

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

# ***Relazione per la prova finale***

***«Studio sul cedimento a fatica di tubi per alta pressione»***

Tutor universitario: Prof. Alberto Benato

Laureando: *Kevin Pesarin*

Padova, 19/03/2024



Chesini Meccanica, azienda fondata nel 1964, da sempre punto di riferimento nella produzione di raccordi e tubazioni ad alta pressione per il settore automotive.

Nell'ultimo decennio ha effettuato investimenti nel settore dell'alta pressione common rail, grazie anche alla collaborazione con FIAT. Tecnologia che Chesini Meccanica ha poi proposto, con successo, anche ad altri clienti come Magneti Marelli e Iveco.

Per arrivare a resistere a delle pressioni tali, i tubi devono avere alte prestazioni meccaniche, come nel caso degli acciai inox e subire un processo di autofrettaggio.



La produzione di tubi viene determinata da alcuni fattori: costruttivi, dimensionali, materiali.

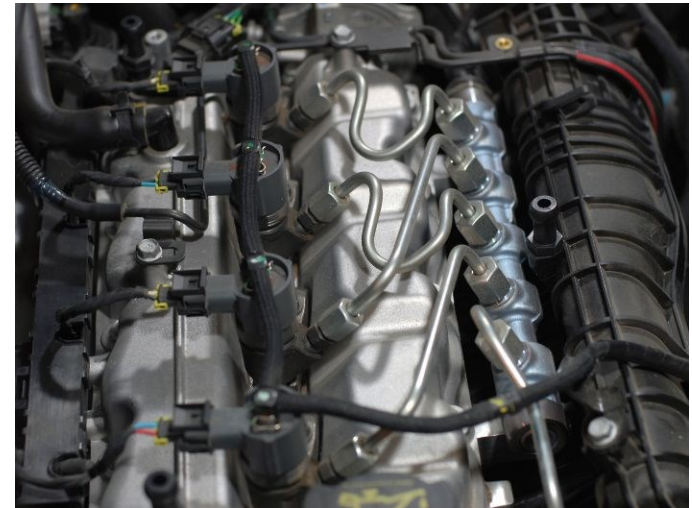
Oltre a questo si può fare una classificazione in base al loro utilizzo:

- Tubi per condotte;
- Tubi meccanici (per strutture).

Si può fare un'altra classificazione in base al modo utilizzato per ottenere questi tubi:

- Tubi **con saldatura**;
- Tubi **senza saldatura**.

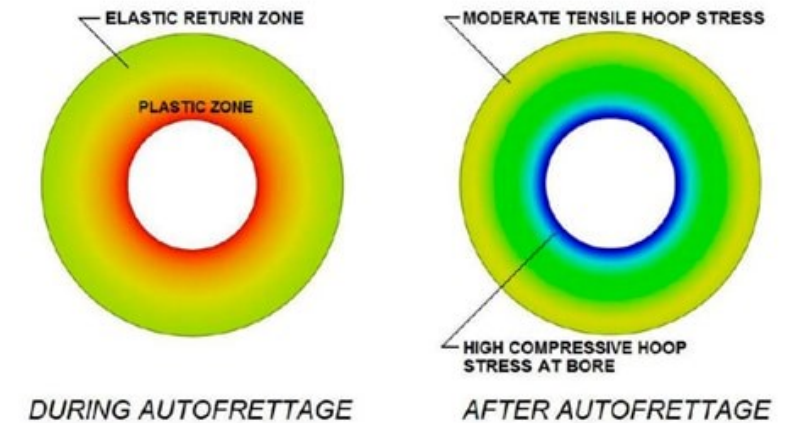
Nel nostro caso, per resistere a tali pressioni, si può praticamente esser certi che questi tubi siano stati ottenuti senza saldatura, quindi con un processo Mannesmann.



Per ottenere tubi con elevata resistenza alla pressione, viene utilizzato un processo chiamato *autofrettaggio*.

Si tratta di un processo tipicamente usato nel campo delle alte pressioni.

- A cosa serve: Con questa lavorazione si va ad incrementare notevolmente la **vita a fatica** di tubi sottoposti a pressione ciclica nel tempo, come succede negli organi del motore di un autoveicolo.
- Come si ottiene: i tubi vengono sottoposti ad una pressione superiore alla tensione di snervamento del materiale, per un tempo che va da 15 a 20 secondi. In questo modo la superficie interna viene deformata plasticamente.



