



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia
(sede di Milano)



***Determinazione delle proprietà
macro e micro-strutturali di
materiali per applicazioni
industriali***

Riccardo Donnini

Motivazioni

Ricerca e sviluppo di materiali e processi



Possibilità di trasferimento tecnologico e valutazione del livello di innovazione



Confronto tra risultati ottenuti e l'applicazione per cui sono proposti



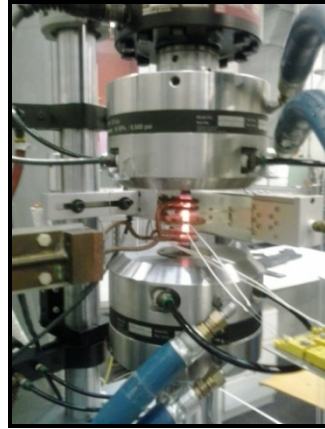
Verificare l'opportunità di adottare specifiche condizioni di lavoro



Proprietà del materiale

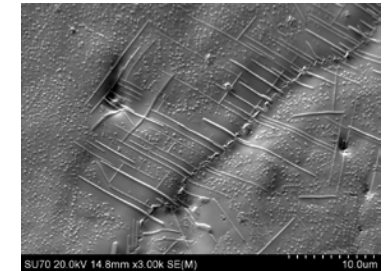
Prove sperimentali per il comportamento “meccanico” del materiale

- prove di fatica
- prove di creep
- prove di trazione



Analisi dei meccanismi di deformazione e di danneggiamento del materiale

- analisi micro-strutturale mediante tecniche di spettroscopia avanzata

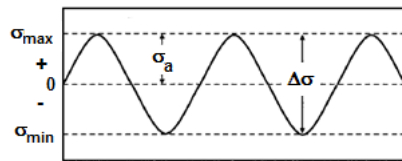


Prove di fatica

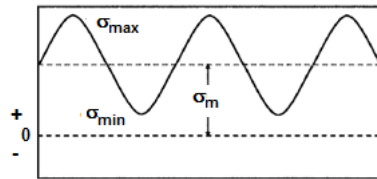
Concetti generali

Applicazione di sollecitazioni cicliche e nella registrazione del numero di cicli necessario per arrivare alla rottura o ad un prefissato danneggiamento.

Parametri caratteristici



Fully Reversed Loading



Tension-Tension with Applied Stress

Normative specifiche per:

- test di fatica in controllo di deformazione
- test di fatica in controllo di forza
- test di fatica termo-meccanica
- analisi statistica dei dati



Curva di Wöhler

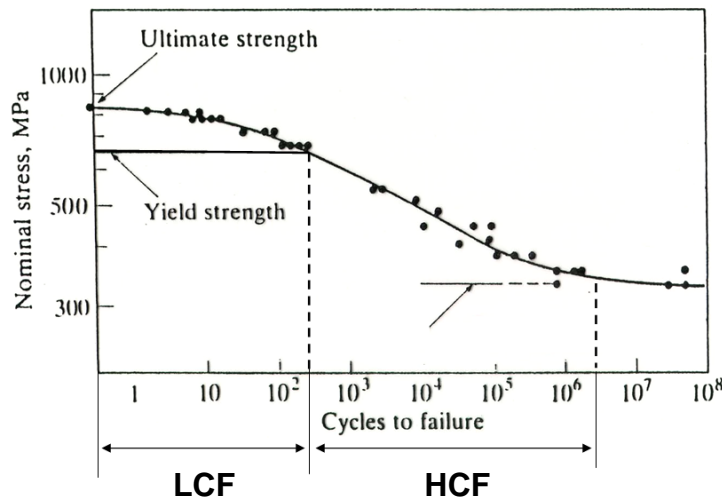
Esiste un'inevitabile dispersione dei dati, legata alle possibilità di nucleazione e propagazione di cricca (fattore microstrutturale)

Prove di fatica

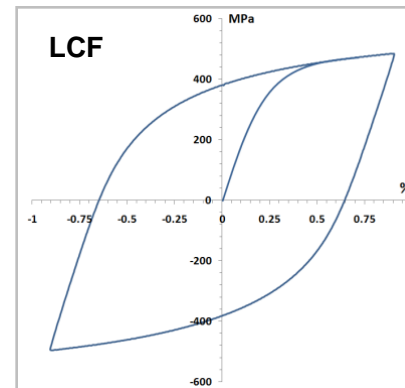
Metodi di prova

Le prove di fatica possono essere condotte vincolando la deformazione fra due estremi e misurando l'andamento dei carichi da cui ricavare l'andamento delle tensioni: **prove in controllo di deformazione**.

