

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

Relazione per la prova finale
«Microstruttura e comportamento a fatica di acciai carbocementati»

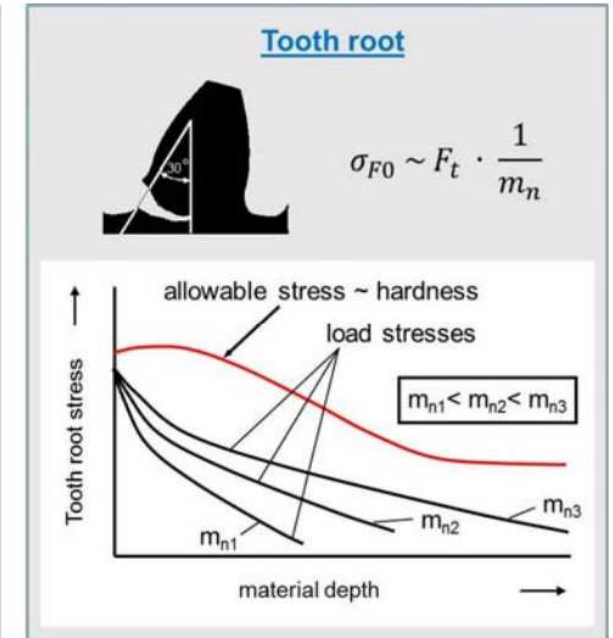
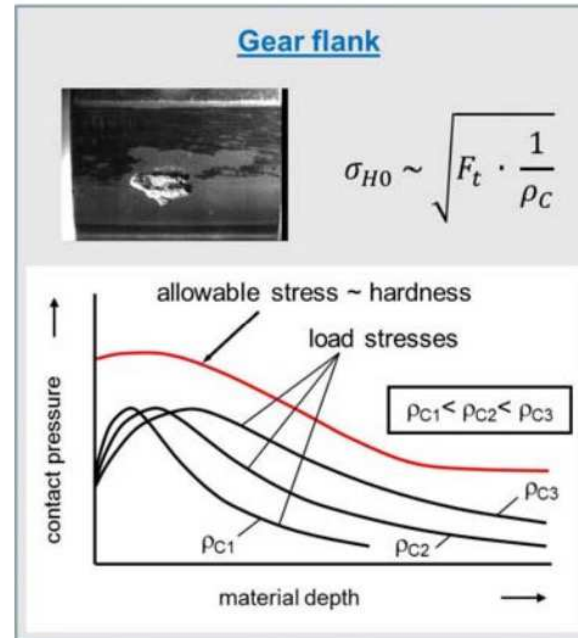
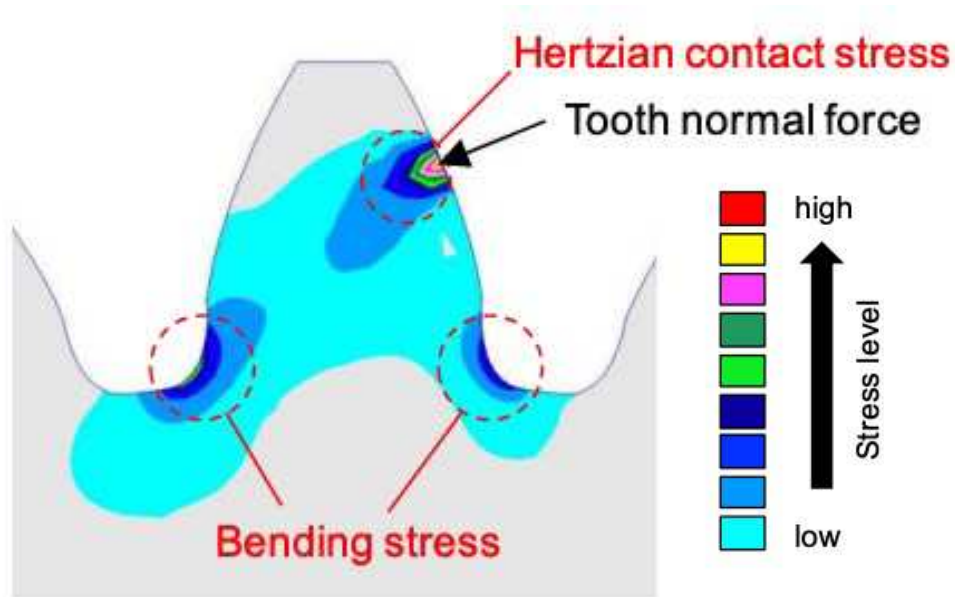
Tutor universitario: Prof.ssa Brunelli Katya