## Problema:

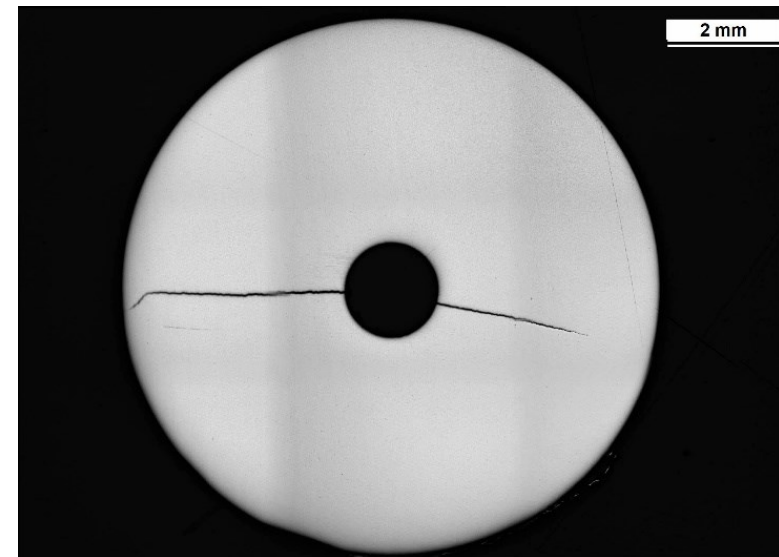
Per ottenere lavorazioni di questo tipo si deve disporre di attrezzature molto costose, e di un impianto che a sua volta sarà sottoposto a pressioni cicliche nel tempo...

Infatti i tubi stessi di questo impianto si rompono periodicamente a causa della fatica.

L'obiettivo di questo studio è quello di cercare di identificare le cause del problema di cedimento a fatica di questi tubi, provando a risalire attraverso il loro processo produttivo spiegandone le cause, ed individuando eventuali criticità nel loro utilizzo.

Procedimento:

- Studio dei vari processi di produzione
- Studio della dinamica di rottura
- Studio della struttura cristallina in laboratorio
- Prove di durezza



Sandvik HP160 è una lega in acciaio inossidabile austenitico, con un'alta resistenza a corrosione ed elevate caratteristiche meccaniche.

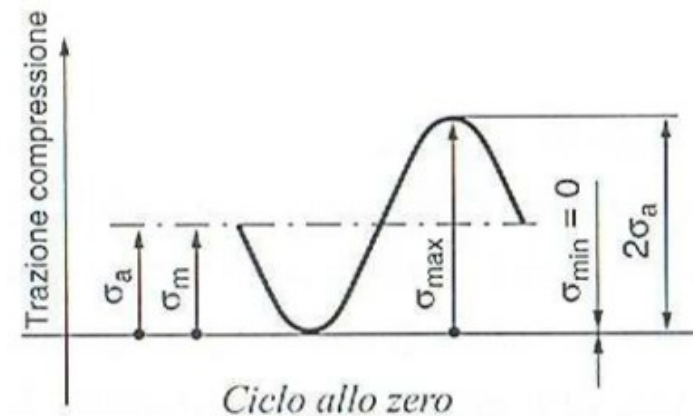
- $\sigma_R = 1200 \text{ MPa}$
- $\sigma_S = 1100 \text{ MPa}$
- $A = 12 \%$



Si tratta di caratteristiche meccaniche elevate, tipiche di acciai inossidabili per utilizzi ad alte pressioni. Di questa lega non vengono però rilasciate altre informazioni in merito alla composizione chimica, il tipo di struttura cristallina, se sia una lega di acciaio commerciale o meno, e del tipo di trattamenti termici subiti in precedenza.

### Comportamento a fatica:

- $\sigma_{\max} = \text{tensione massima} = 4000 \text{ bar}$
- $\sigma_{\min} = \text{tensione minima} = 0 \text{ bar}$
- $\Delta\sigma = \text{range di tensione} = 4000 \text{ bar}$
- $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 2000 \text{ bar}$
- Rapporto di sollecitazione:  $R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0$
- $N = \text{numero di cicli} = 40000 / 50000$

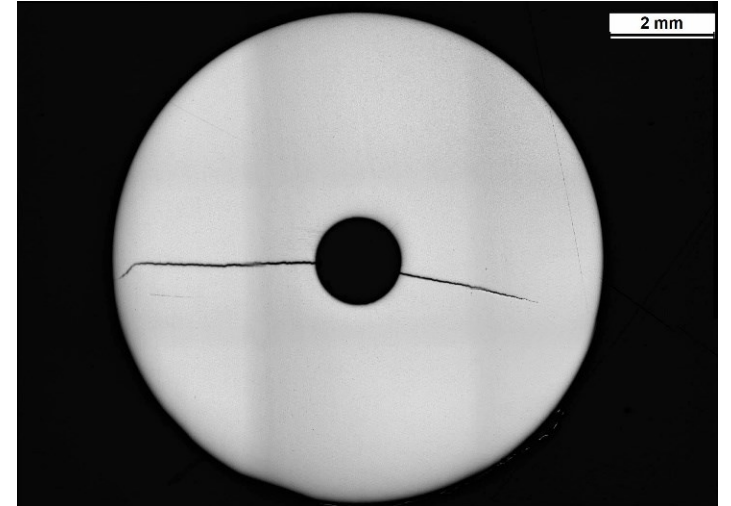


La metallografia consiste nello studio della struttura cristallina dei metalli e delle leghe metalliche mediante l'utilizzo di un microscopio. In questo modo è possibile determinare le seguenti caratteristiche:

- dimensioni e forma dei grani
- distribuzione delle fasi
- direzione delle linee di slittamento
- livello di purezza ed eventuali contaminazioni del materiale

Per ottenere un buon risultato si segue la procedura:

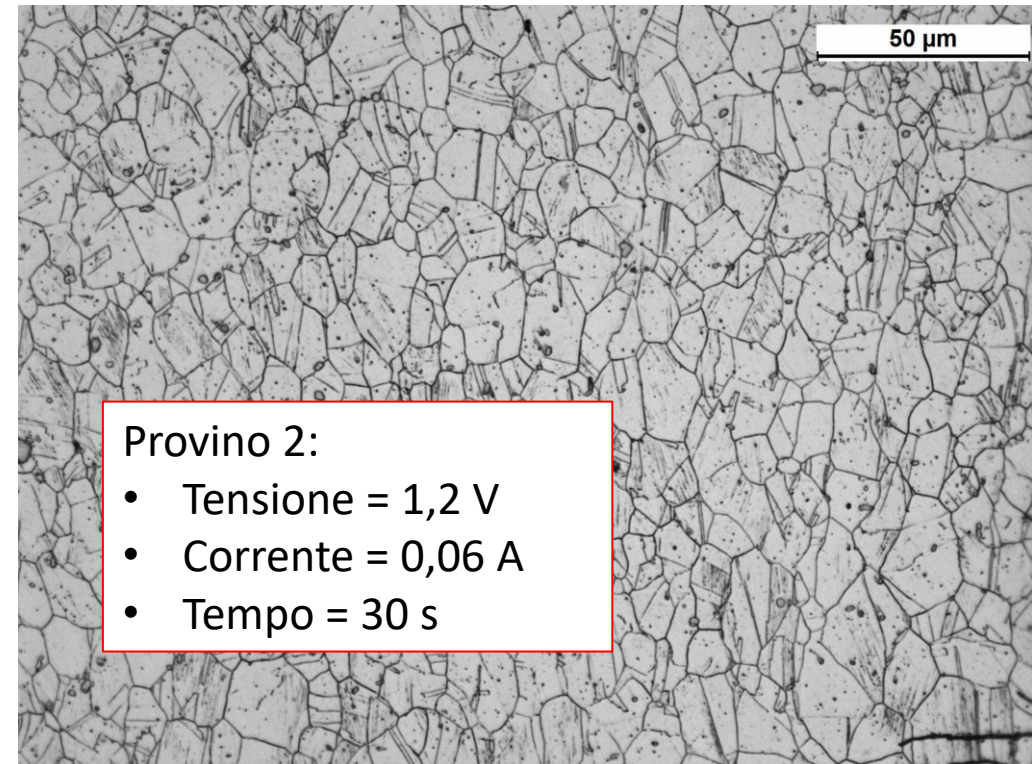
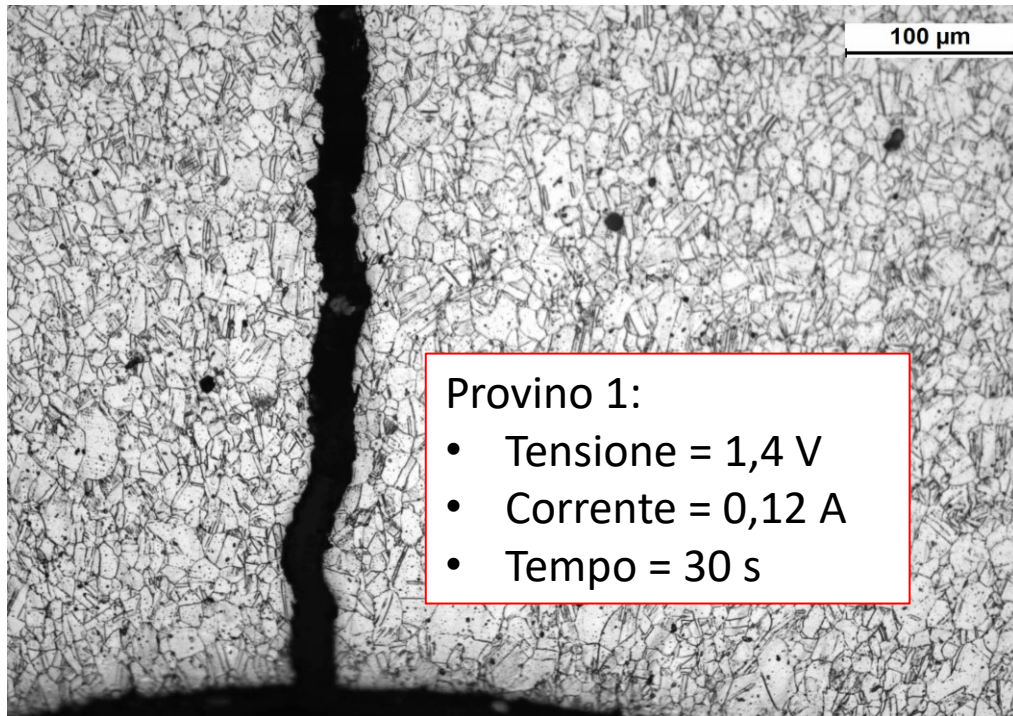
- taglio del tubo per mostrare la sezione in cui si trova la cricca;
- trattamento superficiale e successiva lucidatura rotante, trattando la superficie con paste diamantate di diversi spessori per renderla omogenea;
- pulizia con sgrassante a caldo
- attacco chimico o elettrolitico allo scopo di evidenziare la struttura cristallina



