

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

Analisi della stabilità termica e meccanica dell'austenite residua in acciai bainitici carbide-free

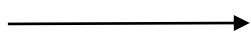
Tutor universitario: Ing. PhD Claudio
Gennari

Laureando: *Federico Germin*

Padova, 10/07/2023

- Gli **acciai bainitici**, caratterizzati da microstruttura **carbide-free** appartengono all'ultima generazione degli "advanced high strength steels (AHSS)".
- Essi stanno riscontrando un crescente interesse nelle applicazioni industriali grazie alle loro ottime proprietà meccaniche date da una combinazione di resistenza e duttilità (UTS: 1500-2000 MPa, allungamento a rottura: ~ 20 %).

Microstruttura



Lamelle di **ferrite bainitica**, **austenite residua** arricchita di carbonio presente sia come **film** che come **blocchi**.

La combinazione di proprietà meccaniche è dovuta alla **ferrite bainitica nanostrutturata** e alla **trasformazione** dell'austenite residua in martensite in seguito all'applicazione di uno sforzo (effetto **TRIP**).



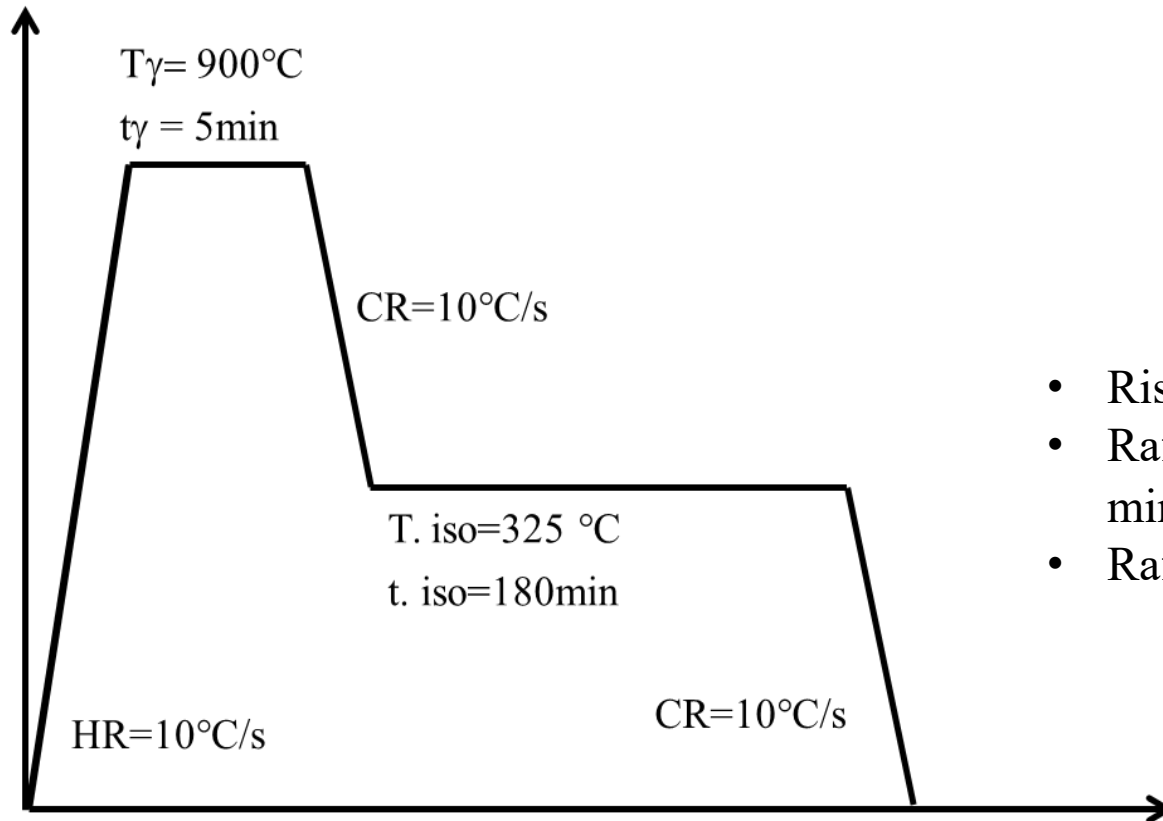
Il trattamento termico necessario per ottenere questa microstruttura è detto **AUSTEMPERING** e consiste in tre fasi:

- austenitizzazione completa.
- Raffreddamento a velocità tale da evitare formazione di ferrite/perlite.
- mantenimento **isotermo** ad una temperatura di poco superiore o inferiore alla temperatura di martensite start.

L'acciaio utilizzato in questo studio presenta la seguente (wt.%):

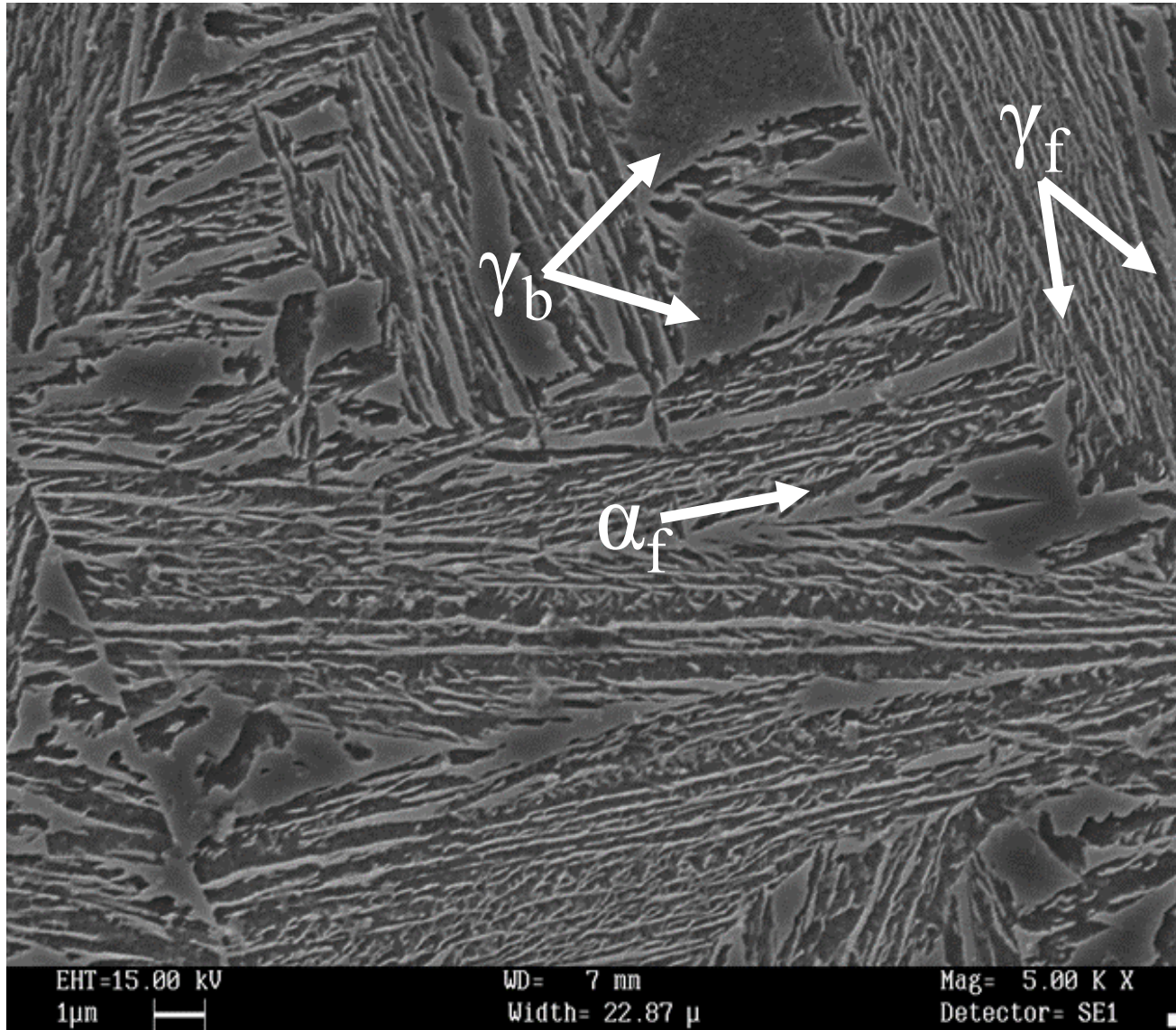
Fe	C	Si	Al	Mn
Bal.	0.38%	3.2%	0.105%	2.56%