Laureando: *Gon Lorenzo*

Padova, 18/7/2024

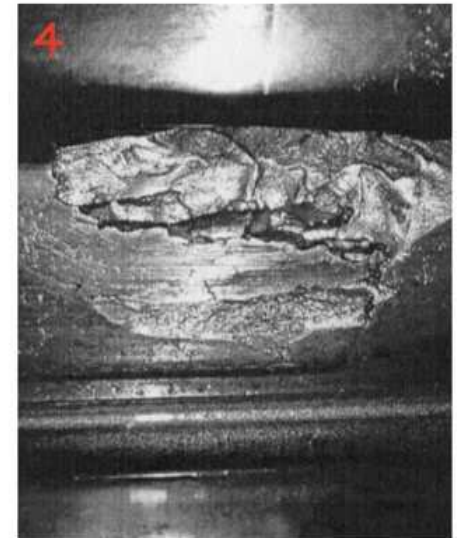
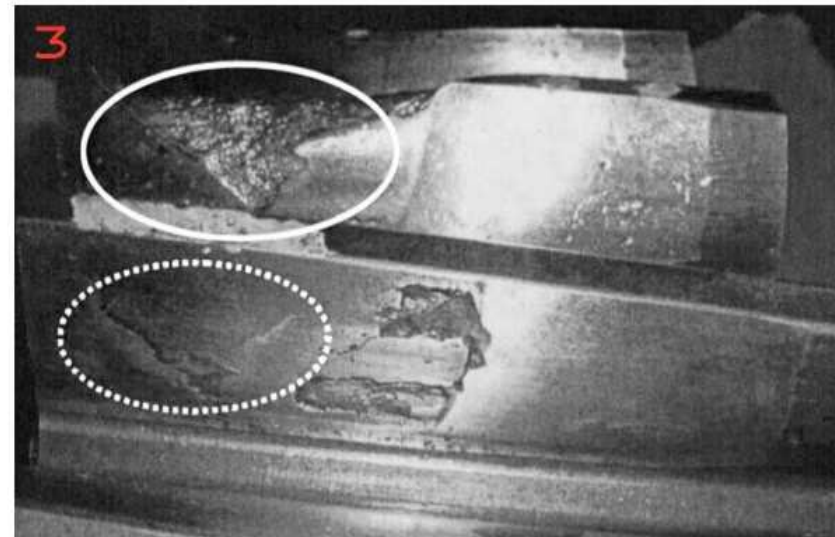
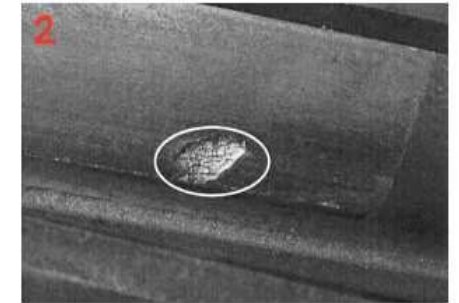
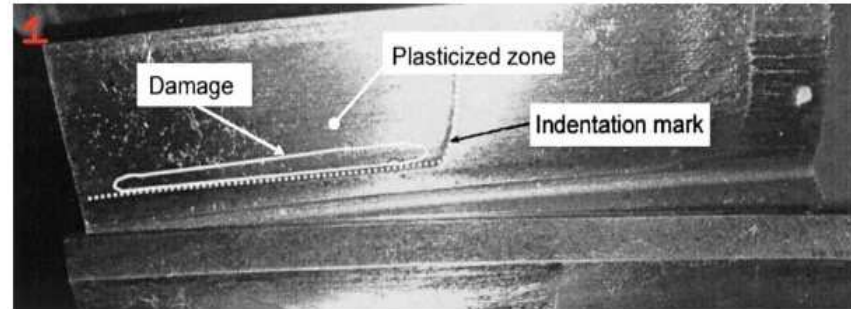
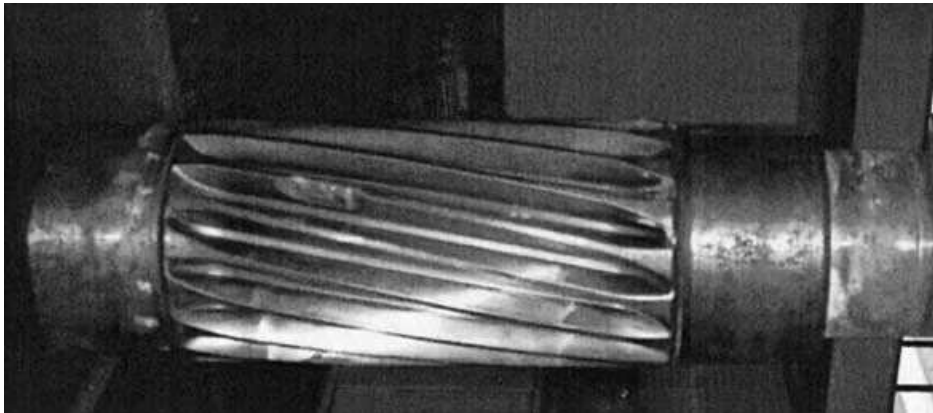
- *Generalità trattamento carbocementazione*
- *Effetto della cementazione sulla modalità di rottura a basso numero di cicli di un pignone realizzato in acciaio 18NiCrMo5*
- *Effetto della cementazione sulla modalità di rottura ad elevato numero di cicli di un acciaio 18CrNiMo7-6*
- *Importanza della selezione del materiale di base e conseguente effetto della cementazione applicato ad ingranaggi dell'albero di sterzo*
- *Limitazioni della cementazione tradizionale e l'innovativa alternativa della cementazione sottovuoto*

Influenza della dimensioni dell'ingranaggio sulle sollecitazioni generate



Livelli di danneggiamento:

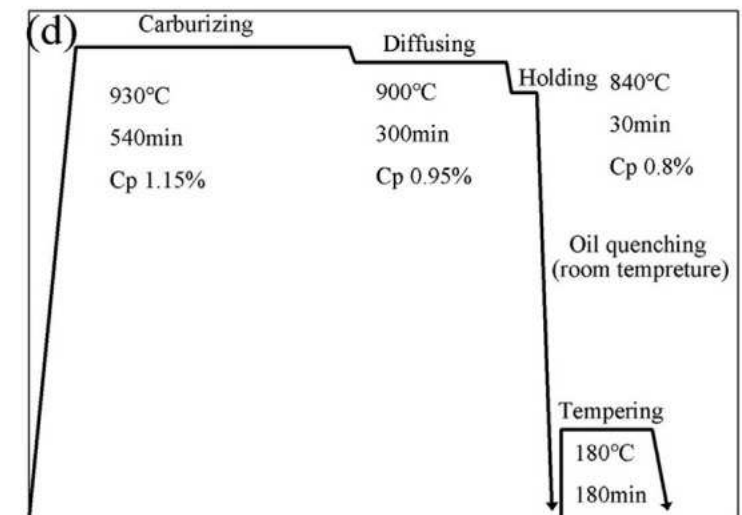
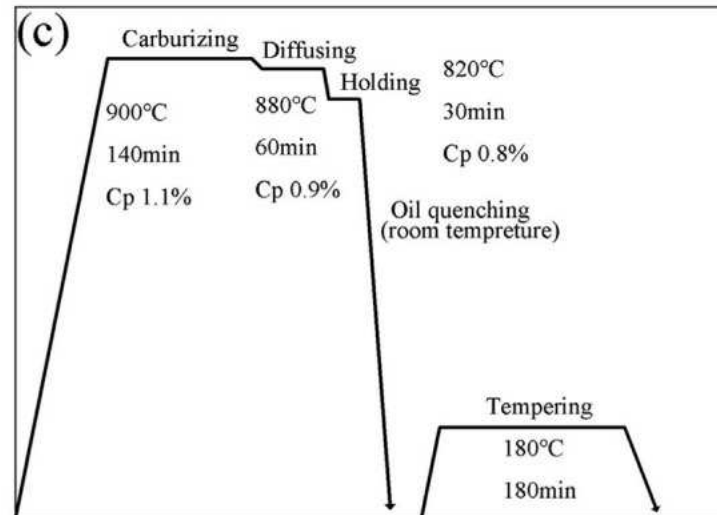
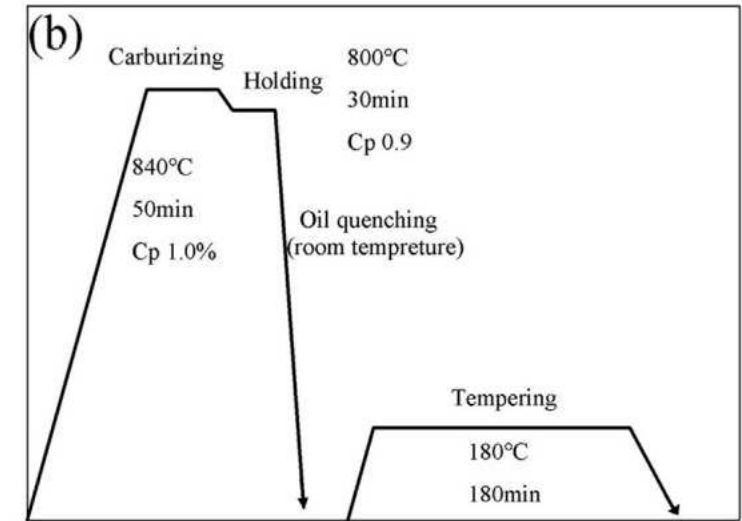
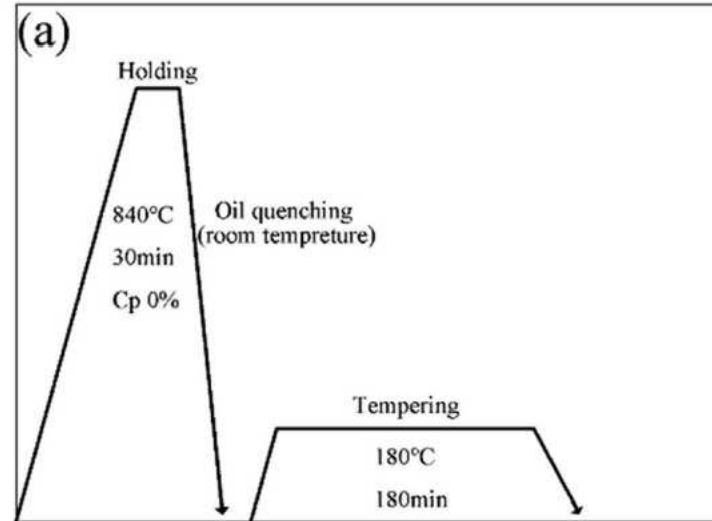
- **Livello 1:** danneggiamento superficiale
- **Livello 2:** fratture estese
- **Livello 3:** rotture a conchiglia
- **Livello 4:** propagazione cricche



In questo caso di studio i campioni sono stati sottoposti a diversi trattamenti di carbocementazione al fine di studiare l'influenza della profondità del case.

La profondità efficace del case assume rispettivamente i seguenti valori:

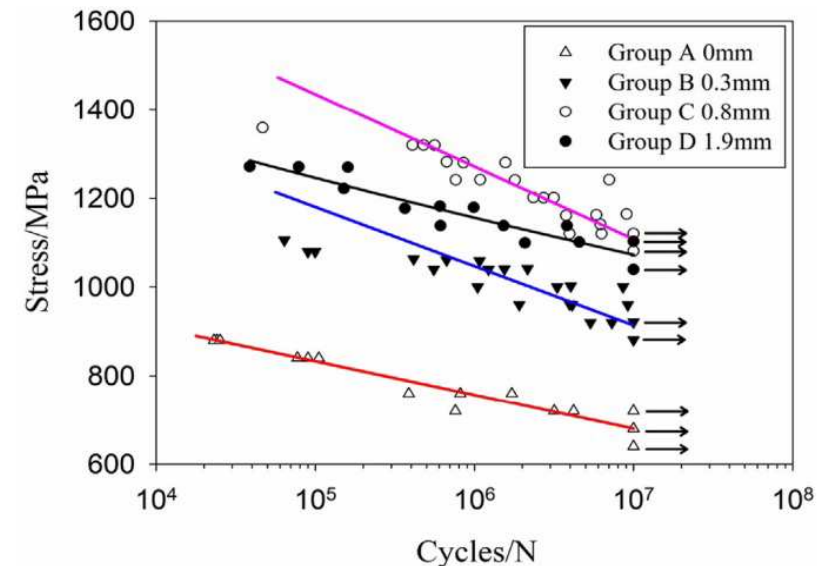
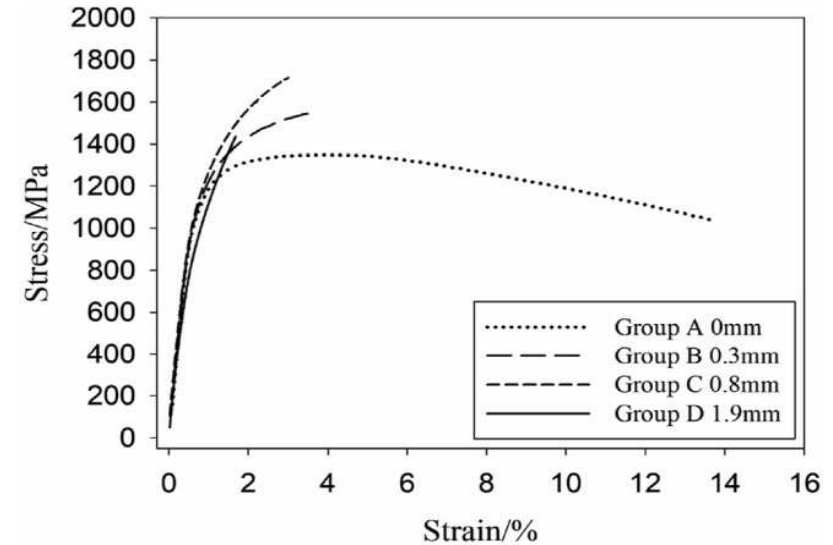
- a) 0 mm
- b) 0.3 mm
- c) 0.8 mm
- d) 1.9 mm



Sono stati misurati i valori della resistenza alla trazione e dell'allungamento percentuale dei campioni, distinti come segue:

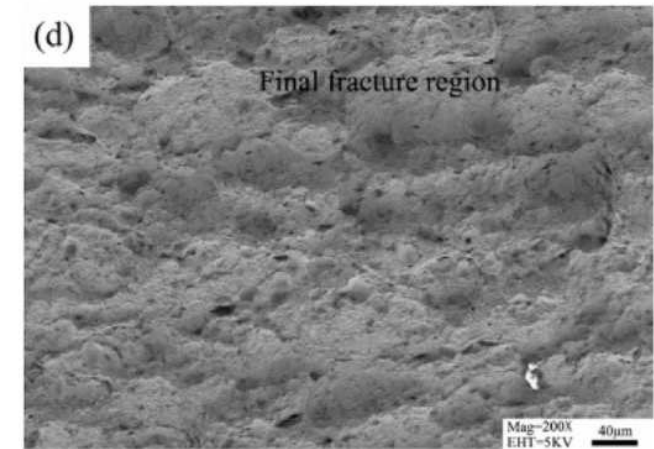
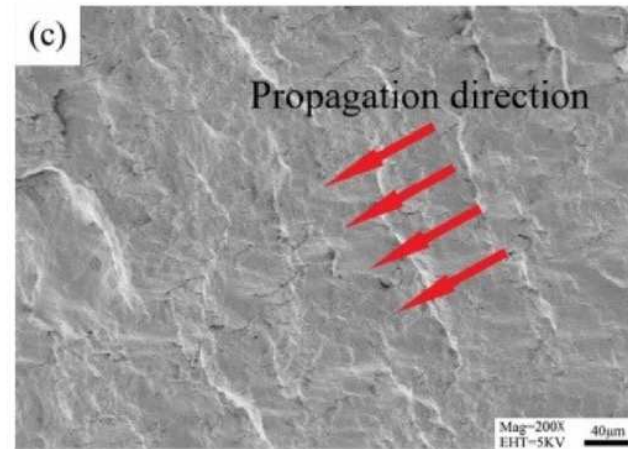
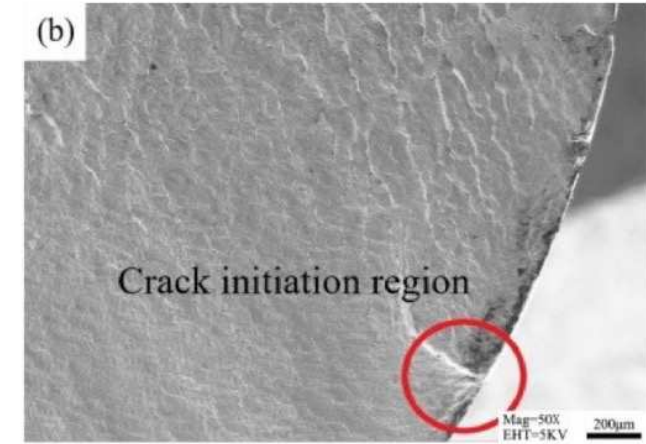
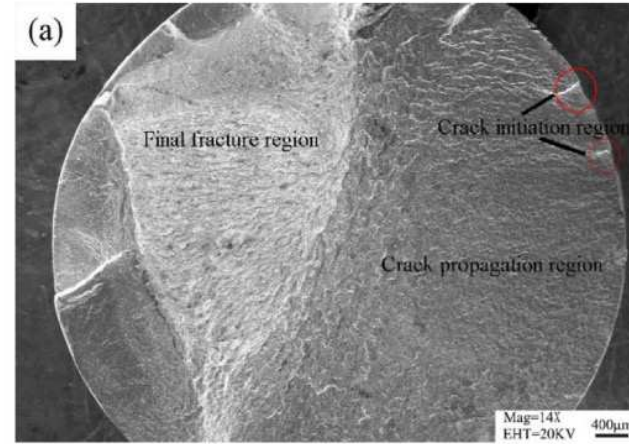
- $\sigma(A) = 1348 \text{ MPa}$, $\epsilon(A) = 14.02\%$
- $\sigma(B) = 1550 \text{ MPa}$, $\epsilon(B) = 3.45\%$
- $\sigma(C) = 1660 \text{ MPa}$, $\epsilon(C) = 3.03\%$
- $\sigma(D) = 1418 \text{ MPa}$, $\epsilon(D) = 1.70\%$

Analizzando l'andamento del limite di fatica si può affermare che sebbene un aumento della profondità del case possa inizialmente migliorare la resistenza a fatica, oltre un certa profondità si manifesta una diminuzione delle prestazioni, indicando una complessa relazione tra case depth e limite di fatica



Morfologia della frattura appartenente al campione del gruppo A (NO cementazione):

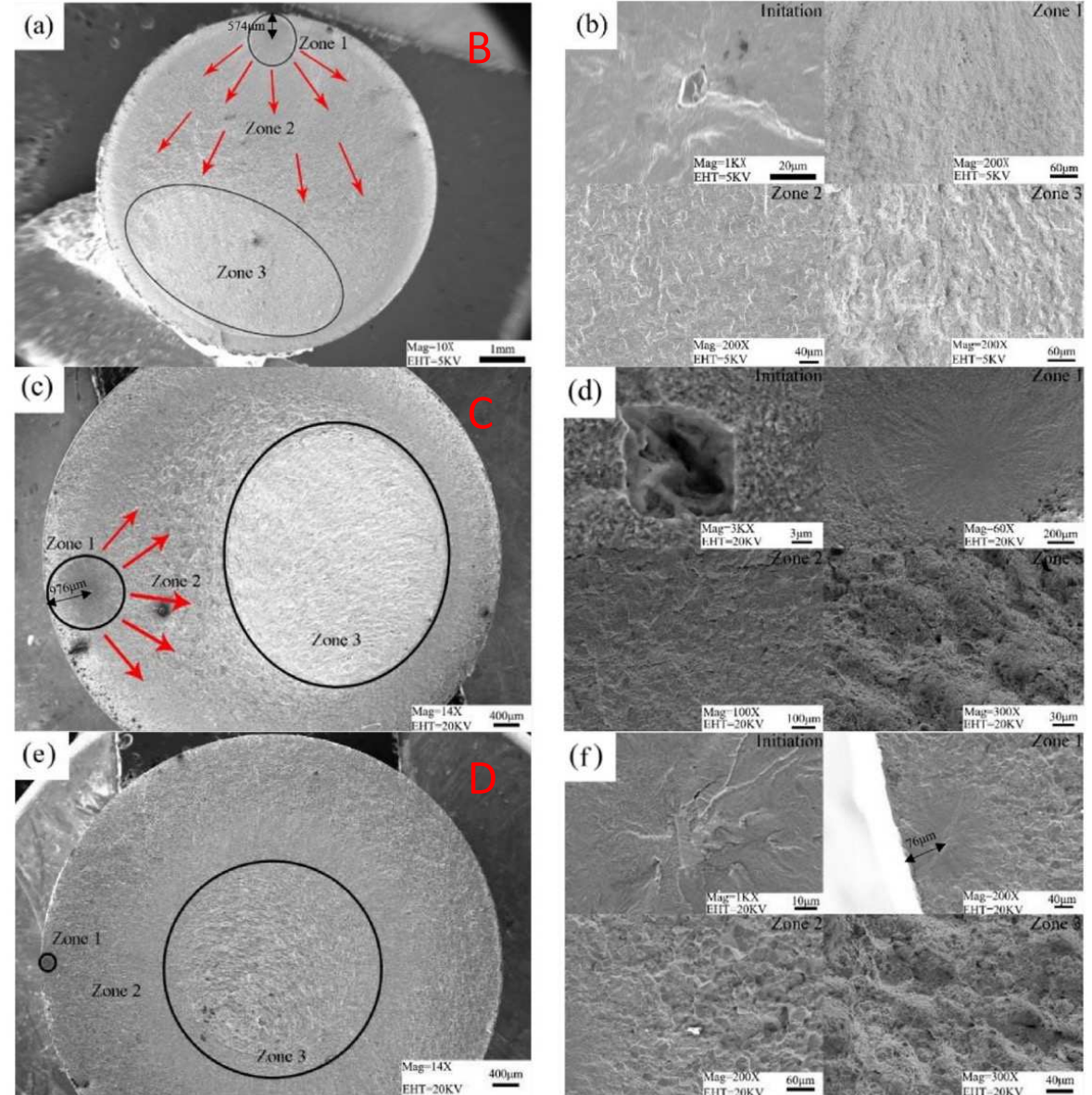
- a) Sezione di frattura
- b) Regione innesco cricca
- c) Propagazione radiale della cricca
- d) Regione di frattura finale



Morfologia delle fratture appartenente ai campioni del gruppo B-C-D suddivisa in 4 differenti step:

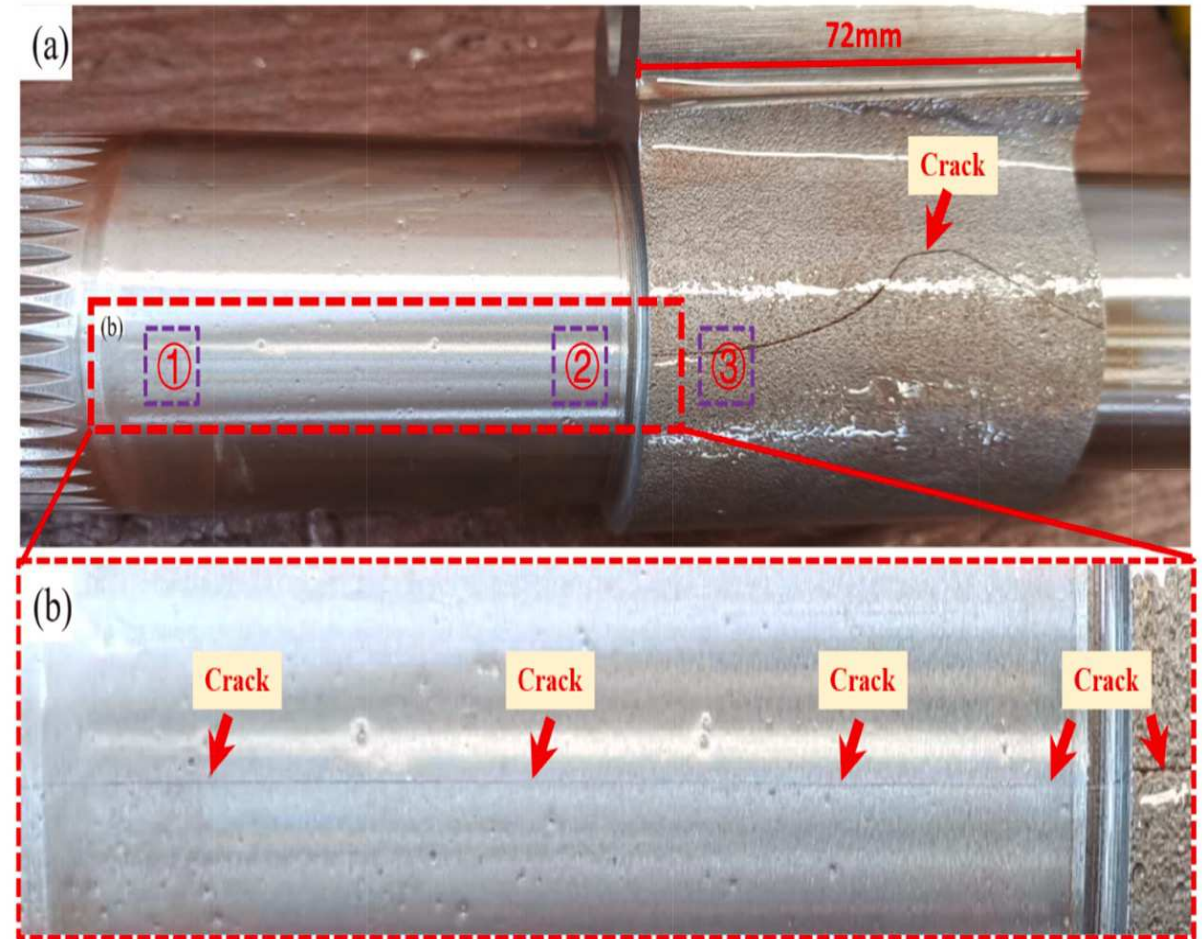
- Regione di iniziazione
- Regione di propagazione lenta (zona I)
- Regione di propagazione rapida (zona II)
- Regione di frattura conclusiva (zona III)

Osservazione: *contrariamente a quanto osservato per il gruppo A, l'inizio della crepa si verifica all'interno dei campioni. Tale fenomeno è associato a inclusioni interne e presenta una caratteristica peculiare denominata a **occhio di pesce**.*



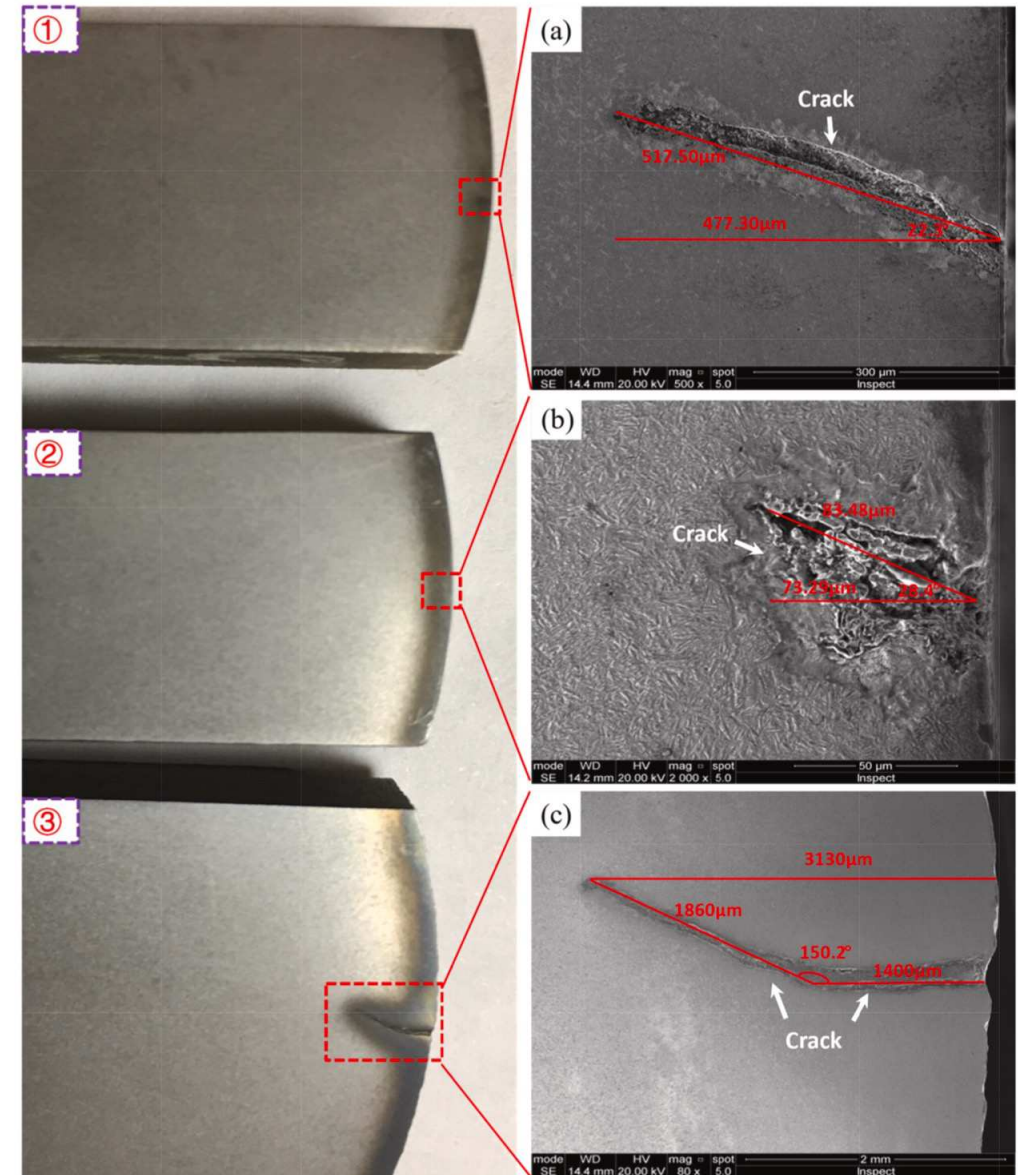
In determinate circostanze è emerso che le cricche possono formarsi già prima del trattamento di cementazione a causa di difetti o tensioni residue presenti nel materiale di base. Ciò risulta molto dannoso poiché esse, durante il trattamento, possono subire un'espansione e collassare in vere e proprie fratture. Di seguito è riportato un esempio applicato agli ingranaggi dell'albero di sterzo.

Analizzando la superficie dell'albero in questione sono stati estratti campioni metallografici rispettivamente dalle posizioni 1, 2 e 3 come individuato nella figura.

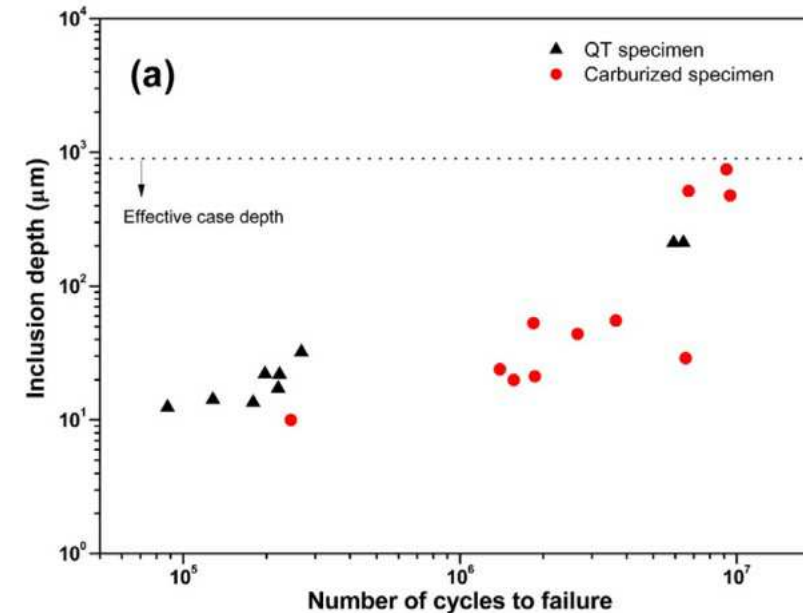
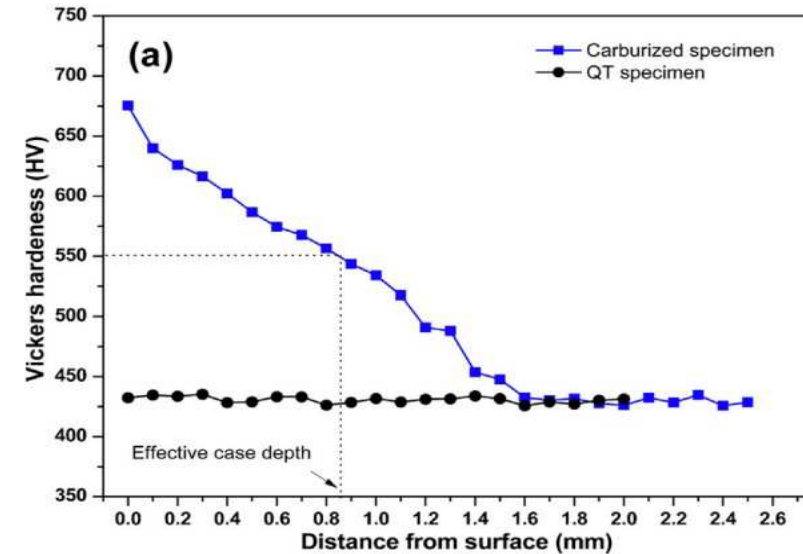


Dall'analisi della tabella e della figura è emerso che le cricche A e B sono confinate all'interno dello strato cementato, mentre la cricca C si estende oltre la sua profondità. Questo fenomeno è evidenziato dalla presenza di una striscia nera alla fine della cricca, suggerendo una penetrazione oltre i limiti dello strato stesso.

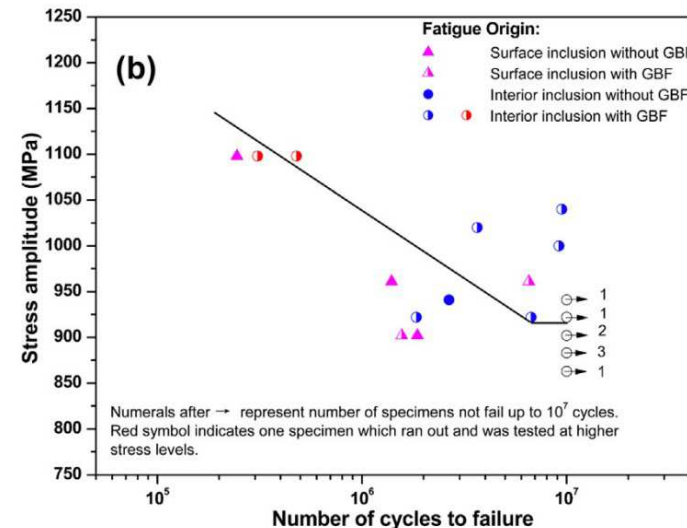
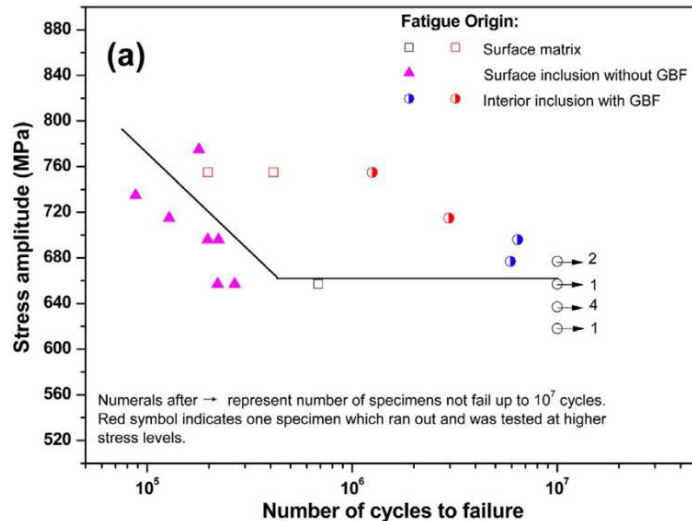
	A (μm)	B (μm)	C (μm)
Lunghezza della cricca	517,50	83,48	3260
Distanza verticale dalla superficie	477,30	73,29	3130
Angolo con la superficie ortogonale	22,3°	28,4°	29,8°



- L'obiettivo principale dello studio è investigare l'influenza del trattamento di cementazione sottovuoto sulle proprietà di resistenza a fatica ad alto ciclo ($>10^7$) di un acciaio a basso tenore di carbonio 20CrNi24. Un elemento chiave è il confronto con il tradizionale processo di tempra e rinvenimento (QT)
- Nel contesto dello studio in esame è stato osservato che la durezza superficiale Vickers del campione sottoposto a cementazione ha evidenziato un incremento del 57% rispetto al nucleo e al campione QT



- Il processo di cementazione sottovuoto emerge come un potente alleato nel miglioramento della resistenza a fatica ad alta ciclicità, mostrando un aumento significativo di circa il 38% rispetto al tradizionale trattamento di tempra e rinvenimento
- La caratteristica distintiva della curva S-N del campione sottoposto a cementazione è la sua progressiva diminuzione nel tempo, mentre il campione trattato con il metodo convenzionale QT segue una curva S-N tipica evidenziando un limite di fatica ben definito
- Ciò che contraddistingue in modo unico il campione cementato è la modalità di rottura principalmente causata dalle inclusioni interne



In conclusione l'elaborato ha esplorato il tema della cementazione in relazione alla resistenza a fatica attraverso la descrizione di due differenti prove sperimentali:

- *Modalità di rottura a basso numero di cicli di un pignone realizzato in acciaio 18NiCrMo5*
- *Modalità di rottura ad elevato numero di cicli di provini in acciaio 18CrNiMo7-6*

Analizzando i risultati delle prove sperimentali, è stato possibile constatare scientificamente il contributo positivo della cementazione sulle prestazioni a fatica dei componenti esaminati. In particolare, il miglioramento della resistenza alla fatica può essere attribuito all'aumento della durezza superficiale indotto dal processo di cementazione.

Infine, è stato posto un focus scientifico sull'importanza della selezione del materiale iniziale, approfondendo successivamente il trattamento di cementazione sottovuoto come variante di processo.