L'attacco chimico utilizzato per questa prova è composto da:

- 60 ml HNO<sub>3</sub> (Acido Nitrico)
- 40 ml H<sub>2</sub>O

Questo tipo di attacco è in grado di rivelare i bordi di grano di austenite (ma non i geminati). Con un acciaio inossidabile al catodo, come nel nostro caso, viene consigliata una tensione di 1,1 V in corrente continua con un'intensità tra 0,075 e 0,14 A/cm<sup>2</sup>, per un tempo di 120 s.



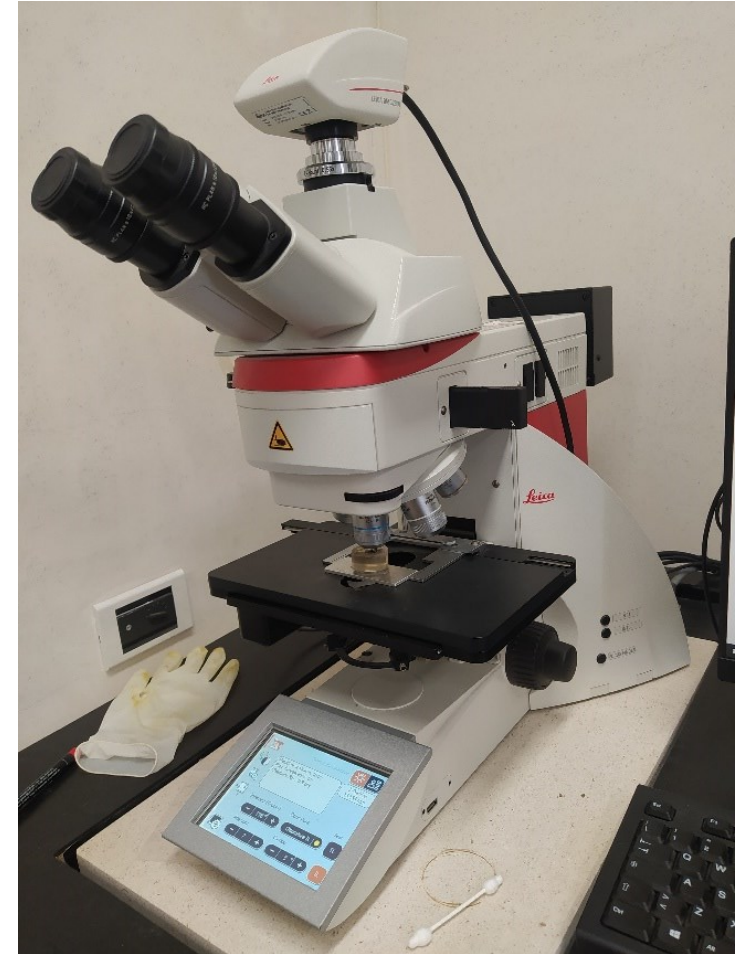


L'osservazione della microstruttura può essere effettuata con l'ausilio del microscopio ottico, mentre osservazioni più dettagliate possono essere fatte col microscopio elettronico a scansione (SEM) o col microscopio elettronico a trasmissione.