Il trattamento termico effettuato è stato:



Ac1(°C)	Ac3(°C)	Ms(°C)
779	835	245

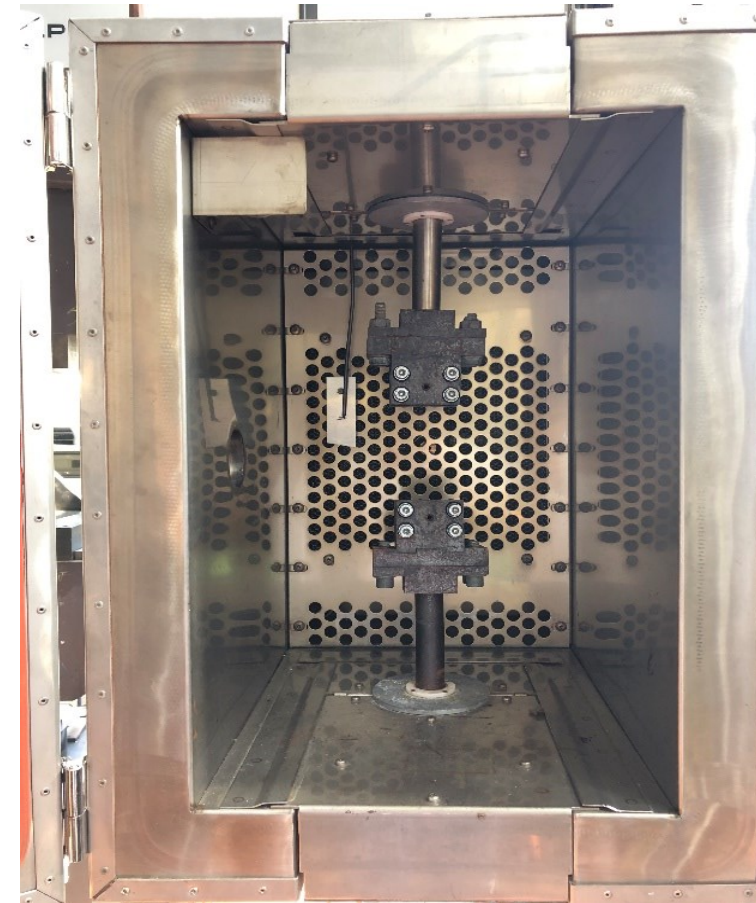
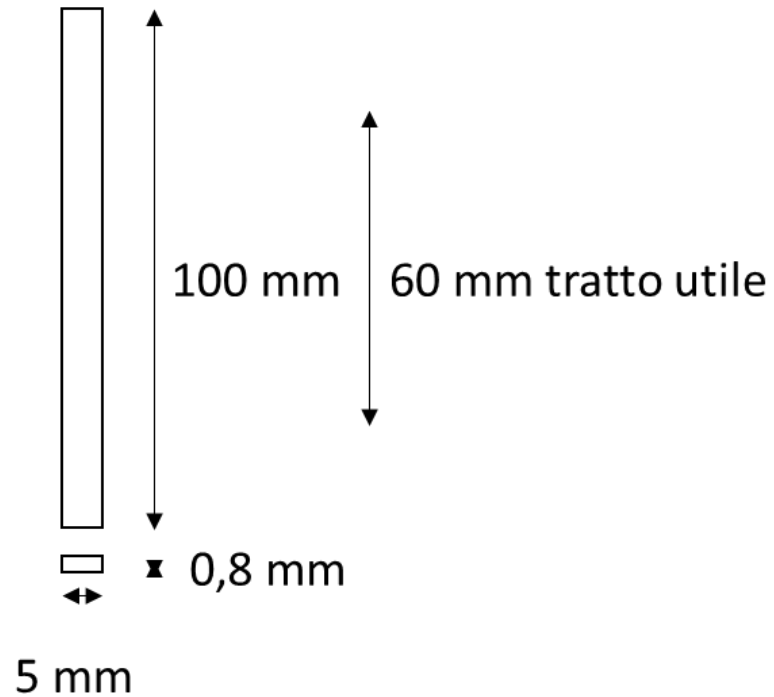
- Riscaldamento (10°C/s) a 900°C e mantenimento per 5 minuti
- Raffreddamento a (10°C/s) fino a 325°C e mantenimento per 180 min.
- Raffreddato a temperatura ambiente in acqua.



La microstruttura iniziale ottenuta dopo il trattamento termico è costituita da 75% di ferrite bainitica e 25% di austenite residua presente sia come film che come blocchi.

L'obiettivo di queste prove è individuare l'effetto della temperatura di deformazione sulle proprietà meccaniche e la microstruttura.

