

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale  
«Studio e caratterizzazione di un acciaio  
altoresistenziale microlegato al Vanadio»***

Tutor universitario: Prof. Irene Calliari

Tutor aziendale: Alberto Canale

Laureando: *Stefano Toffoletto*

Padova, 19/09/2023



Tirocinio formativo svolto presso l'ufficio produzione dell'azienda SAFAS S.P.A. L'azienda è stata fondata più di 60 anni fa specializzandosi nella produzione di getti in acciaio. Con una produzione di oltre 5000 tonnellate di prodotti finiti all'anno ricopre un ruolo da leader nel panorama mondiale.

I prodotti finiti ricoprono già ora diversi settori nel mercato internazionale: prodotti per centrali termoelettriche, per centrali idroelettriche, per piattaforme off-shore, per l'industria estrattiva e persino per l'industria delle centrali nucleari.

Safas comunque continua il suo programma di aggiornamento tecnologico e nella ricerca e sviluppo, per poter continuare a competere nel panorama internazionale



## ***Studio e caratterizzazione di un acciaio altoresistenziale microlegato al Vanadio.***

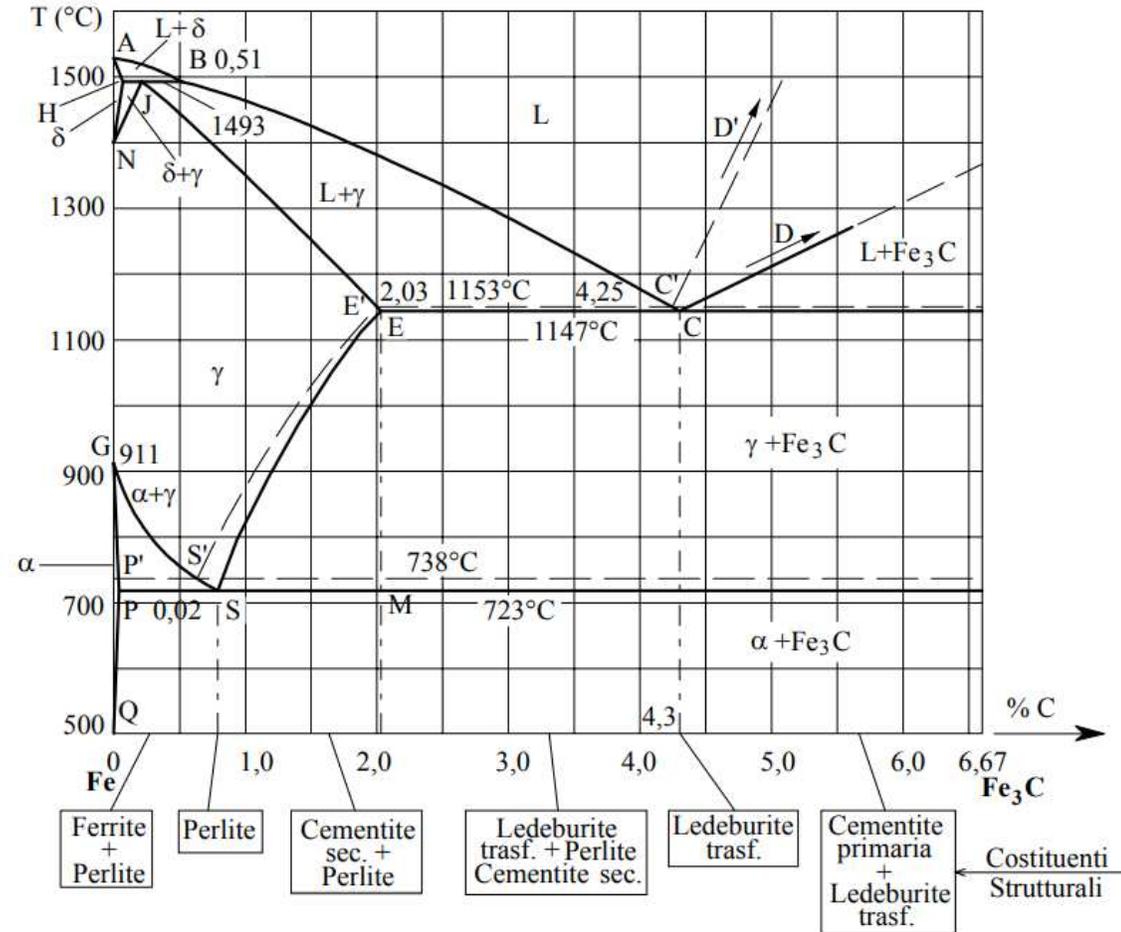
Le fasi dello studio prevedono quindi:

- Studio bibliografico degli acciai microlegati
- Studio dei trattamenti termici
- Test di vari cicli di trattamenti termici per estrarne il migliore
- Prove meccaniche su provini normati e micrografie correlate
- Analisi dei risultati sperimentali e comparazione con i requisiti di norma

Una lega ferro-carbonio è una miscela di ferro (Fe) e carbonio (C) in vari tenori, spesso con l'aggiunta di altri elementi per conferire proprietà specifiche. Questa lega è meglio conosciuta come acciaio o ghisa, a seconda delle proporzioni di carbonio e degli eventuali elementi di lega presenti.

### Caratteristiche del diagramma Fe-C :

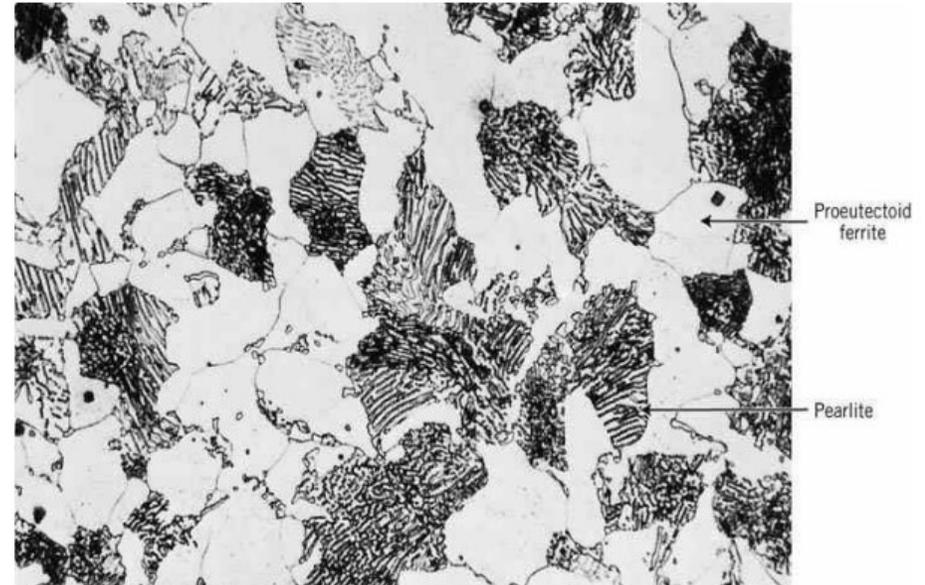
- Forme allotropiche del ferro
- Punti critici
- Fasi
- Costituenti microstrutturali
- Effetto degli elementi alliganti



## L'acciaio è una lega Fe-C con una percentuale di carbonio inferiore al 2,06%

L'acciaio è una lega Fe-C con una percentuale di carbonio inferiore al 2,06%.

Al suo interno possono esserci anche altri elementi alliganti oltre al carbonio, ma non contiene generalmente componenti strutturali fragili ed è quindi solitamente adatto ad impieghi che richiedono buone proprietà meccaniche e al contempo tenacità.



Acciaio ipoeutetoidico in cui si vede in bianco la ferrite e in scuro la perlite

Gli acciai microlegati comprendono circa il 12% della produzione mondiale di acciaio.

Tali acciai sono stati sviluppati nella seconda metà del XX secolo e sono ottenuti mediante l'aggiunta, ad un semplice acciaio con basso tenore di carbonio, di uno o più elementi alliganti quali titanio, niobio e vanadio in percentuali comprese tra lo 0,05% e lo 0,15% in peso.

### **Caratteristiche degli acciai microlegati:**

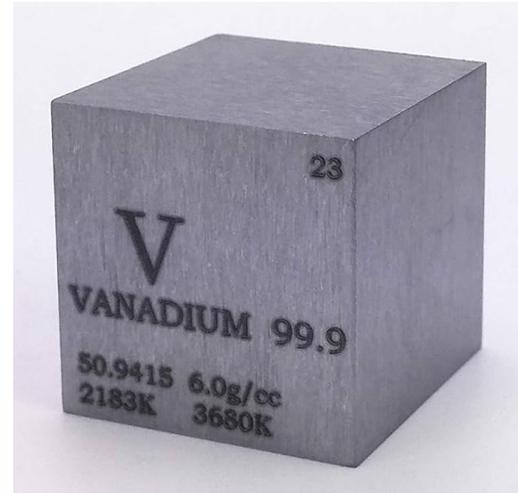
- migliore resistenza meccanica ma allo stesso tempo buona tenacità, deformabilità, saldabilità e una buona resistenza alla corrosione.
- Costi contenuti e competitivi.
- In grado di soddisfare requisiti meccanici e non chimici rispetto ad acciai altolegati.
- La presenza di carburi all'interno della matrice dell'acciaio previene il moto delle dislocazioni e di conseguenza comporta un incremento del carico di snervamento senza compromettere la saldabilità del materiale.

**La presenza del vanadio come alligante comporta un elevato incremento delle proprietà meccaniche.**

## IL VANADIO



- È un elemento alfaceno
- Incremento della resilienza
- Affinamento della grana cristallina
- Presenza di Carburi di vanadio all'interno della lega



Inibizione della crescita del grano a temperature elevate

Siti preferenziali per la nucleazione di nuovi grani di ferrite

Vengono definiti dalla norma UNI 3354/70 come una: *“operazione o successione di operazioni mediante le quali una lega o un metallo vengono assoggettati, al di sotto del punto o dell’intervallo di fusione, in ambiente di natura determinata, ad uno o più cicli termici, nell’intento di impartire loro determinate proprietà”*.

Per uno stesso componente in acciaio di ugual composizione chimica e geometria esterna, è possibile dunque ottenere differenti proprietà di resistenza alla trazione, all'impatto, all'usura, alla fatica eseguendo differenti trattamenti termici

I trattamenti termici utilizzati all’interno dell’esperienza di tirocinio sono:

- Trattamento termico di **normalizzazione**
- Trattamento termico di **tempra**
- Trattamento termico di **tempra intercritica**
- Trattamento termico di **rinvenimento**

## L'acciaio testato in questo progetto è un acciaio microlegato al vanadio

%															
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	CE	W	Cu	As	Ti
0,125	0,96	0,4	0,001	0,01	0,21	0,46	0,12	0,085	0,039	0,021	0,395	0,004	0,085	0,032	0,0013

*Analisi chimica dell'acciaio microlegato analizzato*

### Trattamenti termici effettuati su due provette

1A: N 980°C;	T 950°C;	R 645°C;	
2A: N 980°C;	T 950°C;	R 620°C;	
3A: N 980°C;	T 950°C;	TI 840 °C;	R 645°C;
4A: N 980°C;	T 950°C;	TI 840 °C;	R 620°C;
1B: N 920°C;	T 900°C;	R 645°C;	
2B: N920°C;	T 900°C;	R 620°C;	
3B: N 920°C;	T 900°C;	TI 840 °C;	R 645°C;
4B: N 920°C;	T 900°C;	TI 840 °C;	R 620°C;

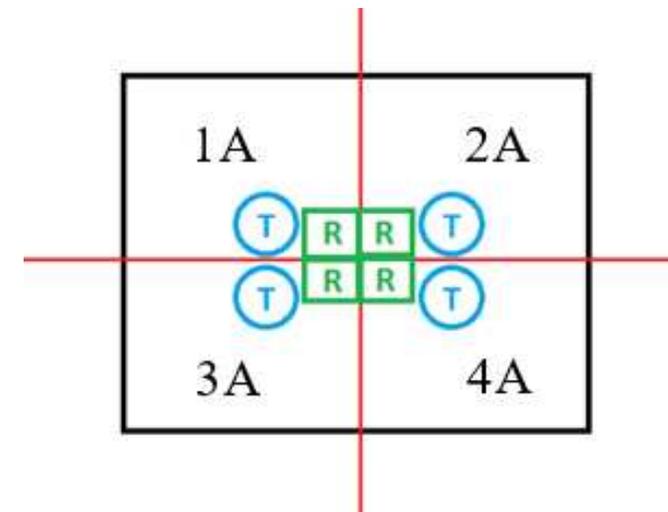


I provini normalizzati, temprati e rinvenuti, sono poi stati portati in officina per ottenere provini normati e poter eseguire le prove meccaniche di resilienza (norme ASTM E23 e ISO 148-1) e di trazione (norma UNI EN 10002/1).

Le teste dei provini di trazione sono poi state tagliate e lucidate per eseguire prove di durezza ed effettuare le micrografie.

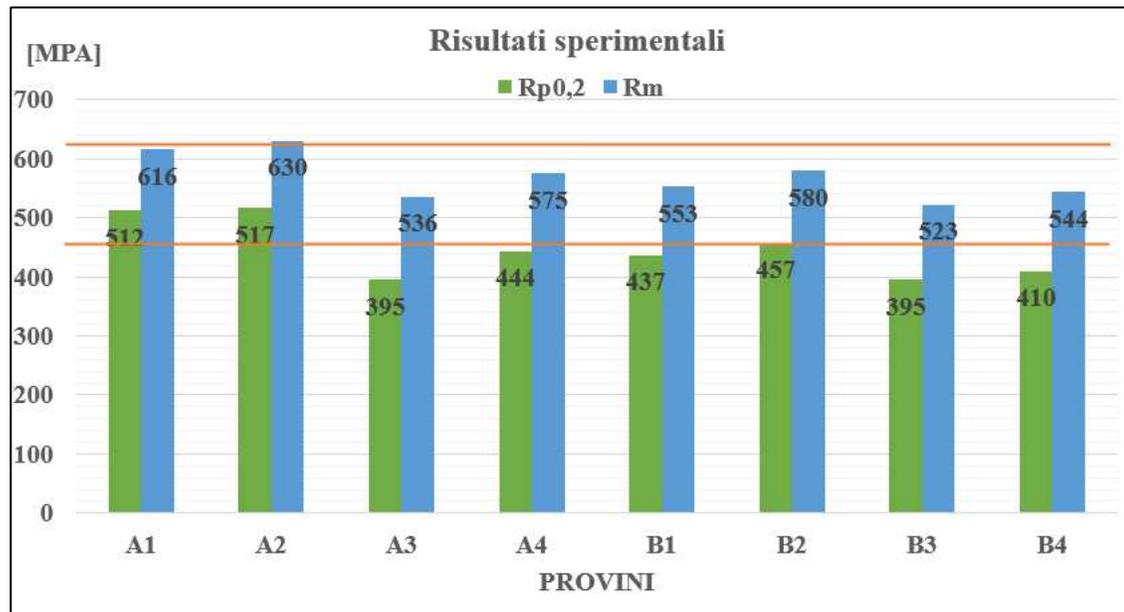
Le prove meccaniche effettuate sono:

- Prova di trazione
- Prova di resilienza a temperatura di  $-46^{\circ}\text{C}$  (da norma)
- Prova di durezza



Sketch su come ricavare provini normati per le prove meccaniche

I risultati ottenuti sperimentalmente confermano che i trattamenti termici svolti sui provini ne hanno modificato le proprietà meccaniche.



N° Provino	Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %	Z %	Rp 0,2/Rm	KV °T	HBW	d <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1A	512	616	23,60	76,0	0,83	111/126/114 T=-46°C	204	10	78,54
2A	517	630	23,20	73,0	0,82	69/75/15 T=-46°C	206	10	78,54
3A	395	536	29,80	78,8	0,74	207/174/180 T=-46°C	173	10	78,54
4A	444	575	27,00	77,0	0,77	156/174/183 T=-46°C	180	10	78,54
1B	437	553	26,60	77,9	0,79	240/192/120 T=-46°C	188	10	78,54
2B	457	580	25,40	76,0	0,79	87/105/150 T=-46°C	192	10	78,54
3B	395	523	30,80	78,8	0,76	261/255/285 T=-46°C	167	10	78,54
4B	410	544	30,40	77,9	0,75	165/264/183 T=-46°C	167	10	78,54

Limiti di norma per rientrare all'interno del grado 1B:

- Carico di snervimento: >430 Mpa
- Carico di rottura > 620 Mpa
- Resilienza media (-46°C) > 20 J
- Resistenza minima del singolo valore (-46°C) > 14 J



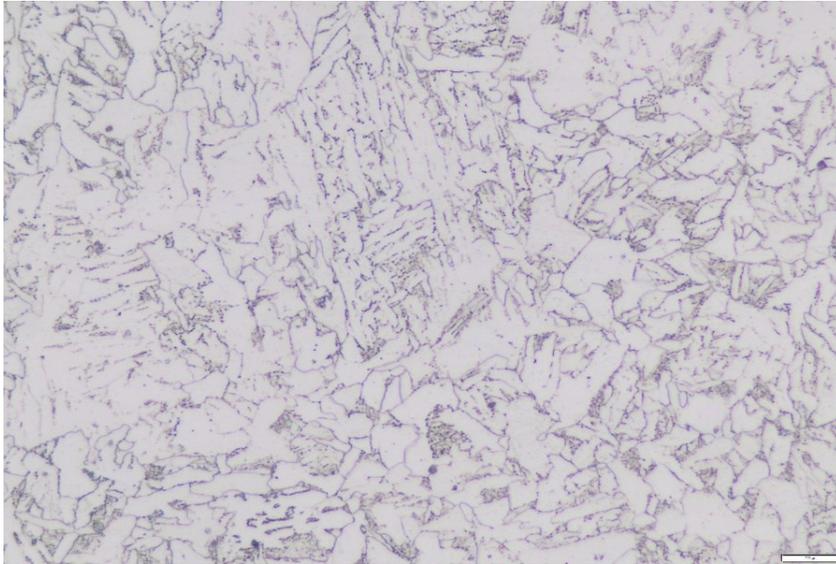
Provino 2A, Nital 3 Etch, 100X

- Struttura disomogenea di base ferritico-perlitica.
- Grani di forma aciculare con coesistenza di martensite e bainite.

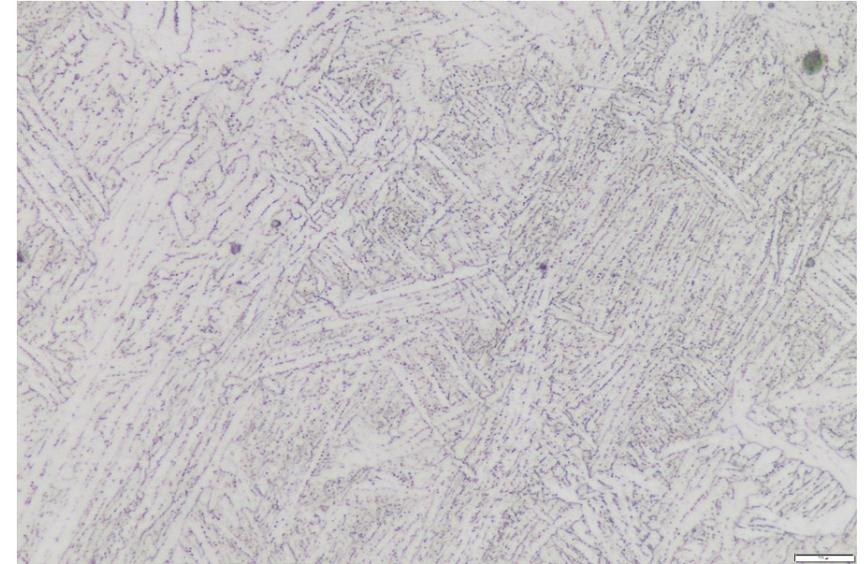


Provino 2B, Nital 3 Etch, 100X

- Struttura omogenea ferritico-perlitica.
- Riconoscimento di zone più scure che indicano la segregazione del bordo grano originale prima dei trattamenti termici.



Provino 2A, Nital 3 Etch, 1000X



Provino 2B, Nital 3 Etch, 1000X

Nonostante una grana più fine ed omogenea dei provini temprati con tempra intercritica, i carichi maggiori vengono sopportati dai provini che hanno subito normalizzazione e tempra a temperatura più alte senza essere sottoposti a tempra intercritica.

Il ciclo di trattamenti termici comprendente:

- Normalizzazione a 980°C
- Tempra a 950°C
- Rinvenimento a 620 °C

ha permesso una dispersione fine dei carburi e quindi un loro posizionamento non solamente a bordo grano. Questo è dovuto alla maggiore solubilità fornita dalla più alta temperatura di tempra. Inoltre, presenta una finezza della grana tale da consentire anche resilienze adeguate.

Dopo tali considerazioni in Safas si procederà a portare avanti lo studio su tali materiali andando ad aumentare la % di vanadio nell'analisi chimica per verificare l'effetto dello stesso a tenori maggiori in lega. Lo scopo sarà quello di arrivare ad ottenere risultati soddisfacenti e superiori alla richiesta della norma in modo da esser sicuri di raggiungerli anche in getti di maggiori dimensioni che sono più difficili da trattare termicamente.



Grazie per l'attenzione.

*Stefano Toffoletto*