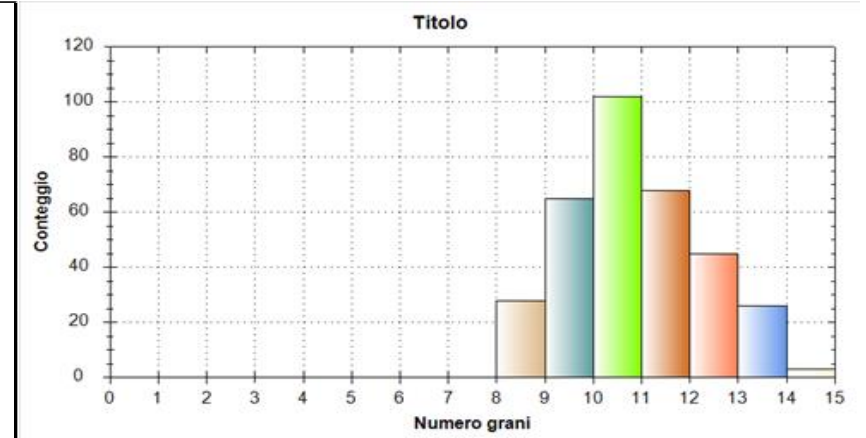
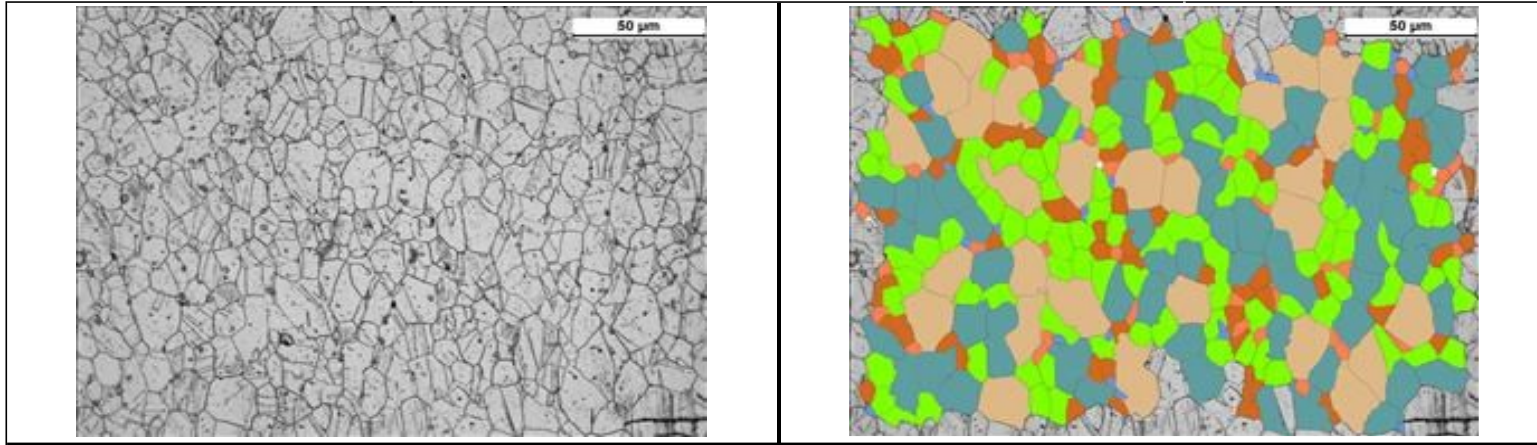
Il microscopio ottico utilizzato per questa esperienza è un Leica DMC2900, in grado di ingrandire un'immagine scattata fino a 500x.

Verranno scattate delle immagini in corrispondenza della superficie interna del tubo e della superficie esterna, in modo da confrontare il tipo di struttura cristallina.