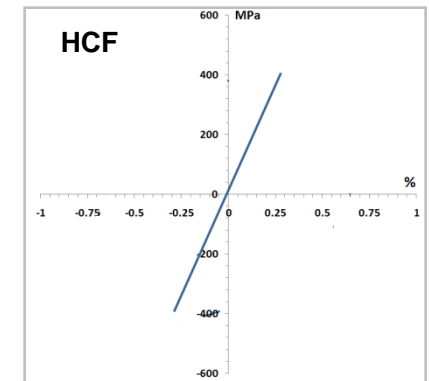
- permette lo studio della prima zona del diagramma di Wölher - fatica oligociclica (LCF)
- fatica ad alti numeri di cicli (HCF) la nucleazione e propagazione di una cricca è un fenomeno di tipo plastico localizzato in una parte di metallo, che è determinato dalle deformazioni controllate dal bulk che lo circonda, ancora in campo elastico



Singolo ciclo in campo plastico



Singolo ciclo in campo elastico

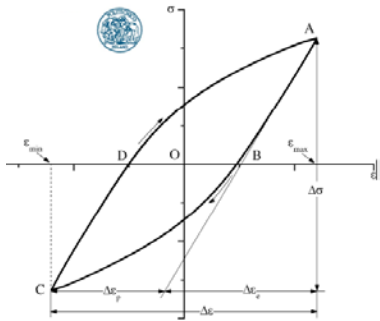


Acciaio strutturale

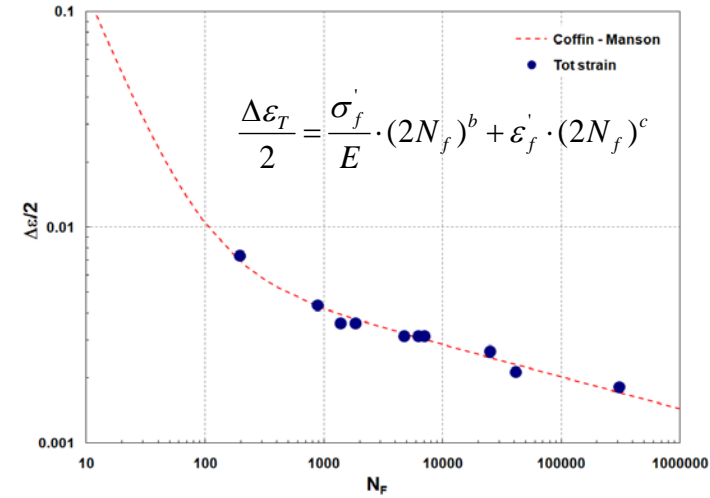
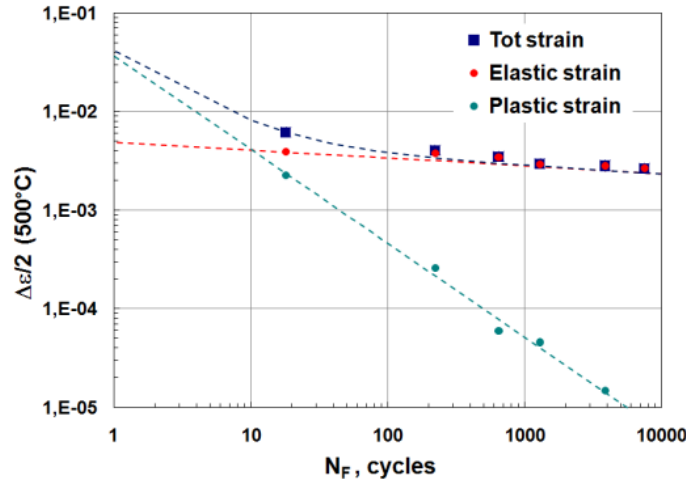
Prove di fatica