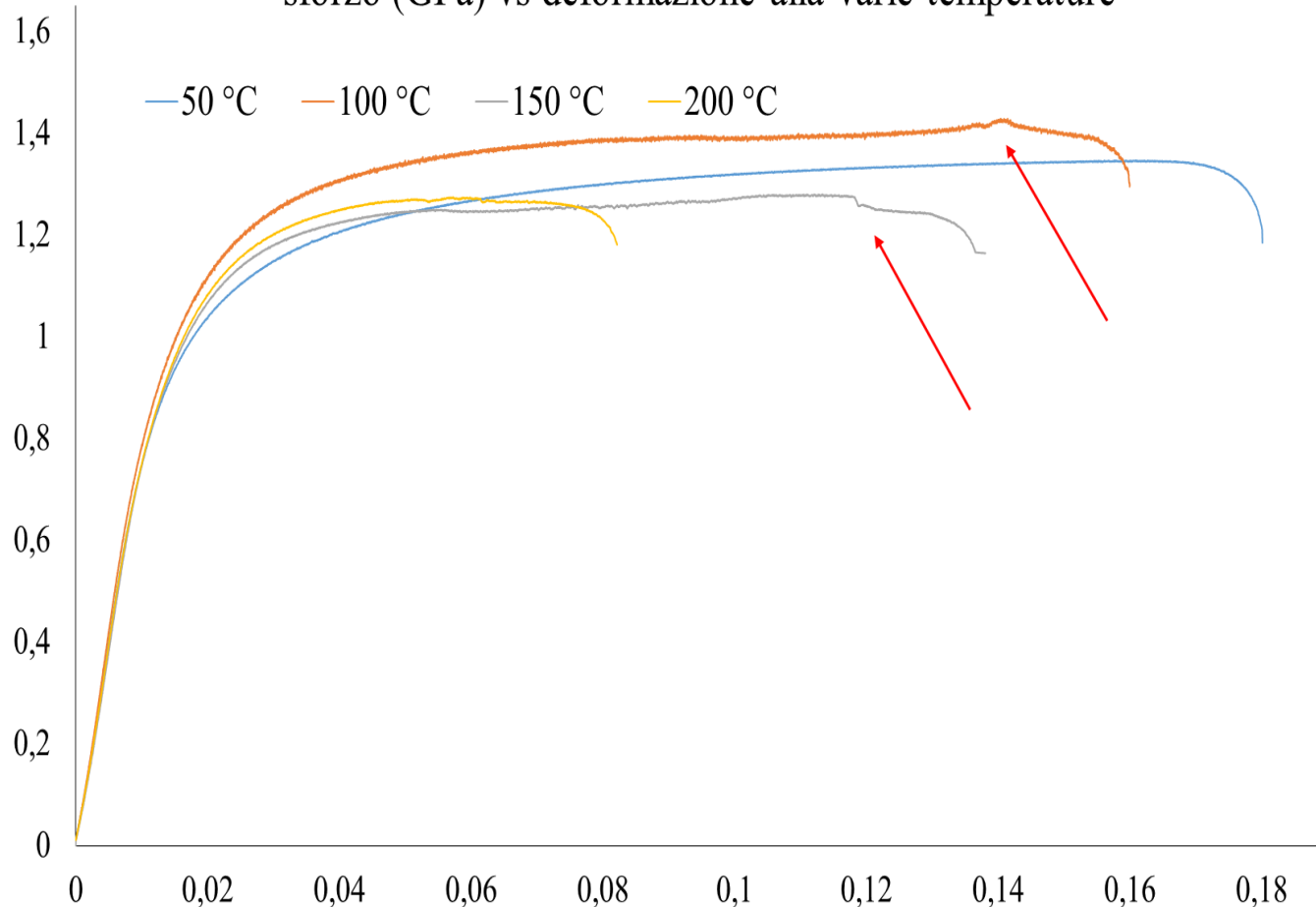
La geometria dei provini utilizzati e la camera climatica sono:



Le prove sono state eseguite alle temperature di 50, 100, 150, 200 °C fino a rottura del campione. Lo strain rate utilizzato è di $1.7 \cdot 10^{-3} s^{-1}$ (pari a 0.1 mm/s).

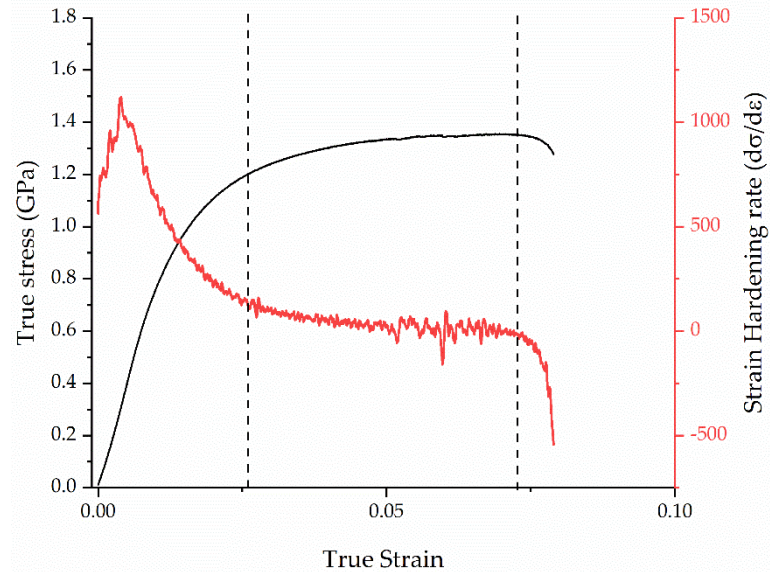
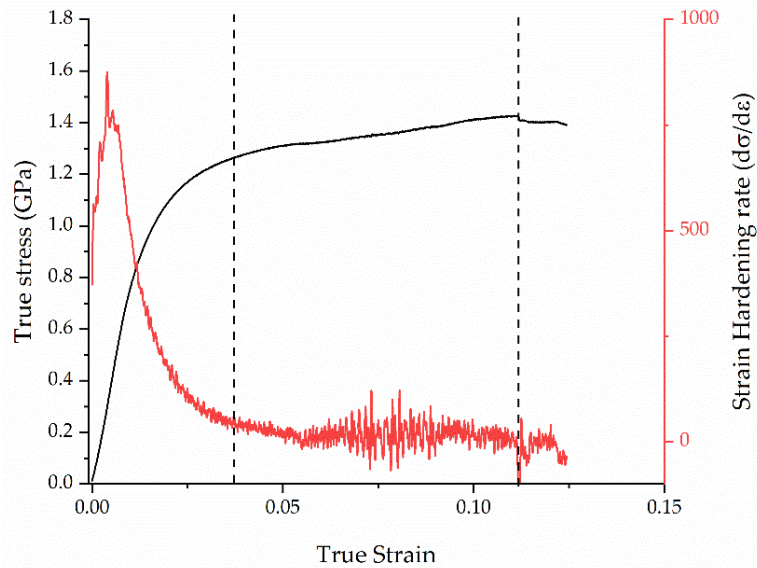
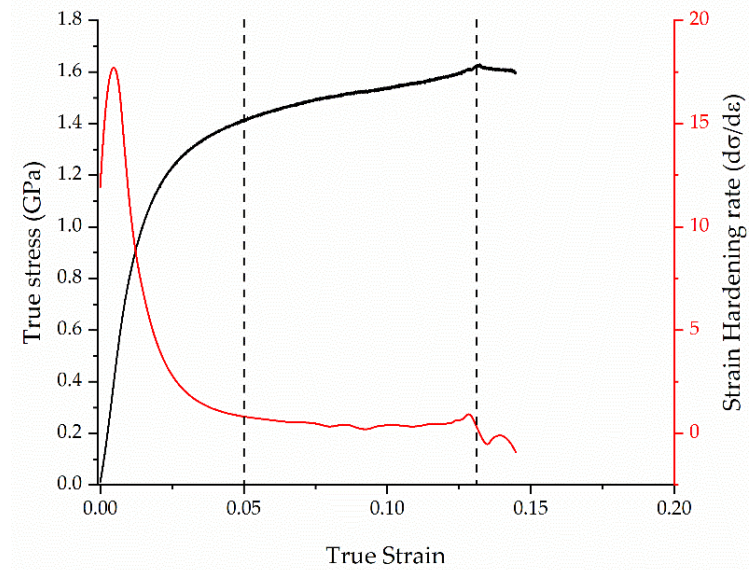
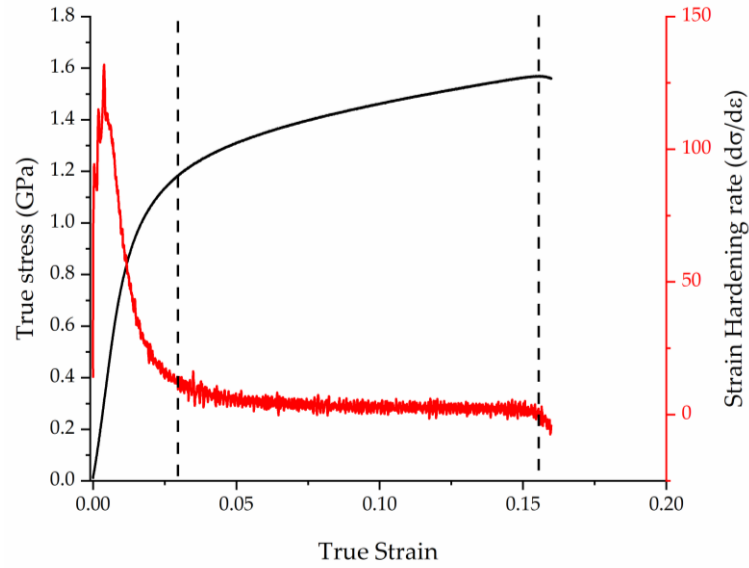
Si ottengono le seguenti curve di trazione:

sforzo (GPa) vs deformazione alla varie temperature

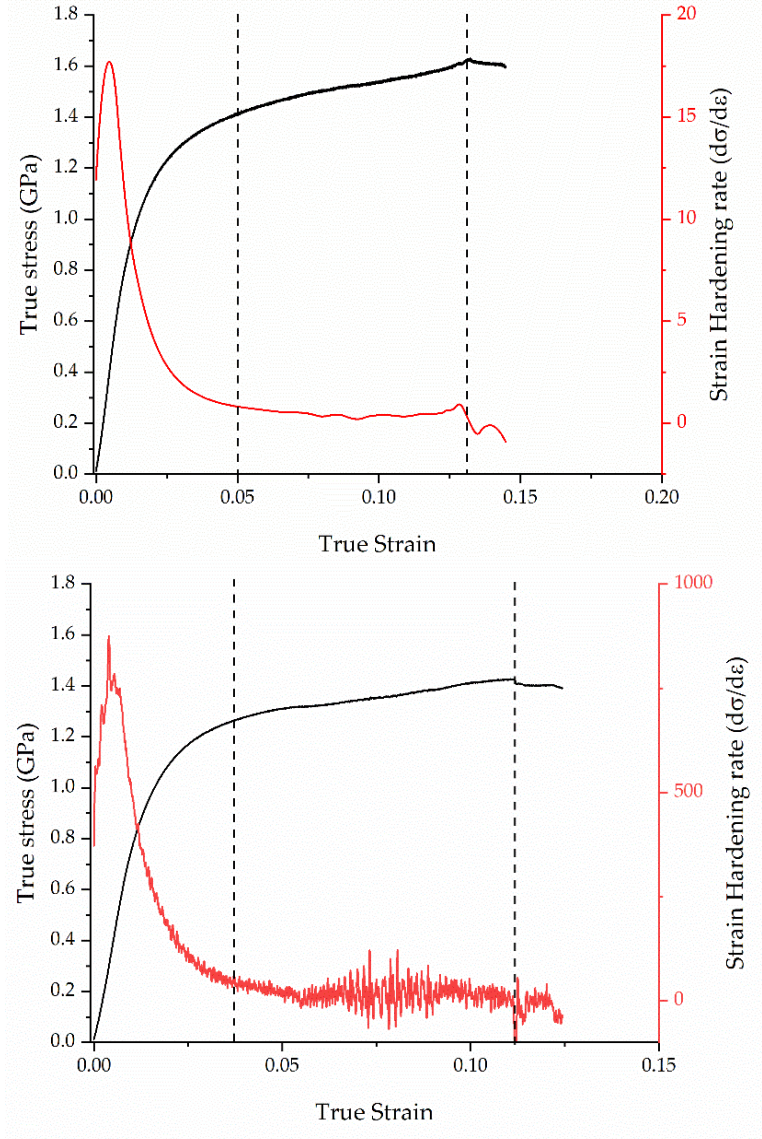


- Per ogni temperatura considerata i provini presentano fenomeno di snervamento continuo senza presenza di bande di Lüders.
- La variazione della temperatura di deformazione ha poco effetto sui valori di UTS e YS che variano di poco passando da una temperatura ad un'altra.