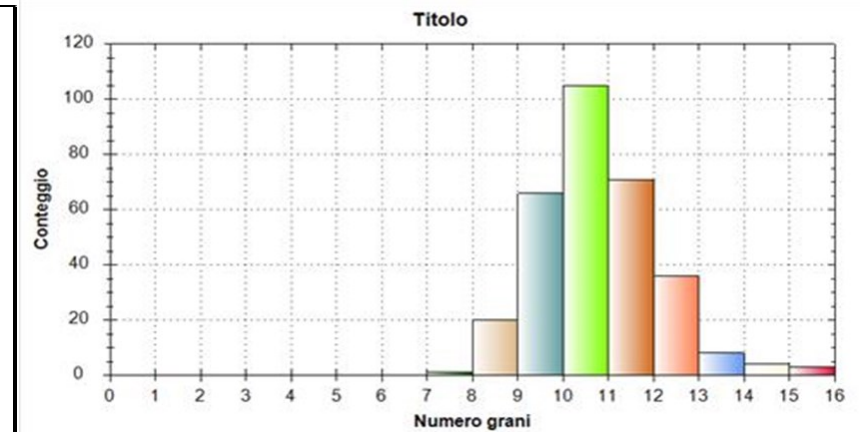
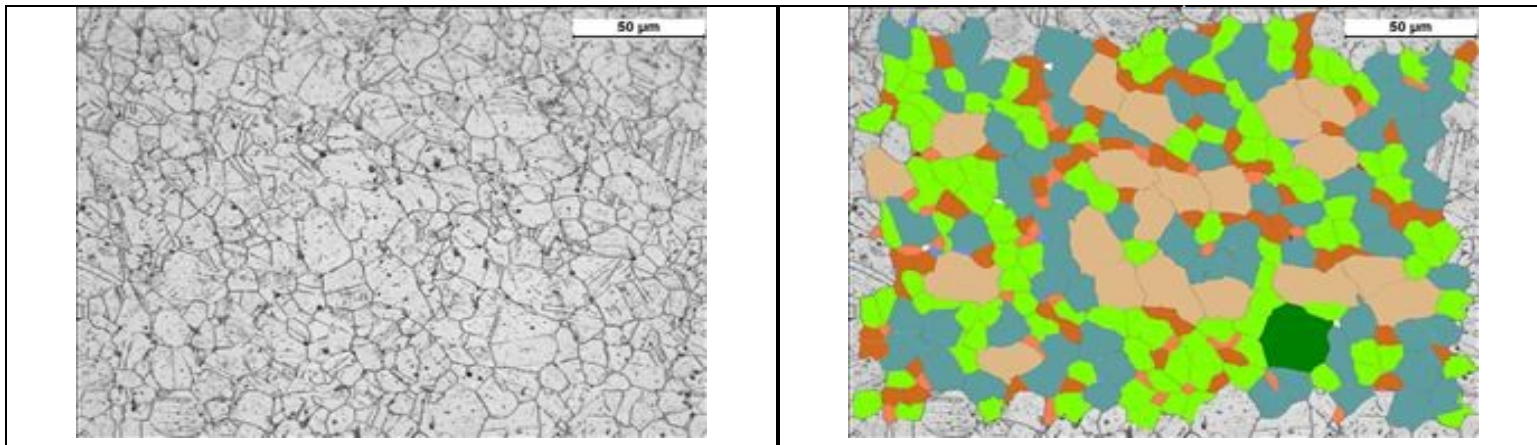
Dalle immagini ricavate si può notare come non ci sia differenza tra la struttura cristallina all'interno e all'esterno del tubo, che presenta dei grani **equiassici**.