Metodi di prova e previsione dei comportamenti

- Per ciascun livello di deformazione e su ogni corrispondente ciclo stabilizzato, è possibile dividere la componente elastica da quella plastica dell'ampiezza di deformazione;
- Definito il numero di cicli di fine vita (N_f) per ogni livello di deformazione



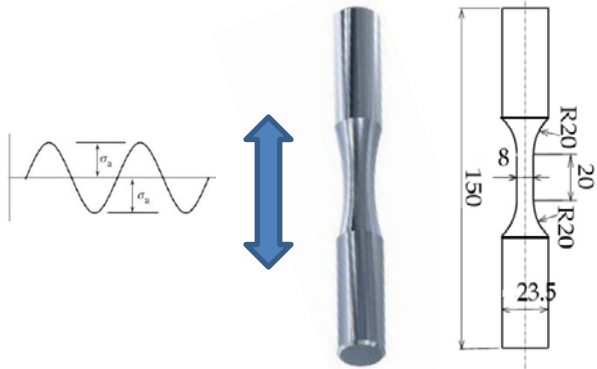
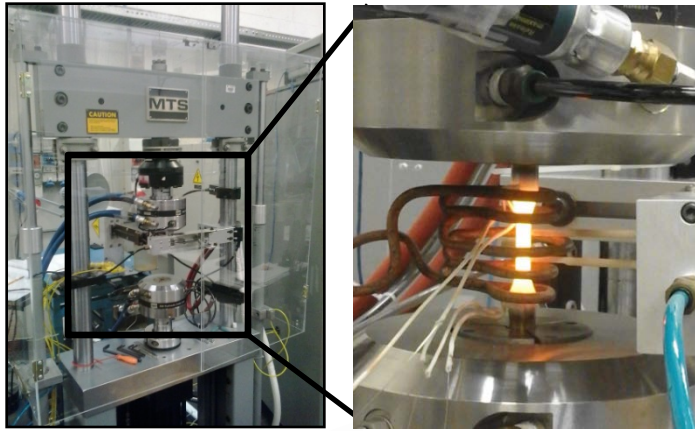
$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \frac{\Delta \varepsilon_{el}}{2} + \frac{\Delta \varepsilon_{pl}}{2}$$



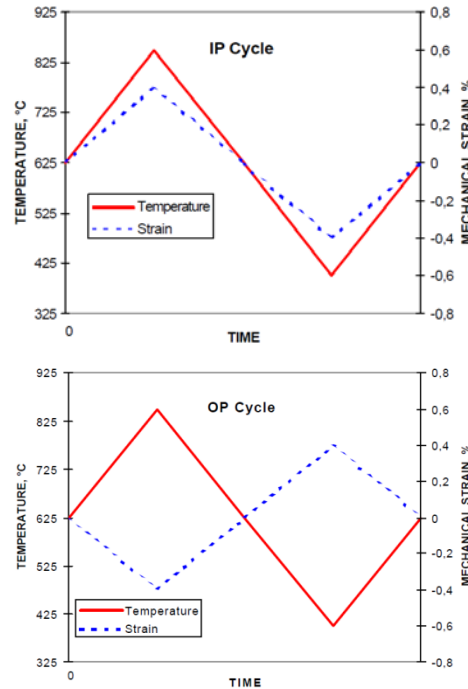
Prove di fatica in temperatura

- Prove di fatica a temperatura costante
- Prove di fatica termo-meccanica
- Fatica termo-meccanica con “hold time”

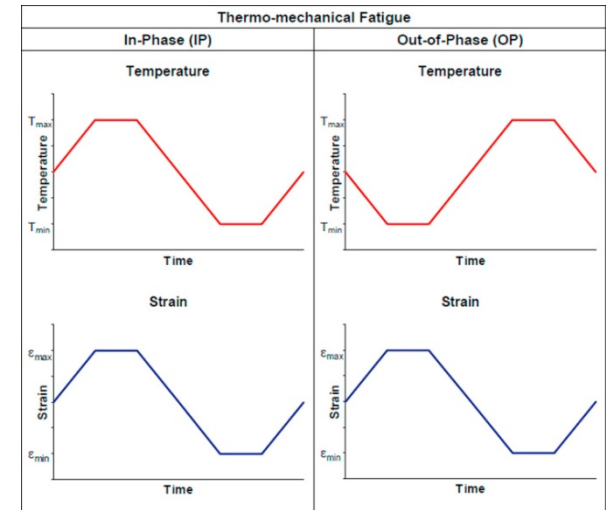
Per temperature da 200°C a 1100°C per carichi fino a 200kN



