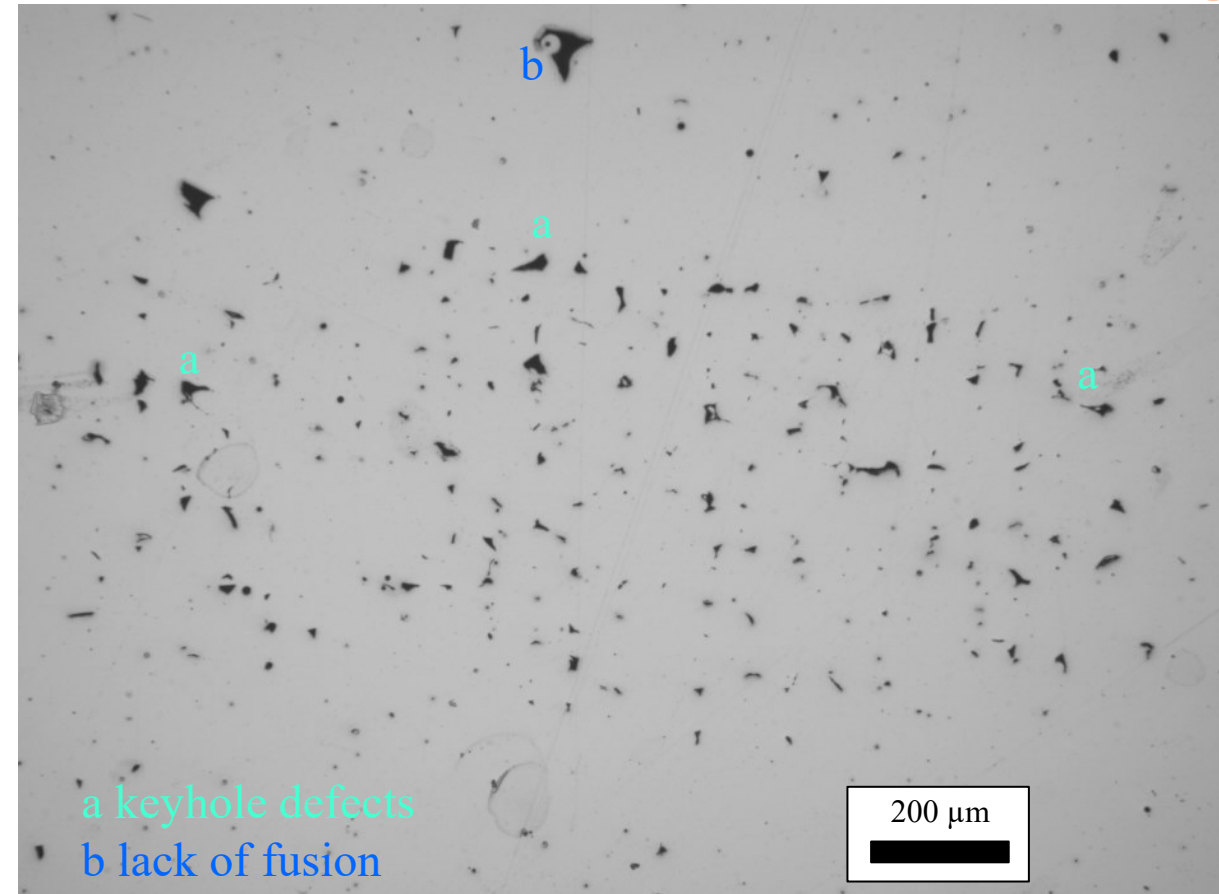
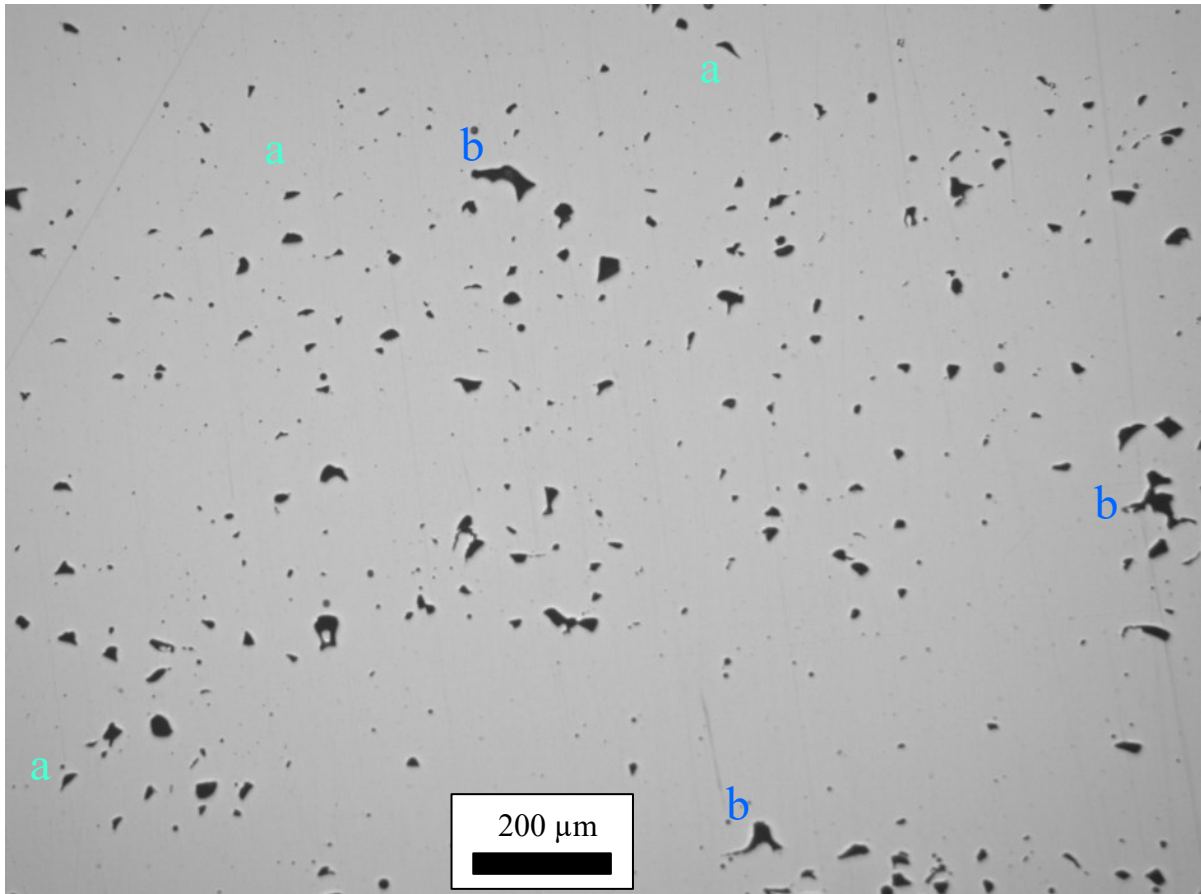


Le tabelle proposte
contengono il valore
di porosità
percentuale di ogni
campione

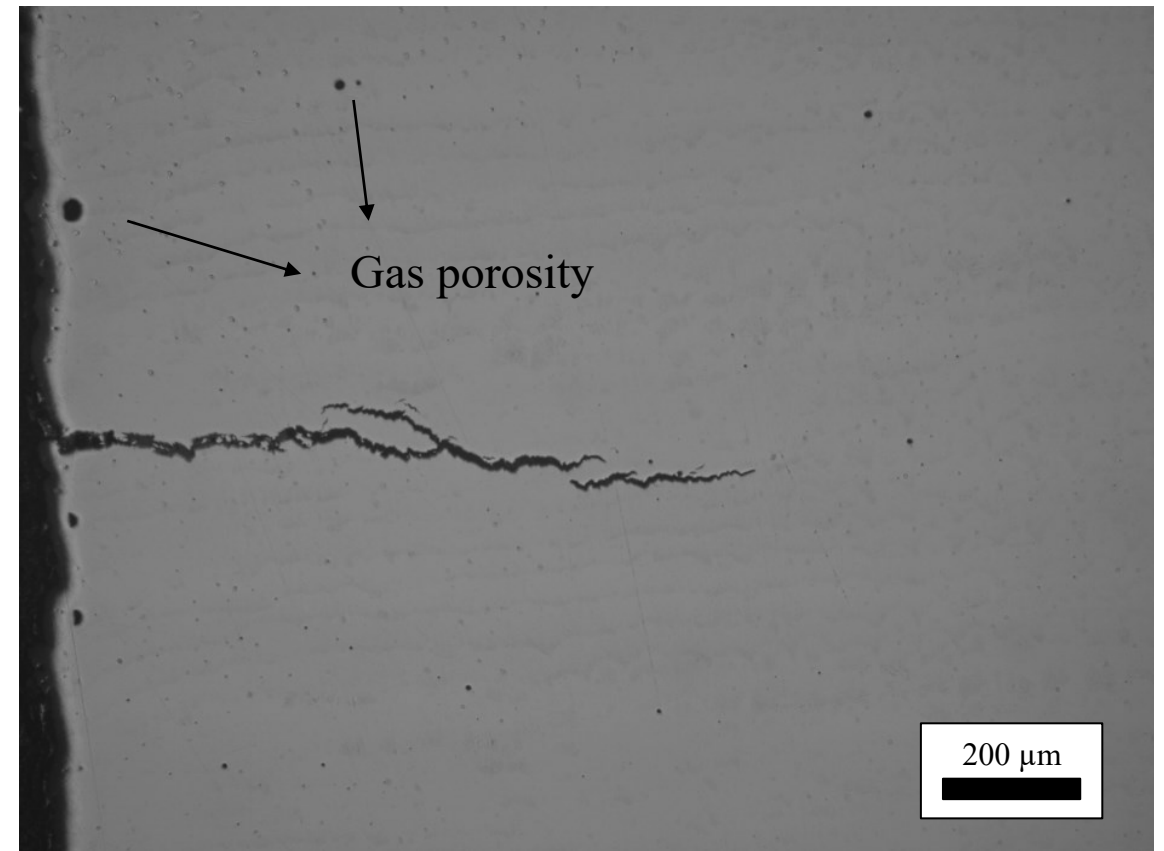
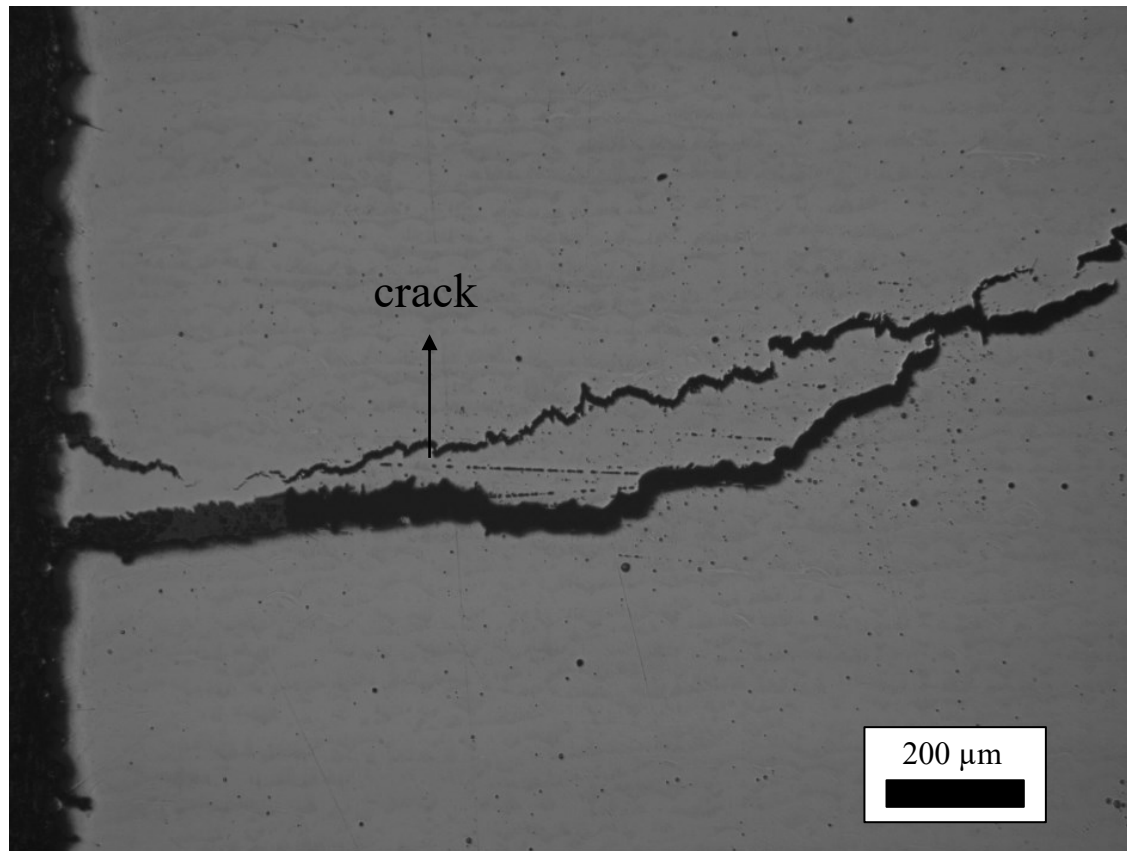


Differenza di
densità tra
campioni PH e
NPH

Osservando i campioni al microscopio ottico è stato possibile notare la presenza di pori con forma irregolare nei campioni NPH. Pori con queste caratteristiche non sono presenti nei campioni PH.



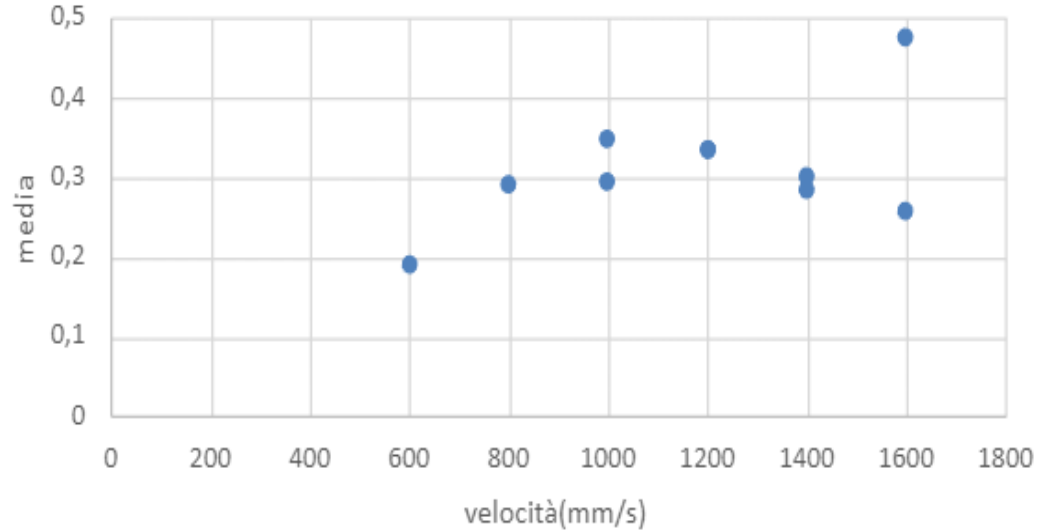
In ogni campione NPH sono inoltre presenti cricche situate alle estremità dei campioni, non osservabili nei campioni PH. Esse sono dovute alla repentina variazione di temperatura a cui i campioni NPH sono stati sottoposti una volta terminata la fabbricazione.



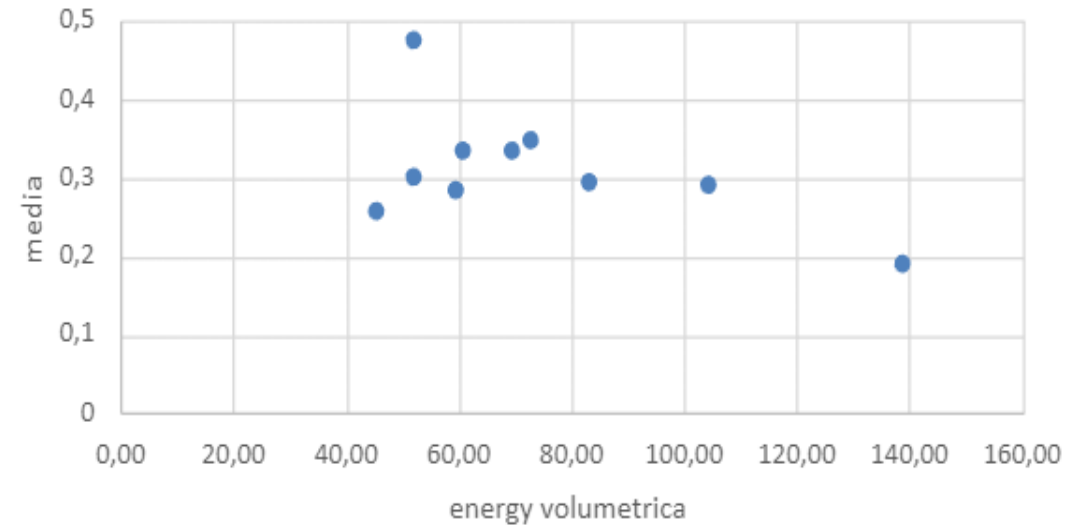
Numero campione	HV media	Dev. standard
11 PH	440	39
12 PH	511	33
13 PH	603	43
14 PH	544	21
15 PH	413	19
16 PH	456	14
17 PH	441	34
18 PH	502	43
19 PH	532	32
20 PH	510	48
11 NPH	497	27
12 NPH	558	26
13 NPH	515	13
14 NPH	514	52
15 NPH	523	14
16 NPH	509	39
17 NPH	394	28
18 NPH	579	50
19 NPH	545	27
20 NPH	562	60

Si può concludere che non si registra una marcata differenza in durezza Vickers tra campioni PH e NPH. I primi si attestano ad un valore pari a 495 HV mentre i secondi a 520 HV.

Influenza velocità di fabbricazione sull'estensione media delle celle

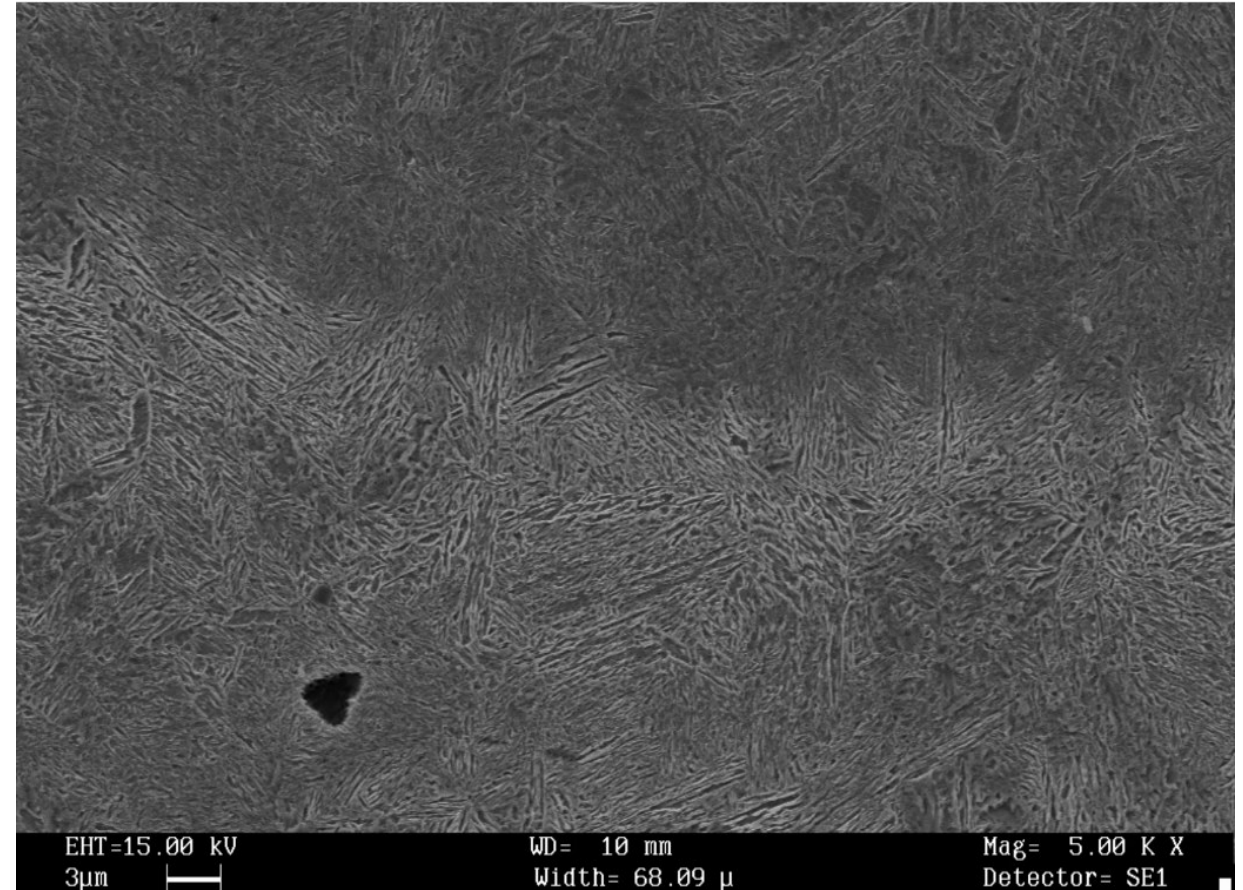
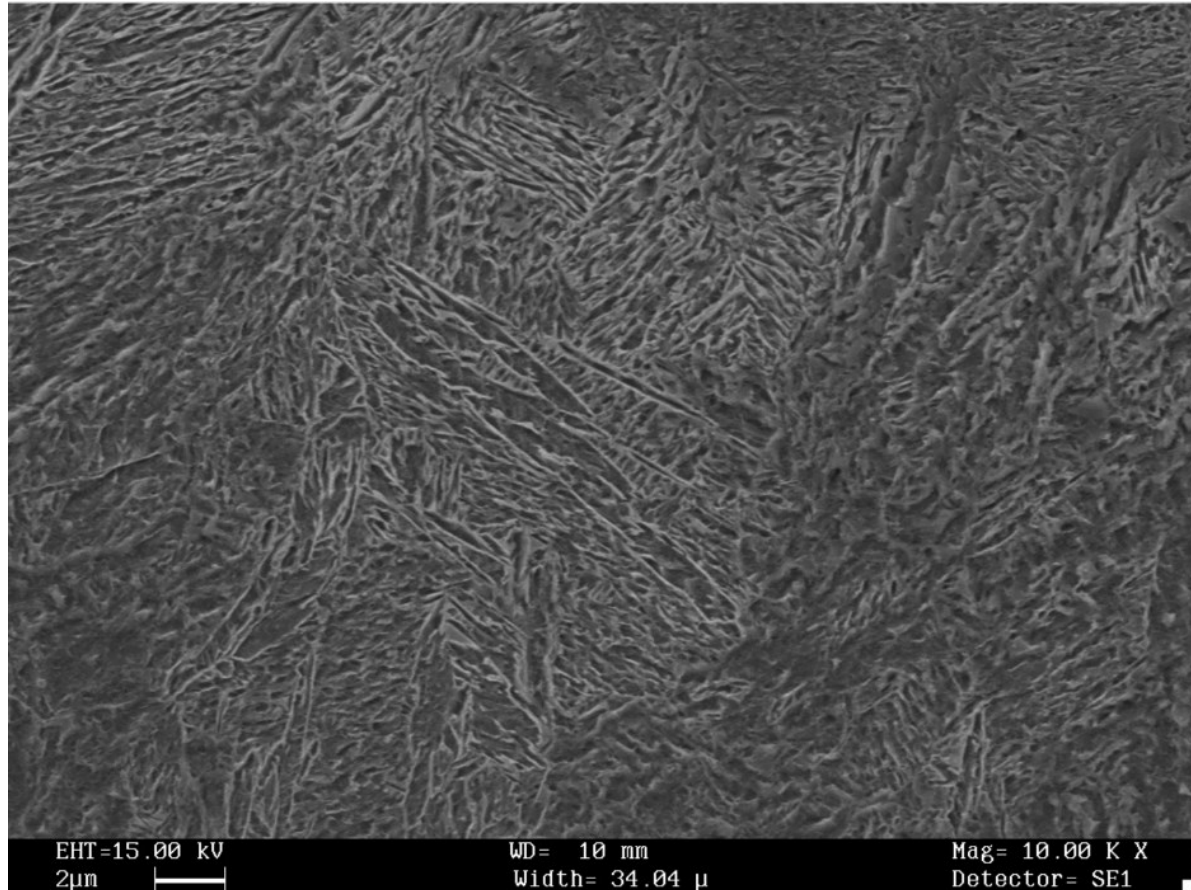


Influenza energia volumetrica sull'estensione media delle celle



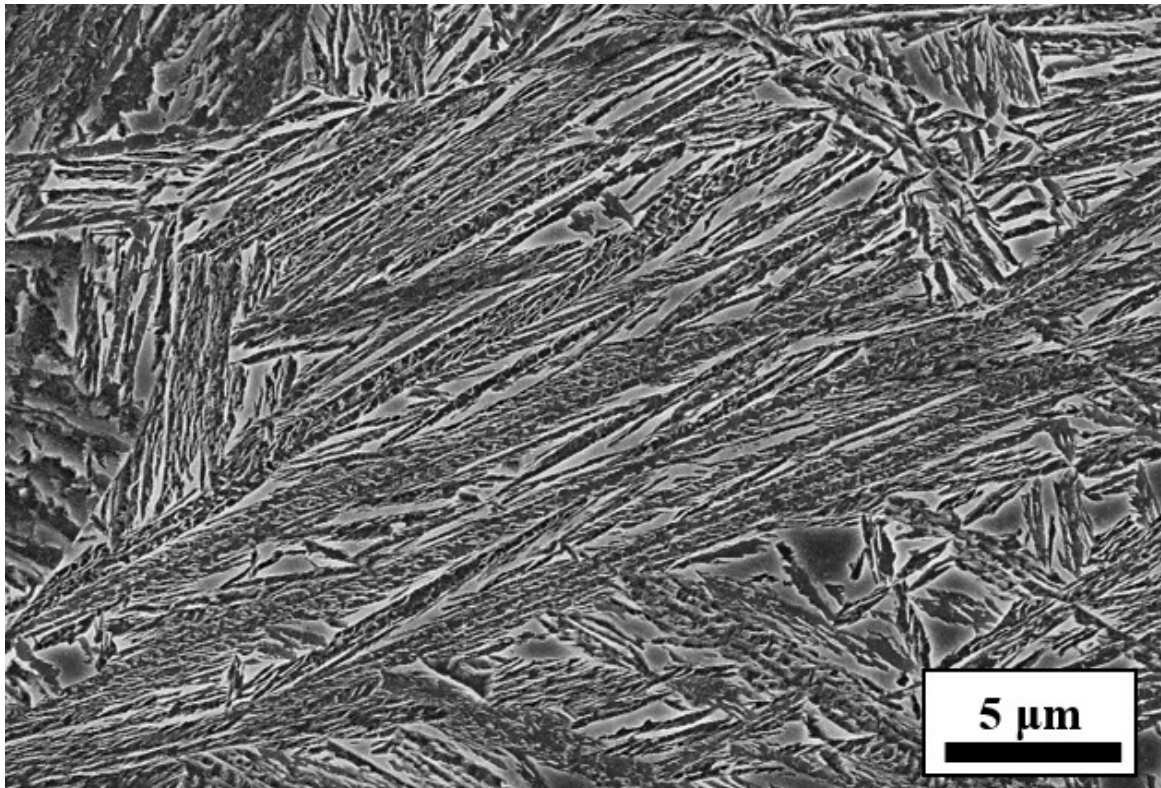
Tramite lo studio della microstruttura al SEM è stato possibile indagare l'influenza della velocità di fabbricazione e dell'energia volumetrica sulla dimensione media delle celle di ferrite bainitica

Microstruttura osservabile in campioni NPH

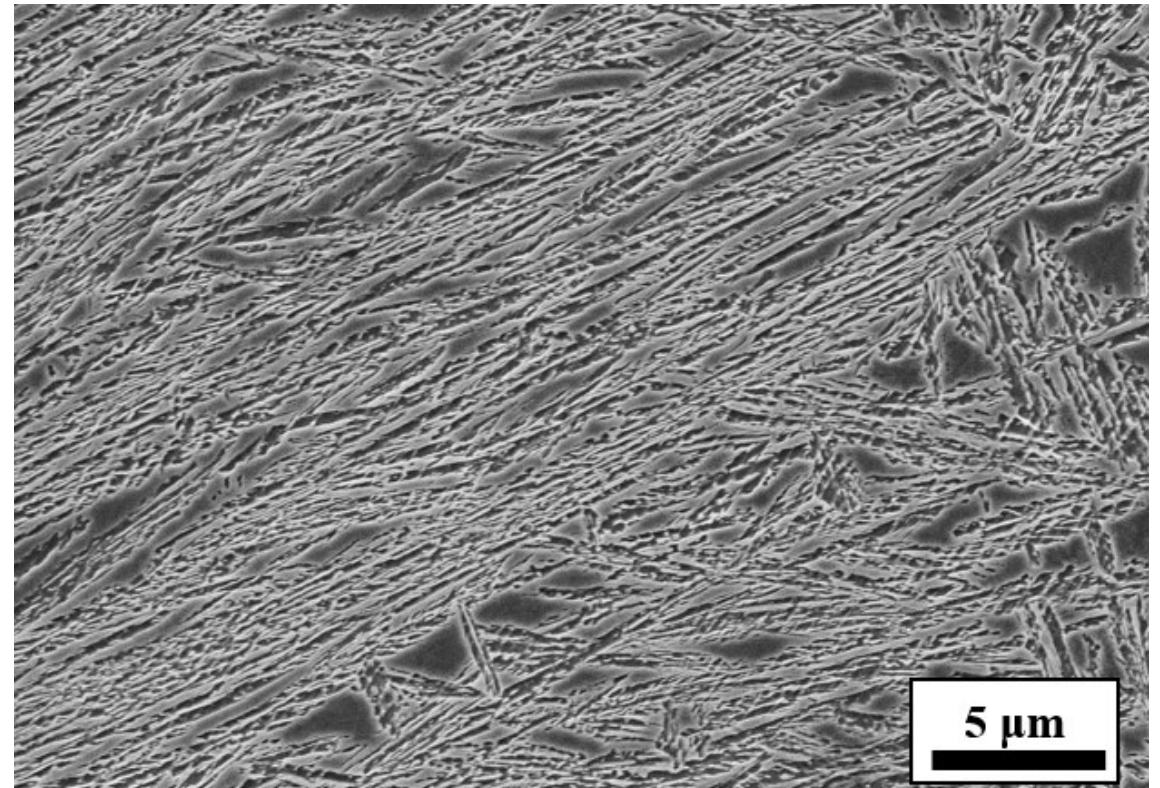


Microstruttura osservabile in campioni PH, essa risulta identica a quella ottenibile tramite il classico trattamento di austempering.

Microstruttura ottenibile tramite trattamento termico effettuato in post processing



Microstruttura ottenuta tramite L-PBF



- Il metodo di fabbricazione L-PBF ha permesso di ottenere campioni con elevata densità (Densità > 99,6%)
- I campioni sottoposti al trattamento di pre-heating hanno registrato densità in media superiori rispetto ai campioni NPH
- Il trattamento di pre-heating permette di ottenere campioni con un numero inferiore di difetti, meno estesi e con forma più regolare
- Il trattamento di pre-heating ha permesso di ottenere la microstruttura bainitica, costituita da ferrite bainitica (celle) e austenite residua (film, blocchi)