Lato superficie interna

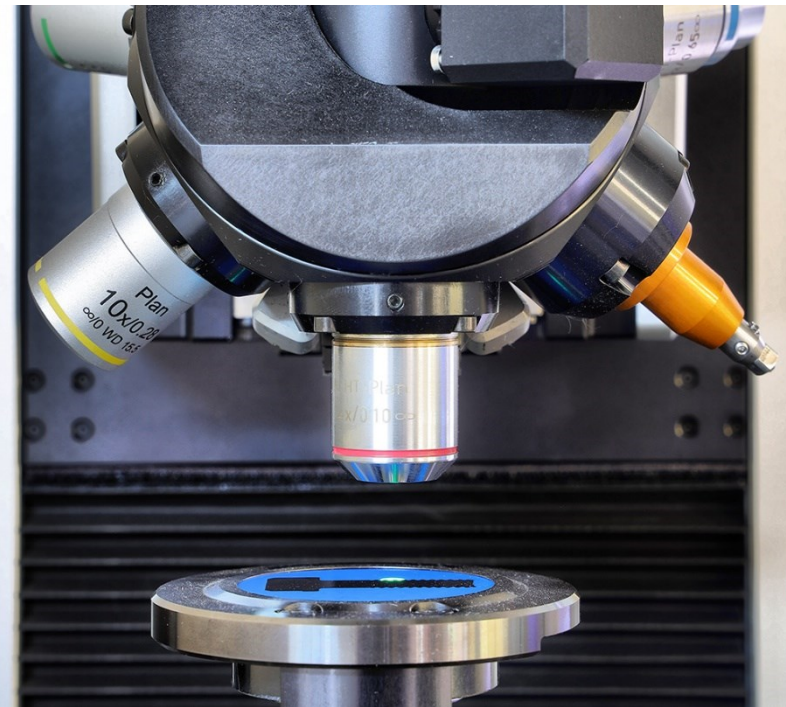


Lato superficie esterna



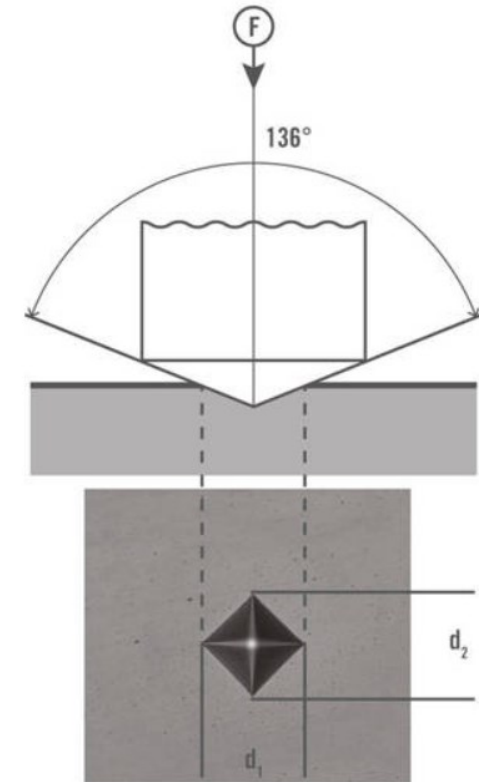
Sui due provini sono stati eseguiti dei profili di durezza, cioè delle prove di durezza Vickers lungo la sezione del provino a determinate distanze, per andare a quantificare la variazione di durezza lungo la sezione del pezzo.

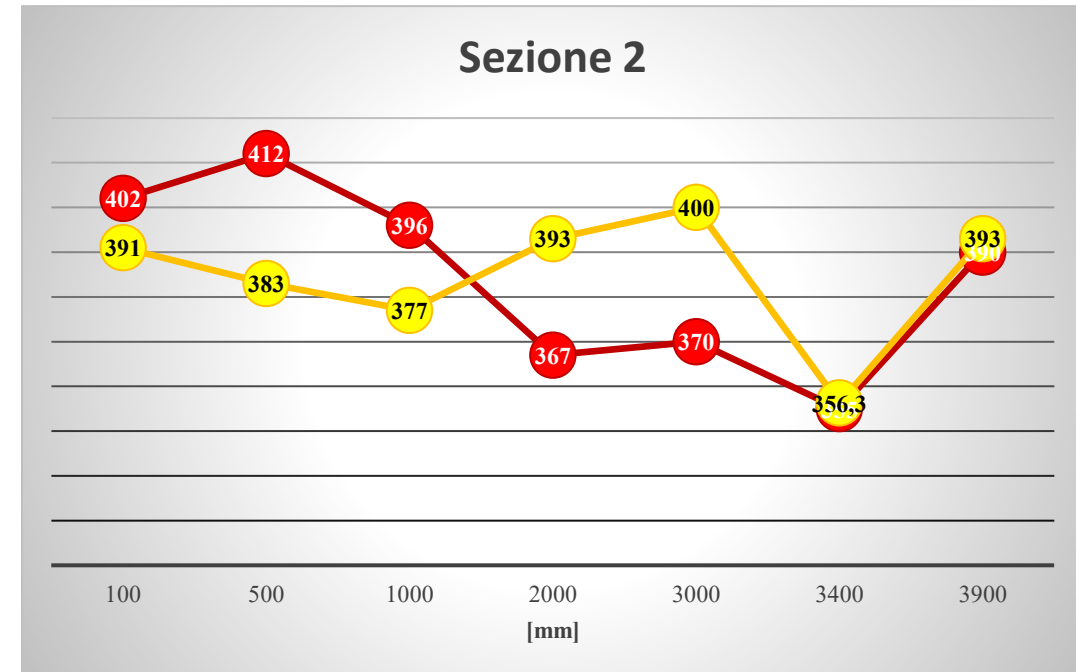
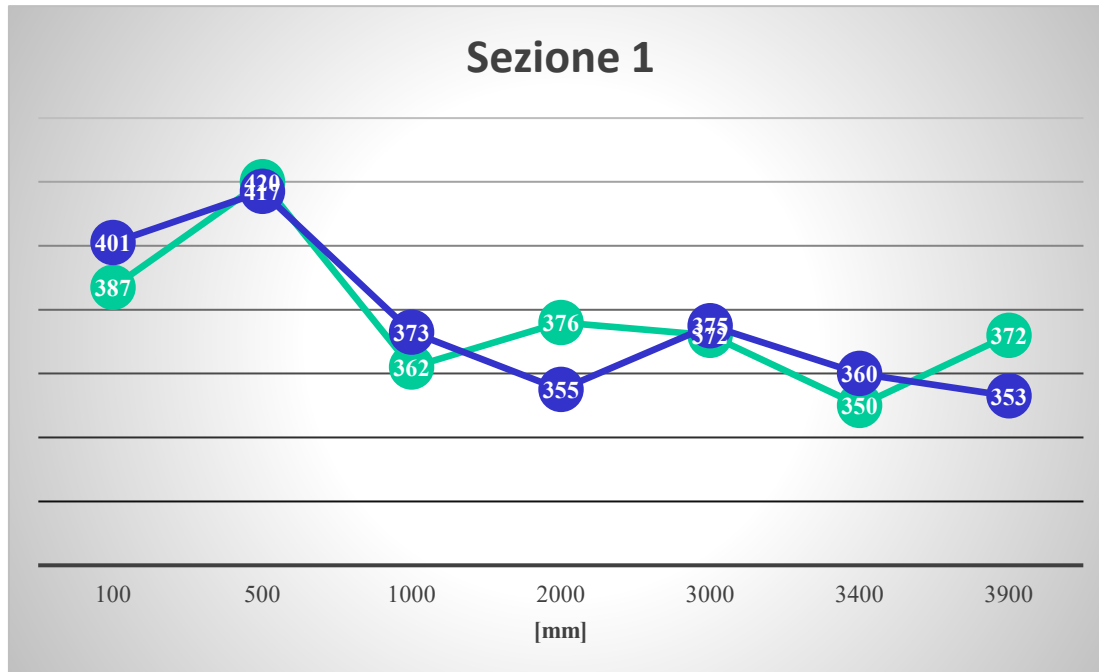
- Durezza Vickers (HV) secondo la norma ISO 6507, con penetratore piramidale e un carico di 0,2 kg.