Fatica termo-meccanica



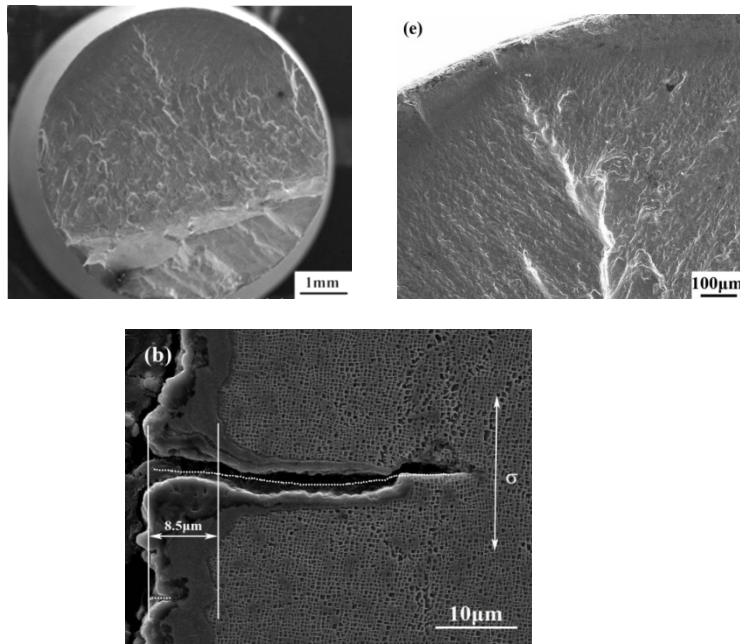
Fatica termo-meccanica con hold time



Prove di fatica

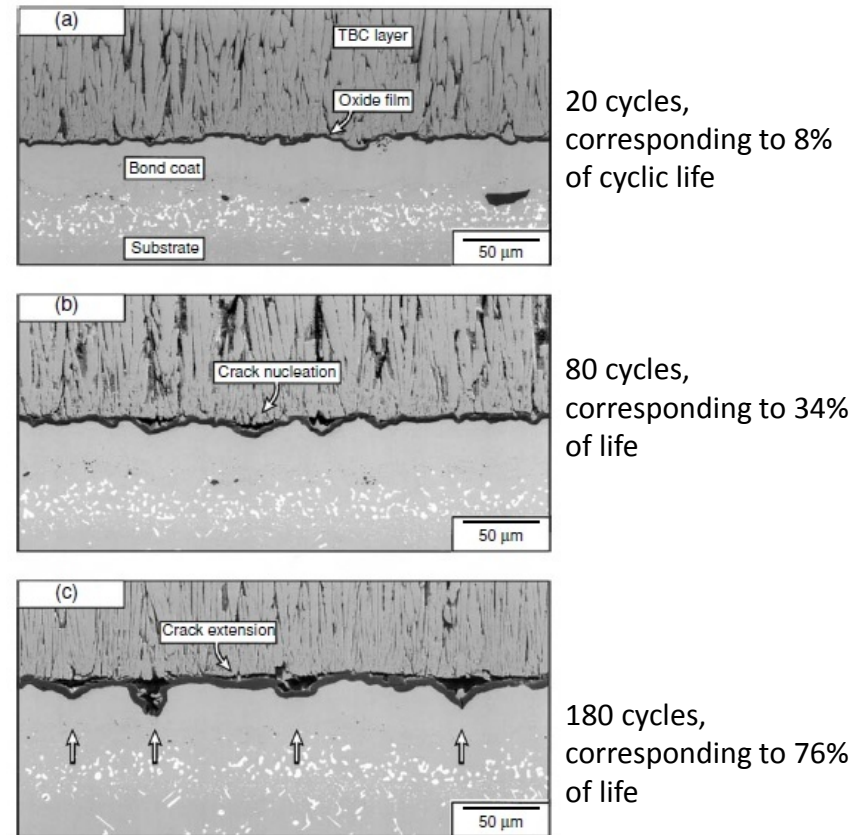
Analisi dei meccanismi di danneggiamento

Superlega di nichel per settore aeronautico test a 850°C



G. Angella, R. Donnini, M. Maldini, D. Ripamonti, et al. Proc. of 10th Conference on Materials for Advanced Power Engineering, Liegi (BE), 2014, pp.500-509

Rivestimenti termici TBC



R.C. Reed, *The superalloys*

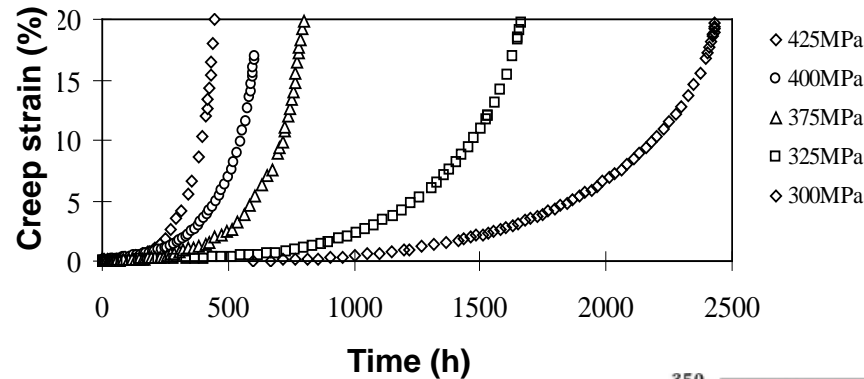
Prove di creep

Concetti generali

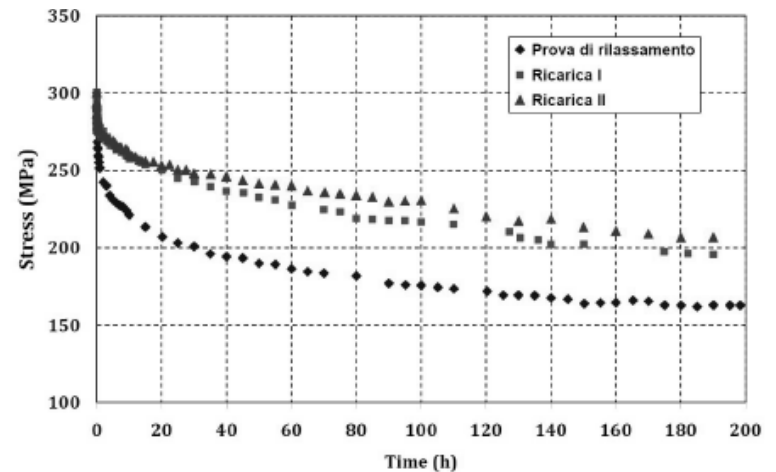
- Le prove di creep consistono nella registrazione della deformazione di materiale a cui vengono applicati carichi costanti a temperatura costante.

SMP14 (SC)
superlega
base Ni

 $T = 900^{\circ}$



- Le prove di rilassamento prevedono la registrazione della sollecitazione nel tempo del materiale, a cui vengono applicate deformazioni costanti a temperatura costante.

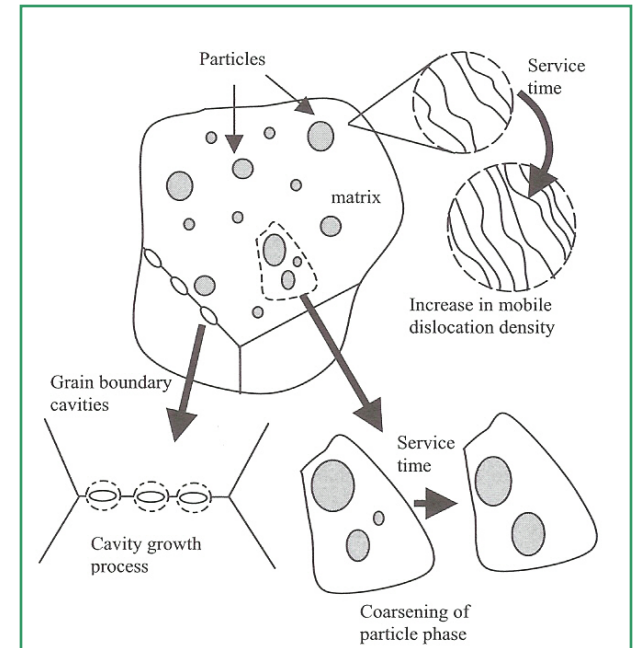


Prove di creep

Metodi di prova



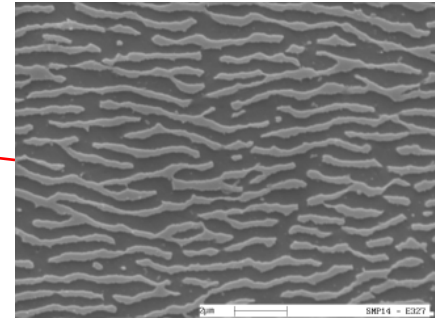
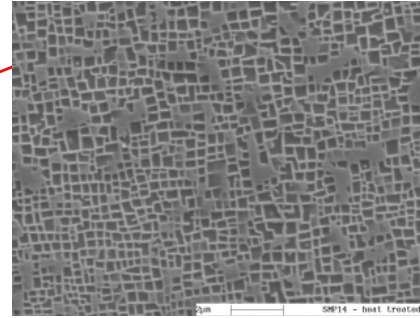
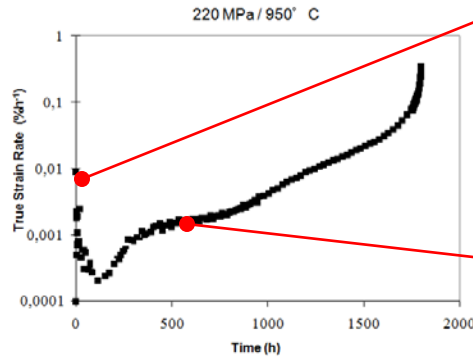
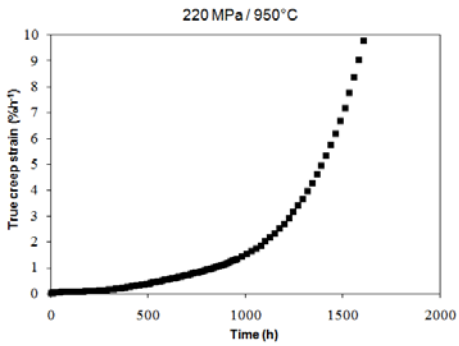
Fenomeni microstrutturali correlati al creep



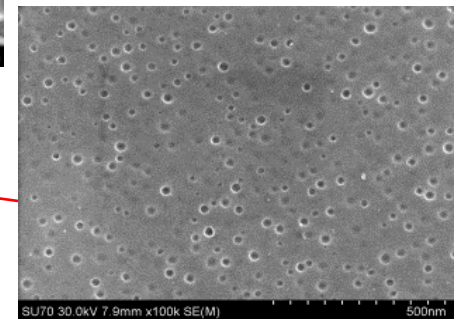
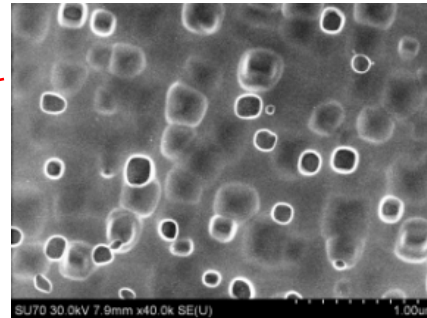
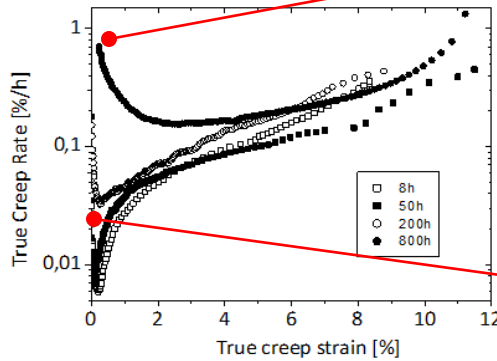
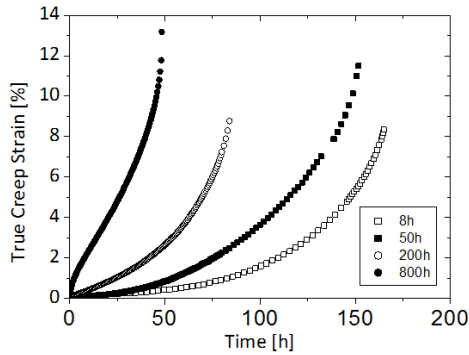
B. Dyson and M McLean, *Acta Metall.* 31 (1983), 17.

Prove di creep

Importanza della microstruttura



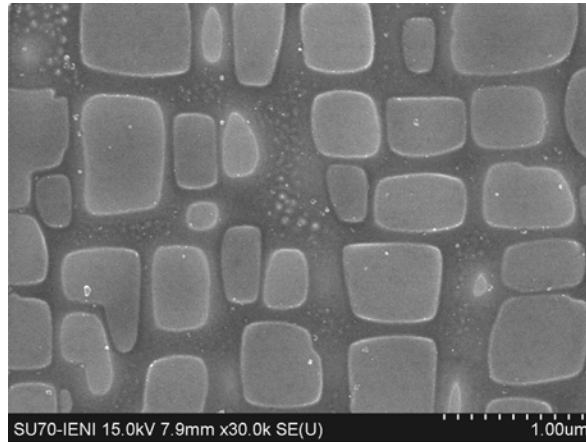
Superlega di nichel monocristallina



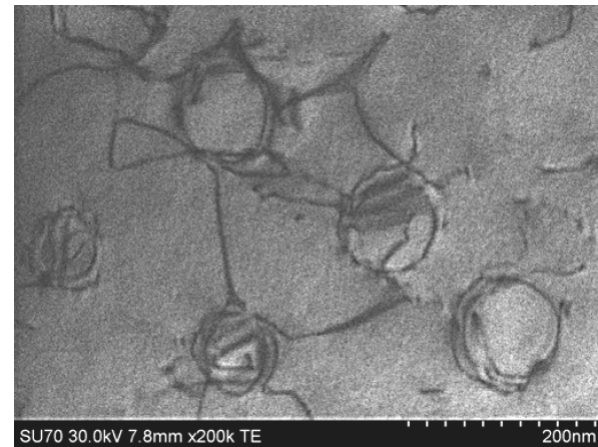
Superlega di nichel policristallina

G. Angella, R. Donnini, D. Ripamonti, M. Maldini, *MATEC Web of Conferences* 14, 14001 (2014), pp.1-6

Importanza della microstruttura



Superlega di nichel monocristallina (1)



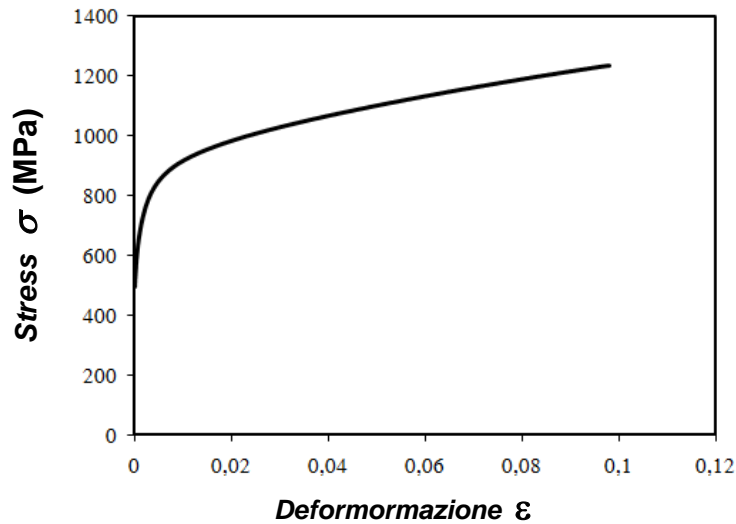
*Superlega di nichel policristallina
(immagine STEM) – (2)*

- (1) G. Angella, G. Barbieri, R. Donnini, R. Montanari, M. Richetta, A. Varone, *Materials* 10/9 (2017), pp.1-19
- (2) G. Angella, R. Donnini, D. Ripamonti, M. Maldini, *MATEC Web of Conferences* 14, 14001 (2014), pp.1-6

Prove di trazione

Analisi del comportamento plastico a basse ed alte temperature

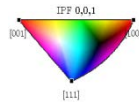
Prova di trazione



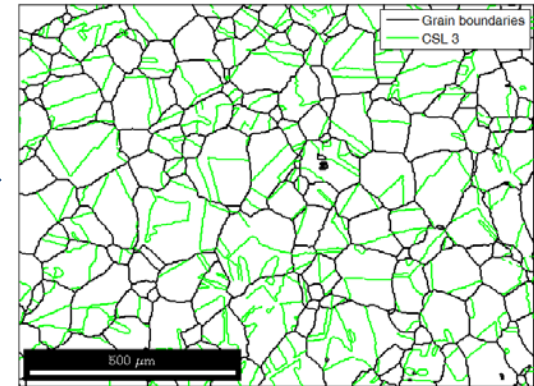
Analisi della stato di deformazione

EBSD (Electron backscattered diffraction): analisi ed elaborazione dati

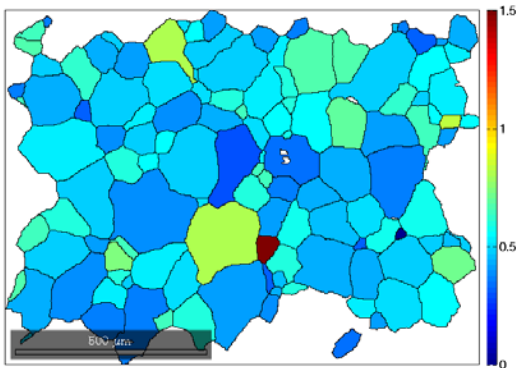
Stato non deformato
Acciaio inossidabile



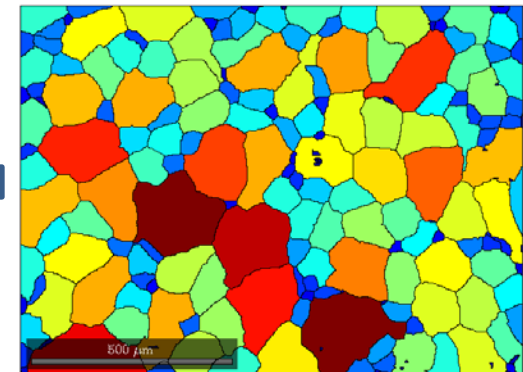
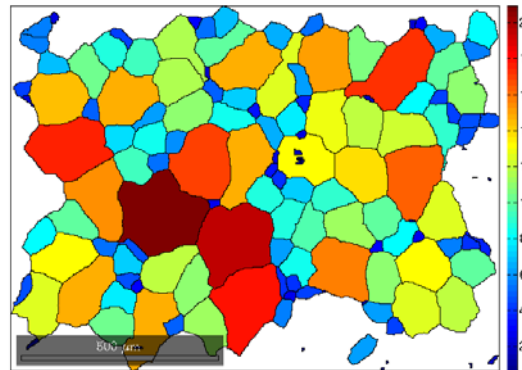
Grain boundaries



Grain orientation spread



Grain size



Conclusioni

Verifica e qualifica delle proprietà del materiale



Potenziali o possibili condizioni di lavoro



*Verifica ed analisi del materiale sotto
specifiche condizioni di sollecitazione*



*Caratterizzazione dei fattori microstrutturali
e loro evoluzione durante la prova*



*Trasferimento tecnologico e/o di applicabilità in
ambito industriale*

Grazie per l'attenzione !!



Consiglio Nazionale delle Ricerche
ICMATE - sede di Milano