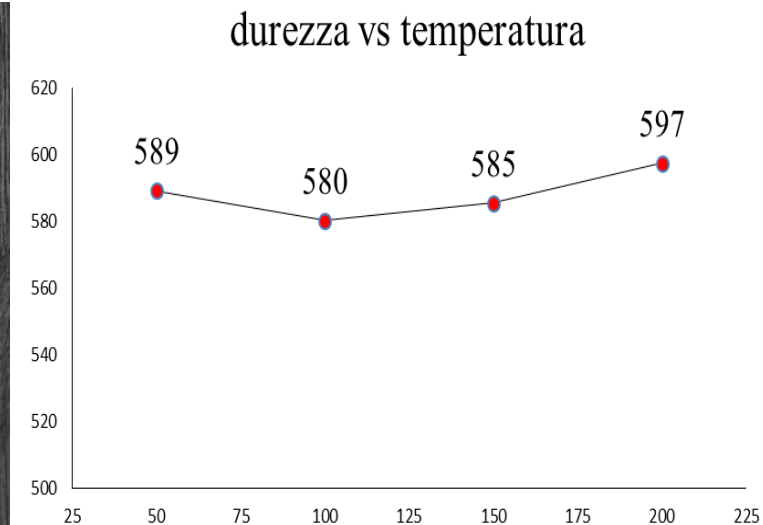
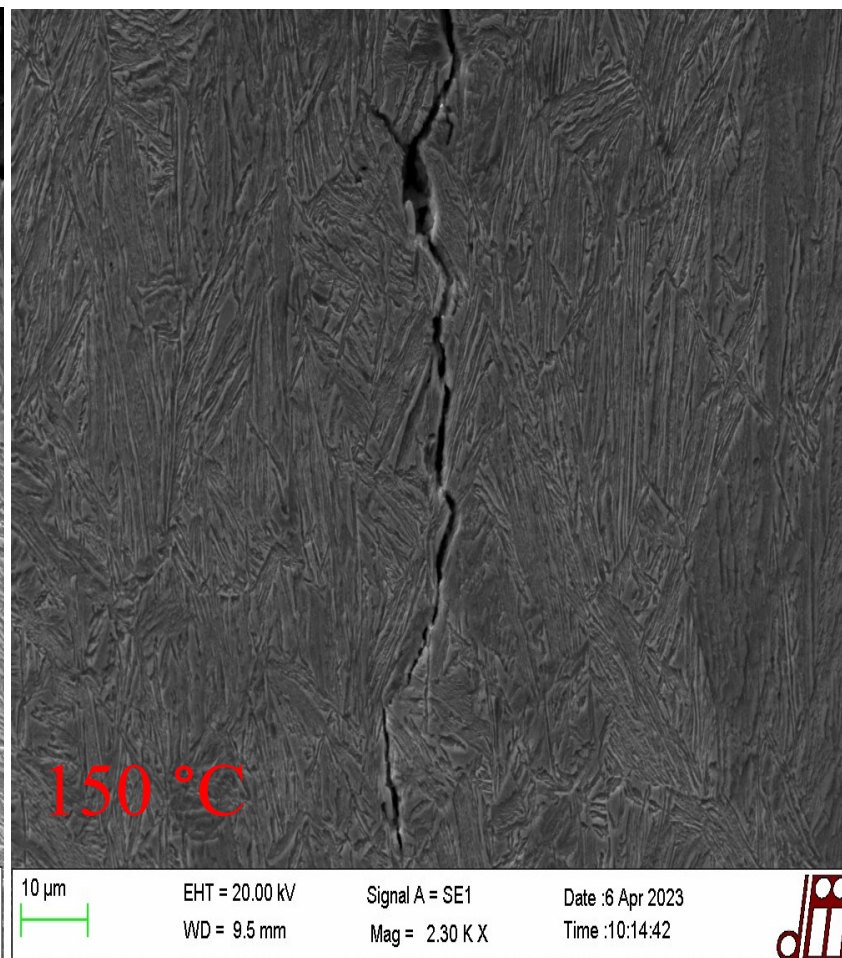
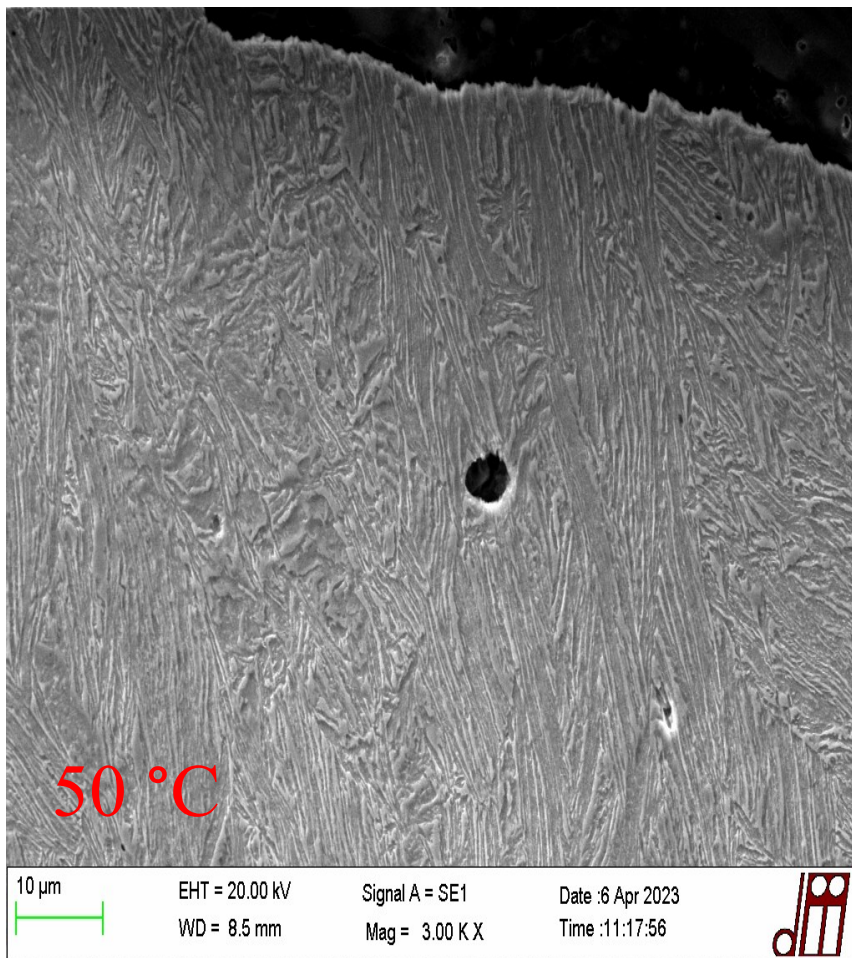
Valutazione dello strain hardening:



Considerando in particolare le curve ottenute a 100 e 150°C

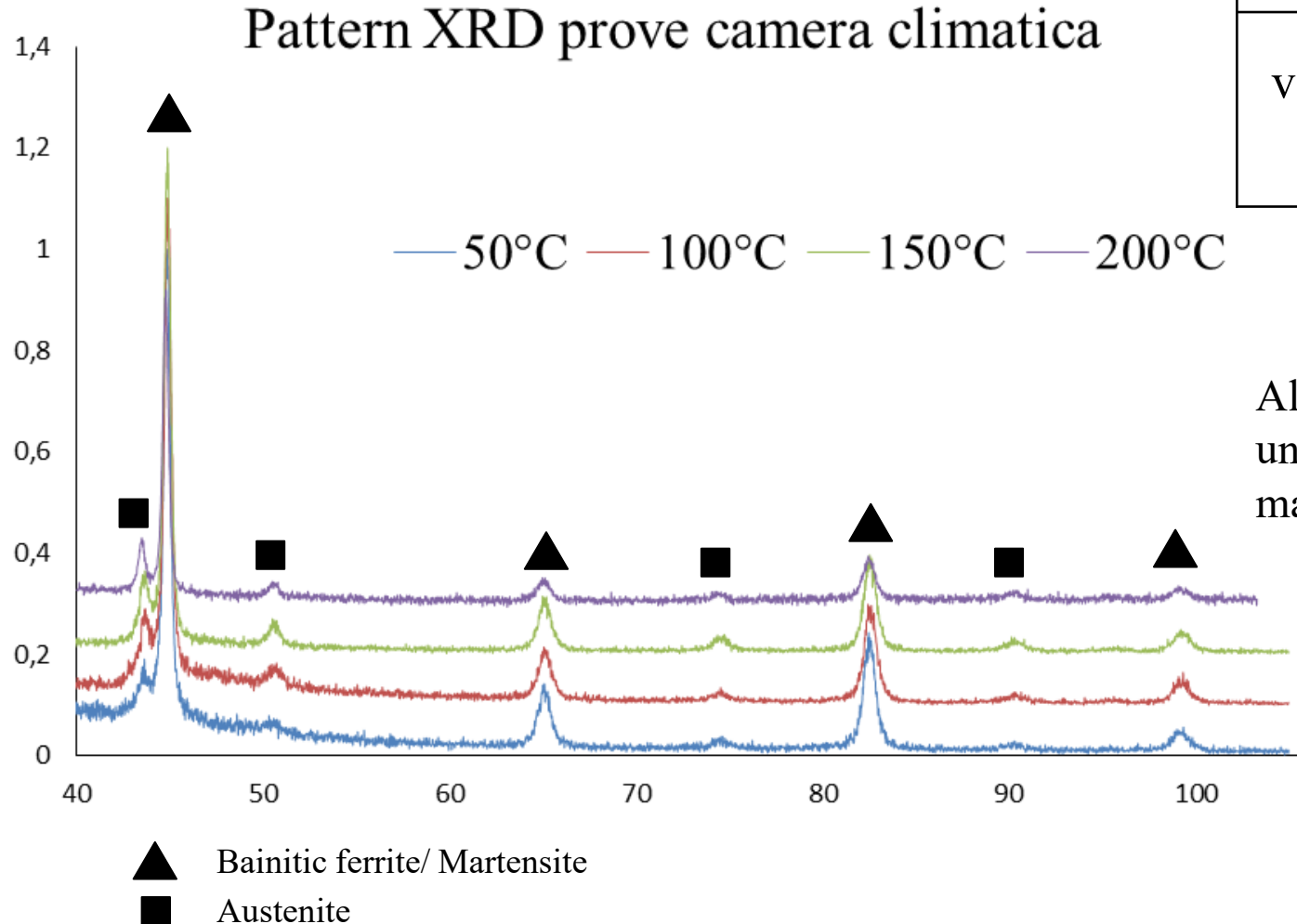


- Lo Strain Hardening presenta un andamento simile per tutte le temperature e nella seconda fase sono presenti delle oscillazioni (effetto PLC) più o meno intense dovute sia all'effetto TRIP sia all'interazione tra gli atomi di carbonio e le dislocazioni in moto.



- La rottura avviene per nucleazione e accrescimento di vuoti nella microstruttura.
- La modifica della microstruttura non comporta una variazione significativa della durezza.

Orientazione della microstruttura concorde alla direzione di applicazione dello sforzo vicino al punto di rottura.



Temperatura di deformazione (°C)	50	100	150	200
Frazione volumetrica di austenite residua	12±3	18±3	20±3	25±3

All'aumentare della temperatura di deformazione si registra una sempre minore trasformazione dell'austenite in martensite.

- Vi è una correlazione tra applicazione di uno stress meccanico esterno e modifica della quantità di austenite.
- La stabilità dell'austenite residua varia con la temperatura in particolare aumenta con essa e questo porta ad una diminuzione dell'entità dell'effetto TRIP ad elevate temperature.
- Dalle prove XRD si evince che la quantità di austenite residua aumenta all'aumentare della temperatura di deformazione fino ad essere uguale a quella iniziale per la temperatura di 200°C
- Minore effetto TRIP ad elevate temperature peggiora alcune proprietà meccaniche in particolare un minore allungamento a rottura.

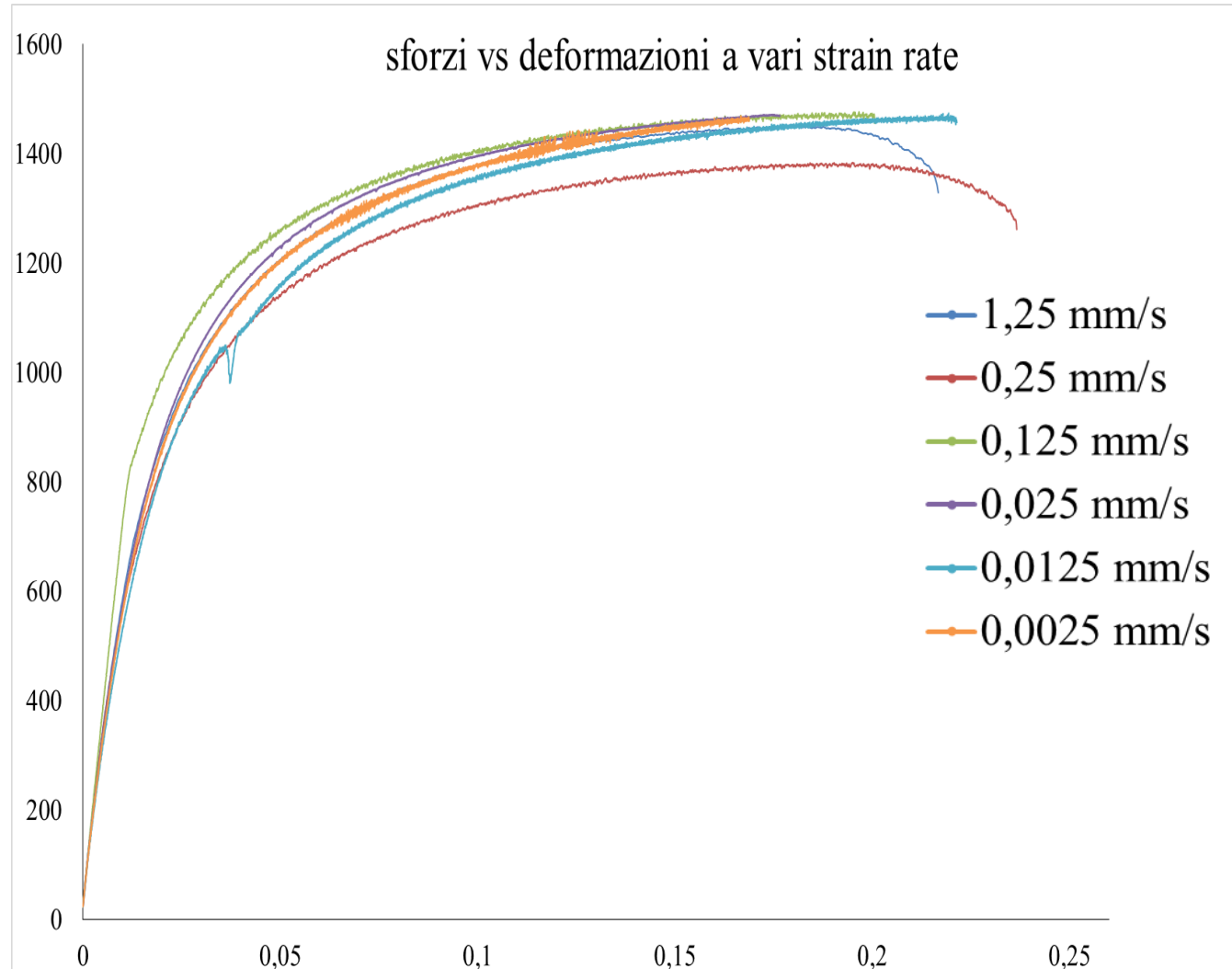
L'obiettivo di queste prove è individuare l'effetto della velocità di deformazione sulle proprietà meccaniche e la microstruttura.

La macchina di trazione utilizzata è:

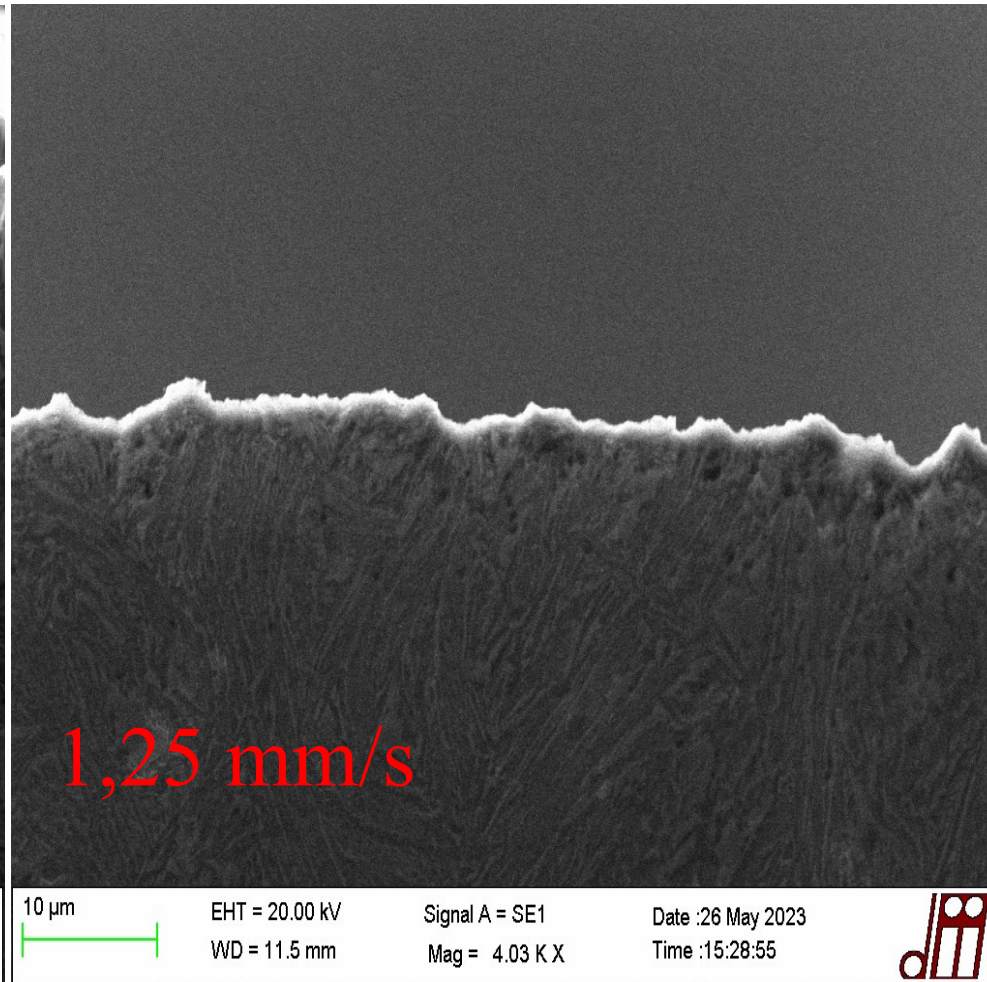
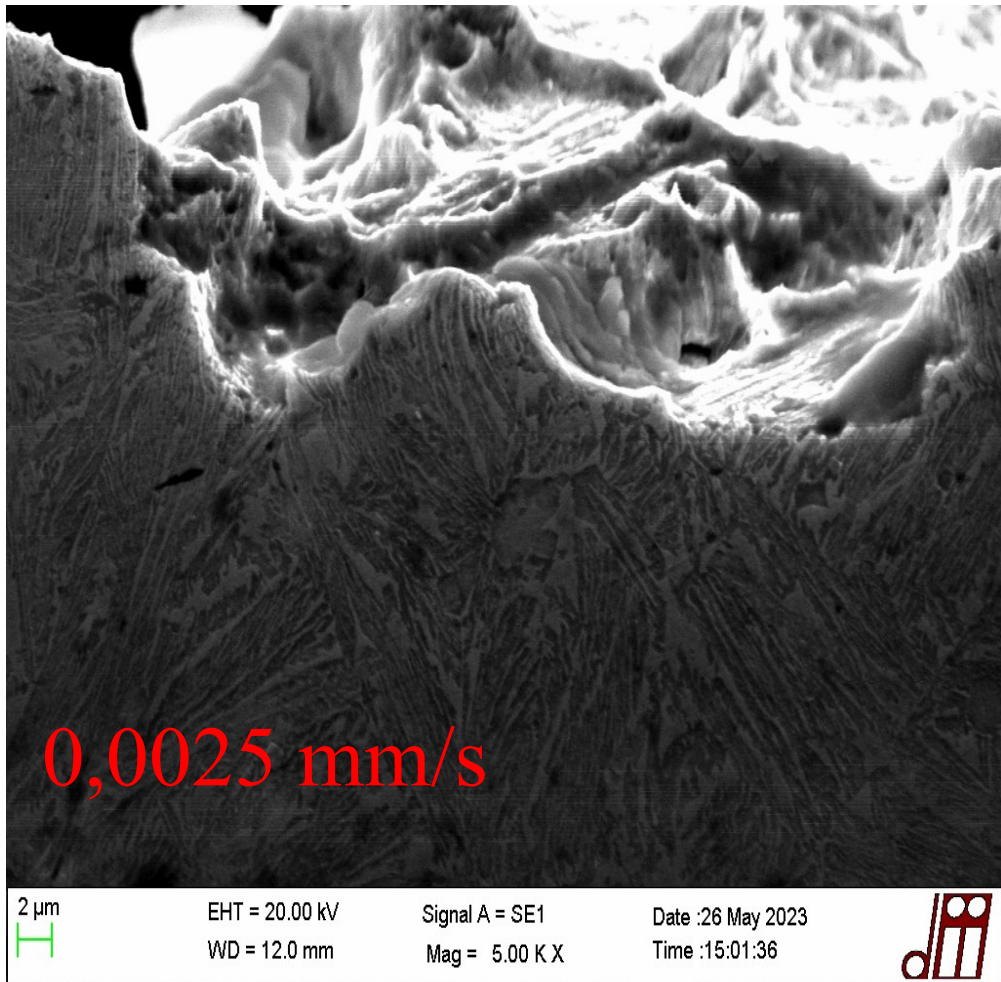


Le prove sono state eseguite fino a portare a rottura il campione e sono stati utilizzati strain rate di:
 $5 \cdot 10^{-2}, 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}, 5 \cdot 10^{-4}, 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Si ottengono le seguenti curve di trazione:



- Per ogni strain rate considerato i provini presentano fenomeno di snervamento continuo senza presenza di bande di Lüders
- Il valori di UTS e YS tendono a diminuire leggermente all'aumentare della velocità di deformazione anche se per le velocità studiate la variazione è molto piccola.
- I provini deformati alle velocità maggiori sono gli unici che danno strizione durante la deformazione gli altri si rompono una volta arrivati ad UTS

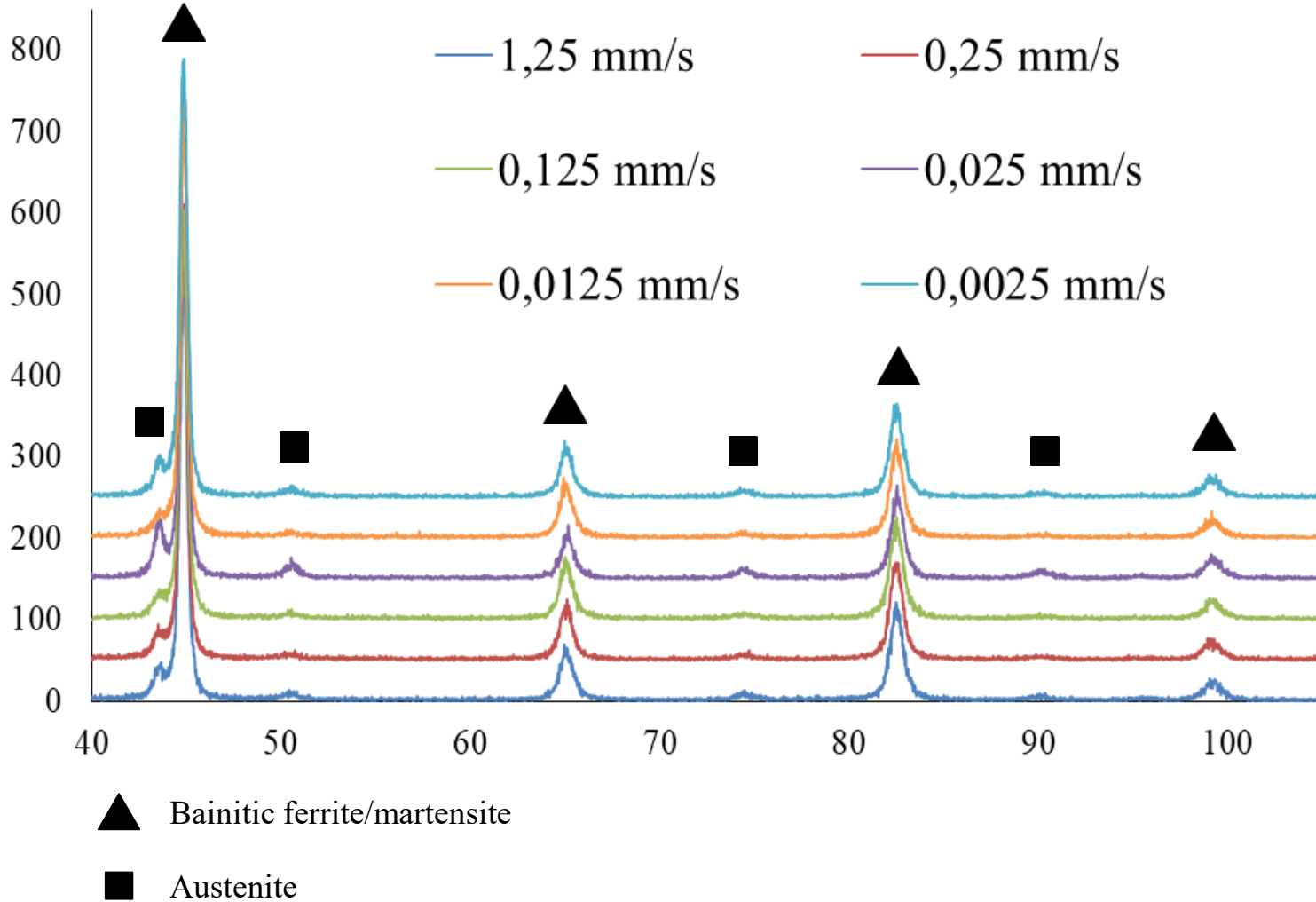


mm/s	HV
0.0025	547
0.0125	541
0.025	550
0.125	564
0.25	552
1.25	555

- Anche in questo caso una modifica della microstruttura non comporta una modifica significativa della durezza

Il meccanismo di rottura è molto influenzato dalla velocità di applicazione della deformazione

Pattern XRD ai vari strain rate



Velocità di deformazione mm/s	Frazione volumetrica di austenite residua
0,0025	9.3 ± 3
0,0125	9.2 ± 3
0,025	12.3 ± 3
0,125	7.4 ± 3
0,25	10 ± 3
1,25	13.3 ± 3

All'aumentare della velocità di deformazione c'è una sempre minore tendenza dell'austenite a trasformarsi

- La velocità di applicazione di uno stress meccanico esterno influenza l'entità dell'effetto TRIP (e di conseguenza la quantità di austenite residua presente nei provini), tuttavia servono delle tecniche di caratterizzazione più accurate per definire il legame tra queste due grandezze.
- Diverse velocità di deformazione portano a diversi comportamenti a rottura, più lenta è l'applicazione della deformazione più la frattura tende ad essere fragile, in quanto si osservano diversi gradi di trasformazione martensitica.
- L'allungamento a rottura varia al variare della velocità di deformazione ma tra le due grandezze non c'è una correlazione chiara.