Dopo l'esecuzione della prova, l'impronta del penetratore viene misurata da un software che restituisce un valore di durezza.

Questo procedimento si ripete per entrambi i provini



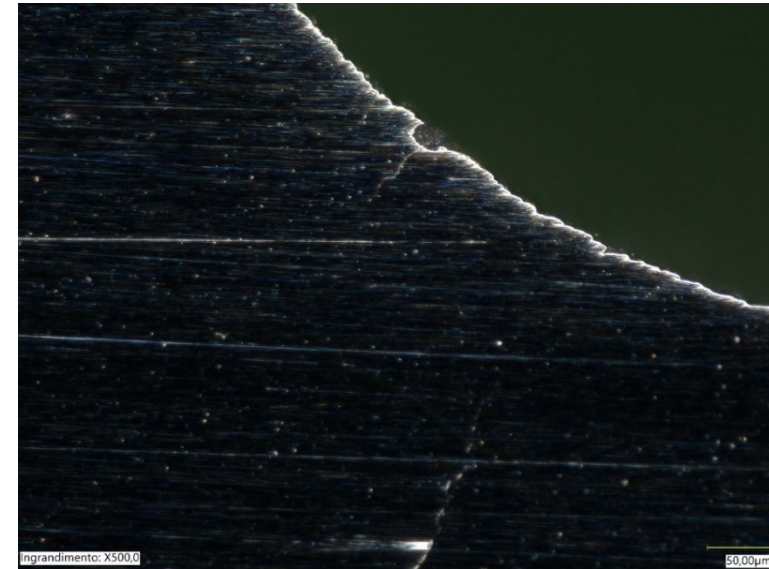


Grazie a questi due grafici si può affermare che i valori di durezza sono pressoché costanti lungo tutta la sezione, si nota solamente un leggero calo di durezza se ci si sposta dall'esterno verso l'interno del tubo.

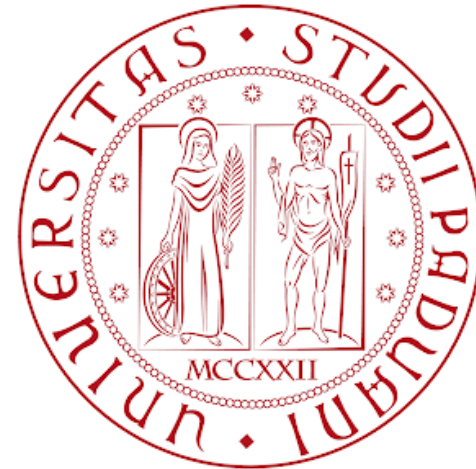
Come si è visto in precedenza, con le analisi metallografiche sui due provini, non si notano differenze tra la microstruttura tra interno ed esterno del tubo, e questo mi porta a confermare che i tubi vengono prodotti con un processo di laminazione a caldo.

Questo tipo di processo, in sé non presenta evidenti problemi, perché va ad imprimere sul pezzo lavorato una parziale ricristallizzazione, evitando di avere eccessivi stress residui nel materiale.

Il motivo che potrebbe aver innescato queste cricche potrebbe essere la finitura superficiale non eccellente o la presenza di impurità nel materiale.



# GRAZIE PER L'ATTENZIONE



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA