



# XXXIV Congresso AIAS Settembre 2005 Politecnico di Milano



## CARATTERIZZAZIONE A FATICA DI UNA LEGA DI ALLUMINIO PER ASTE DI PERFORAZIONE PETROLIFERE

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Pisa.

Autori: Prof. M. Beghini, Prof. L. Bertini, Dr. M. Lucifora, Dr. **C. Santus**

Collaborazione fra:

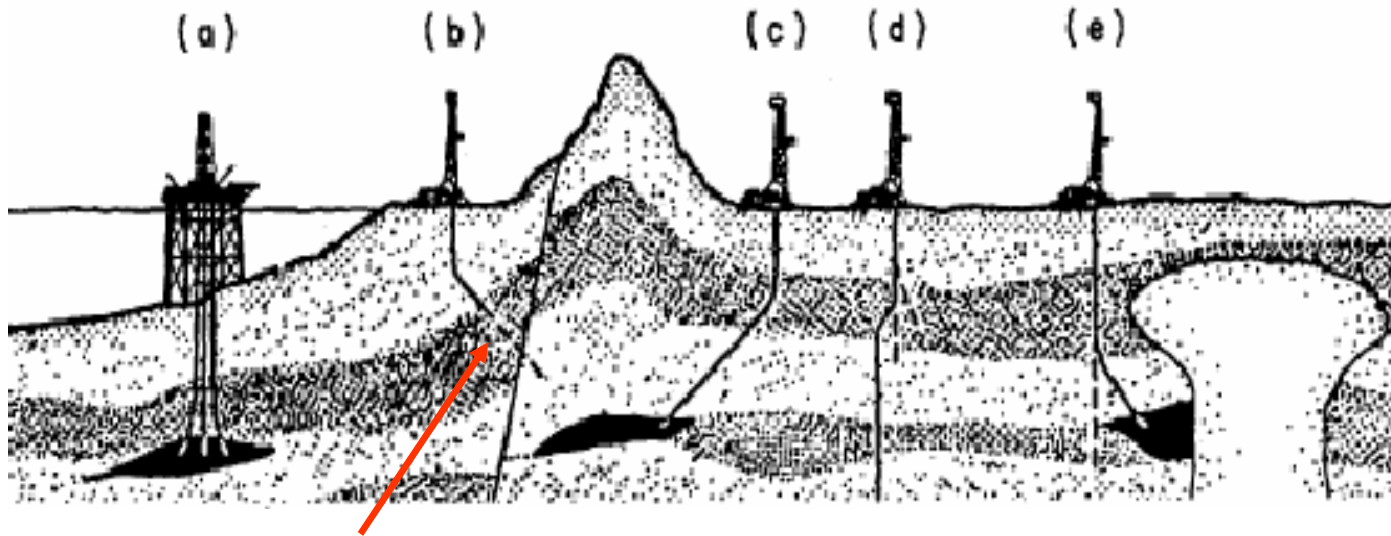
DIMNP, Università di Pisa

ENI S.p.A., S. Donato Milanese (MI)



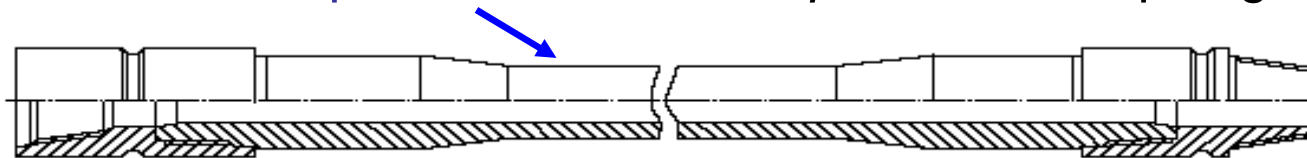
# Contesto del lavoro

Trivellazione per estrazione petrolifera, *nomenclatura*



Stringa di perforazione, *Drill String*

Sequenza di *Aste di perforazione, Drill Pipes*, di varia tipologia



Elementi di connessione, *Tool Joints*, dotati di filettatura conica

# Contesto del lavoro

## Problematiche relative alla stringa di perforazione

### Condizioni **di carico**:

- trazione (nella parte alta della stringa)
- torsione
- flessione rotante (in presenza di deviazioni)
- instabilità a compressione (nella parte bassa)
- oscillazioni flessionali per effetti dinamici

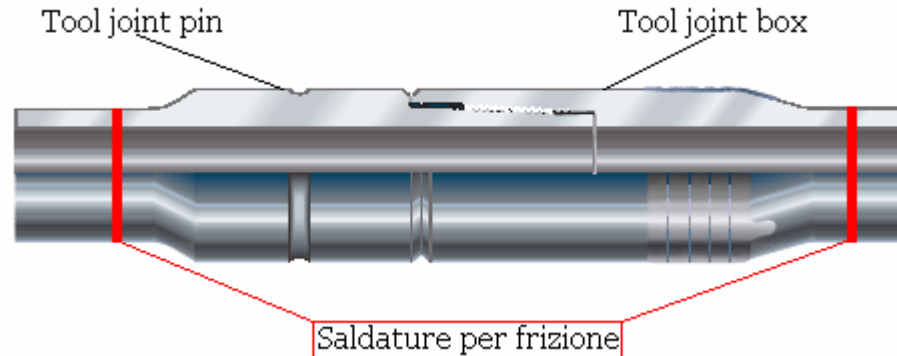
### Condizioni **operative**:

- intagli (filettatura, incisioni di detriti)
- abrasioni
- ambiente fortemente corrosivo (presenza di H<sub>2</sub>S)

Il **70 % delle rotture** durante la perforazione avviene per **fatica !!!**

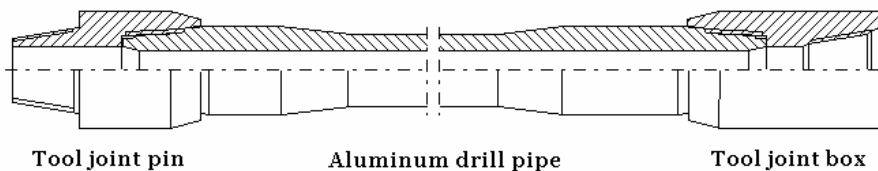
# Stato dell'arte

## Attuale tecnologia per aste in acciaio



Un solo **accoppiamento filettato** per giunzione, due **saldature di frizione** fra aste e *Tool Joints*

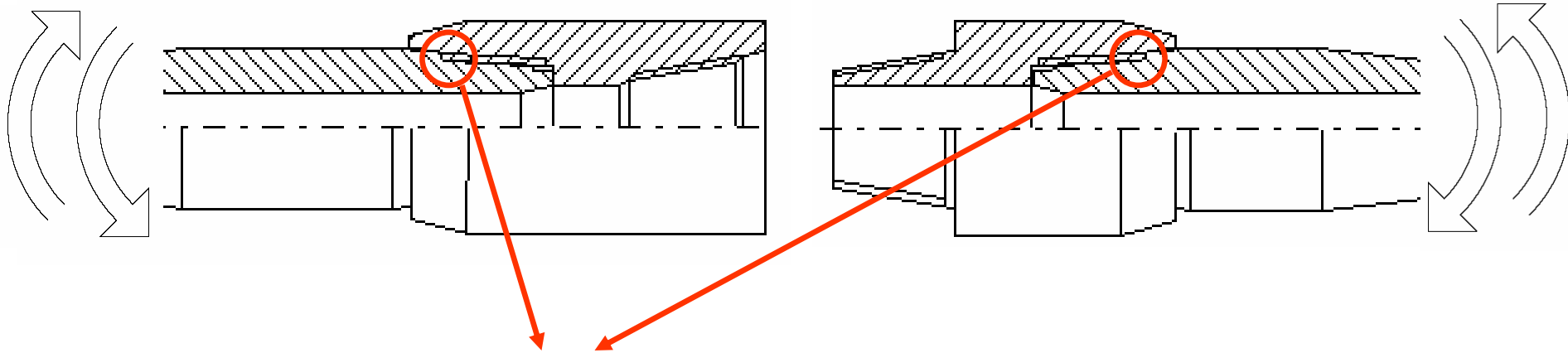
## Tecnologia innovativa per aste in alluminio



Alluminio - Acciaio - Acciaio - Alluminio

Un solo **accoppiamento filettato** acciaio - acciaio, due **accoppiamenti filettati** fra aste in alluminio e *Tool Joints*

## Attuale tecnologia per aste in acciaio



Fondo primo filetto in presa:

- elevata **concentrazione delle tensioni**, che va ad amplificare la sollecitazione di flessione rotante (**sensibilità all'intaglio**)
- elevata **componente media** dovuta al forte preserraggio del collegamento filettato Alluminio-Acciaio

# Obiettivo del lavoro

Prove in **piccola scala** al fine di caratterizzare la resistenza del materiale base delle aste **in alluminio**

- comportamento **statico**
- comportamento **ciclico**
- comportamento a **fatica**
  - effetto della **tensione media**
  - **sensibilità all'intaglio**



- possibilità di prevedere **la resistenza del componente** in esercizio;
- correlazione con i risultati di **prove in piena scala** realizzate nell'ambito della collaborazione

# Materiale testato

Designazione secondo normativa tecnica specifica

Lega di alluminio **classe II**, norma ISO 15546

- composizione chimica:

Al	Mg	Zn	Cu	Mn	Cr	Ti	Zr	Fe	Si	Altro
Bilancio	2.4-3.0	5.5-6.0	0.4-0.8	0.1-0.3	0.1-0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2	≤0.2	≤0.1

Praticamente coincide con la **AA7014** secondo la designazione americana (o europea secondo la classificazione EAA)

Si tratta di una lega **AlZnMg** povera di **Cu** a differenza delle tipiche leghe **7075**, **7175**, più comuni della classe 7xxx

## Processo e trattamento termico

La produzione di tali aste di perforazione si ottiene, fundamentalmente, per **estrusione a caldo**.

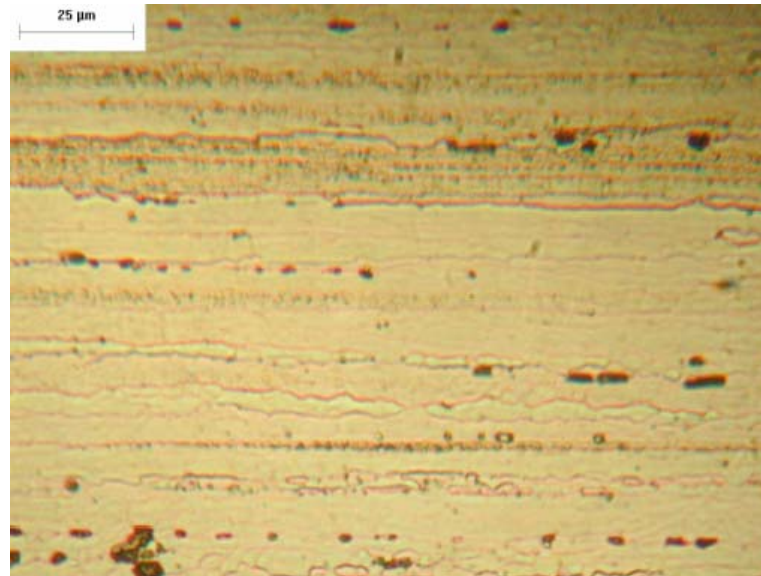
In dettaglio il processo di produzione segue le seguenti fasi:

- **omogeneizzazione** del materiale a 490 °C per 12h
- **estrusione** a 400 °C alla velocità di 1.8 - 3.5 m/min
- trattamento termico di **tempra di solubilizzazione** a 475 – 480 °C per 40 – 45 min
- **invecchiamento** artificiale a 170 – 180 °C per 7 – 8h

Per il tipo di trattamento è corretto indicare tale lega come **AA7014-T6**

## Struttura ottenuta

Nonostante l'estrusione sia a caldo e la successiva tempra si ottiene una struttura **parzialmente ricristallizzata**

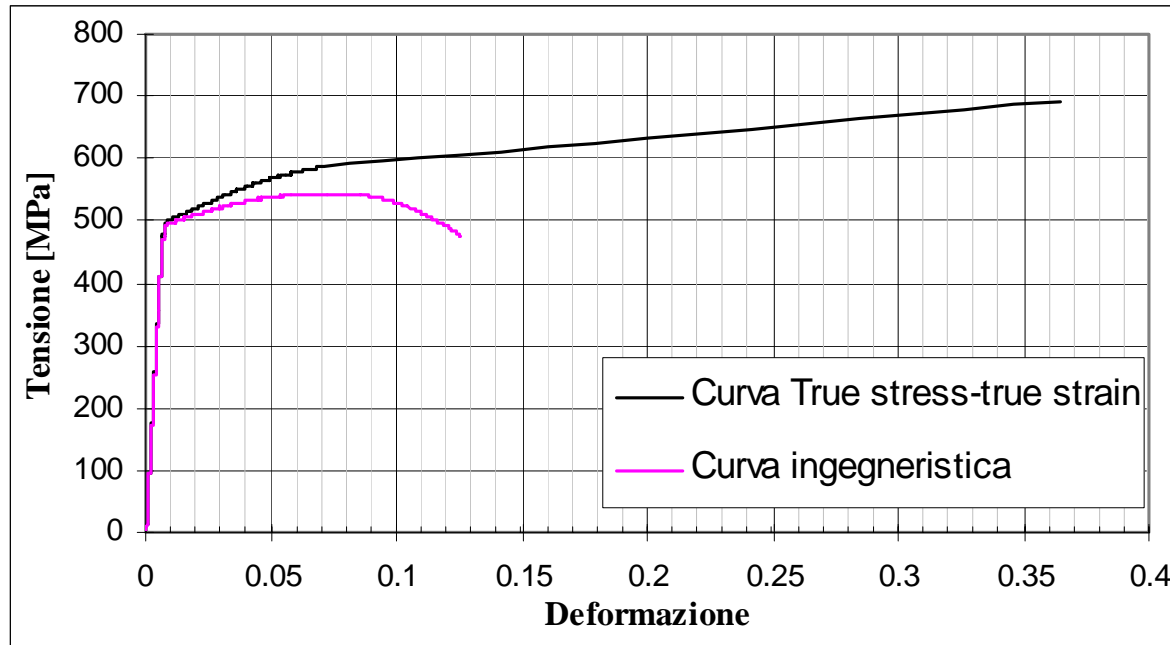


Micrografia secondo un piano longitudinale:

- presenza di **inclusioni**
- **banda di estrusione** mediamente  $9 \pm 3 \mu\text{m}$

# Caratterizzazione a resistenza statica

## Curva monontona di trazione



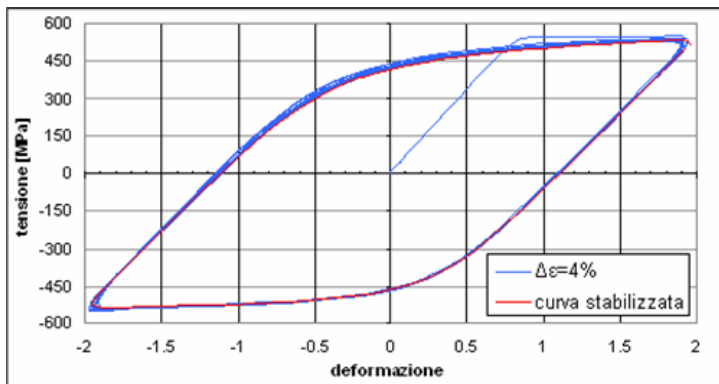
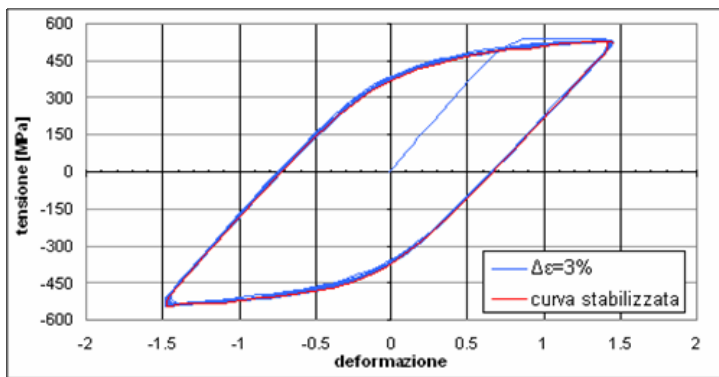
Comportamento a trazione tipico delle leghe di **Alluminio ad alta resistenza, classe 7xxx**

<b>E</b> [MPa]	<b>Sy<sub>0.2</sub></b> [MPa]	<b>Su</b> [MPa]	<b>E<sub>p</sub></b> [MPa]	<b>Ar</b> [%]
72964	494	544	1800	12.5

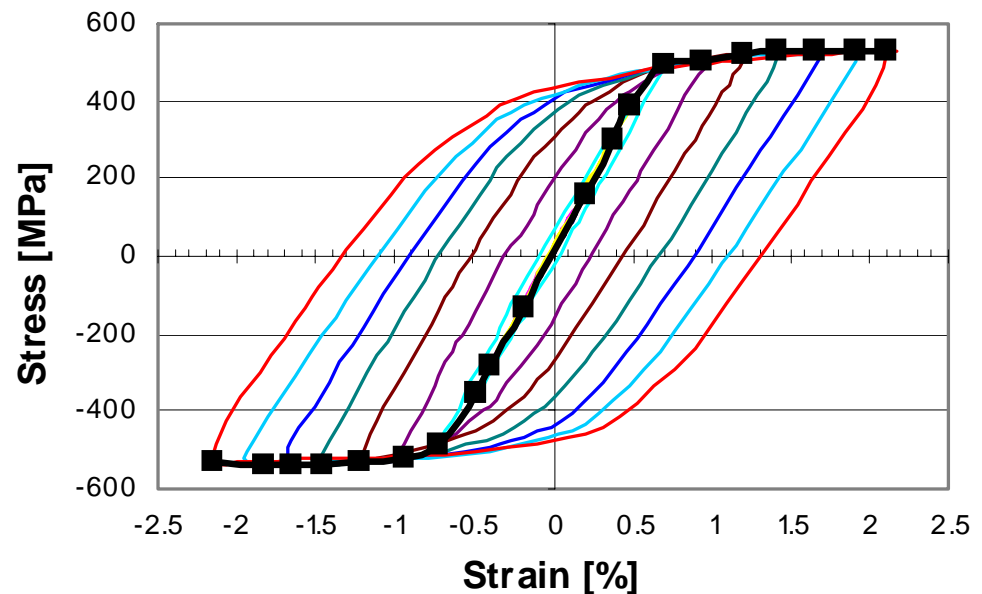
# Caratterizzazione ciclica

## Curva ciclica tensione deformazione

Controllo in **deformazione** della prova,  
**stabilizzazione in pochi cicli** (<10)



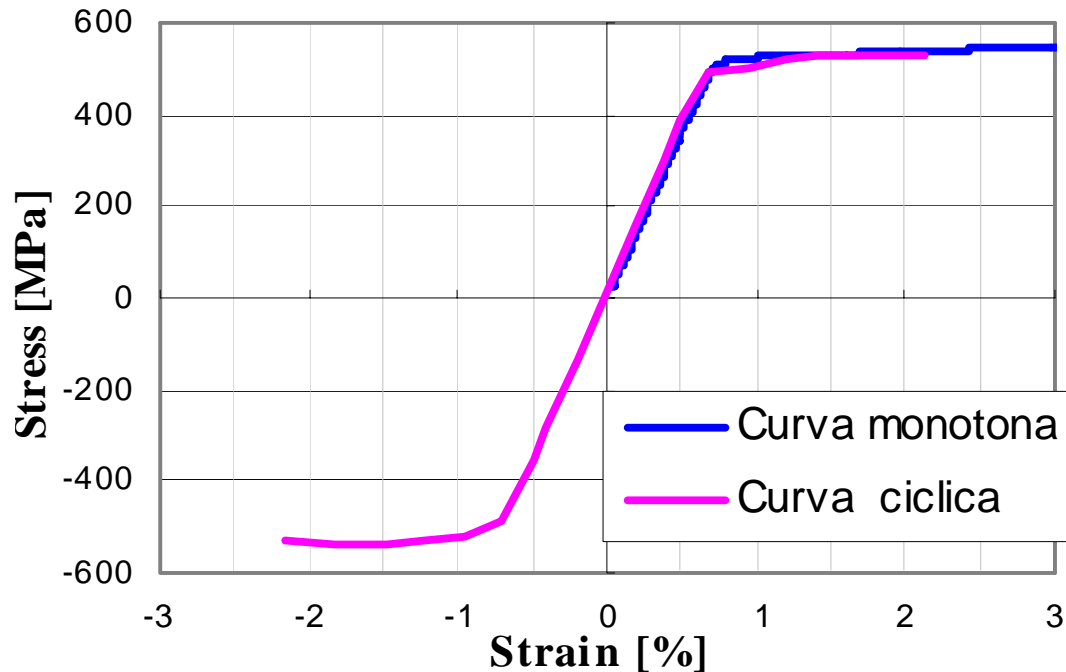
Sovrapposizione delle singole  
curve stabilizzate



# Caratterizzazione ciclica

## Confronto fra curva ciclica e monotona

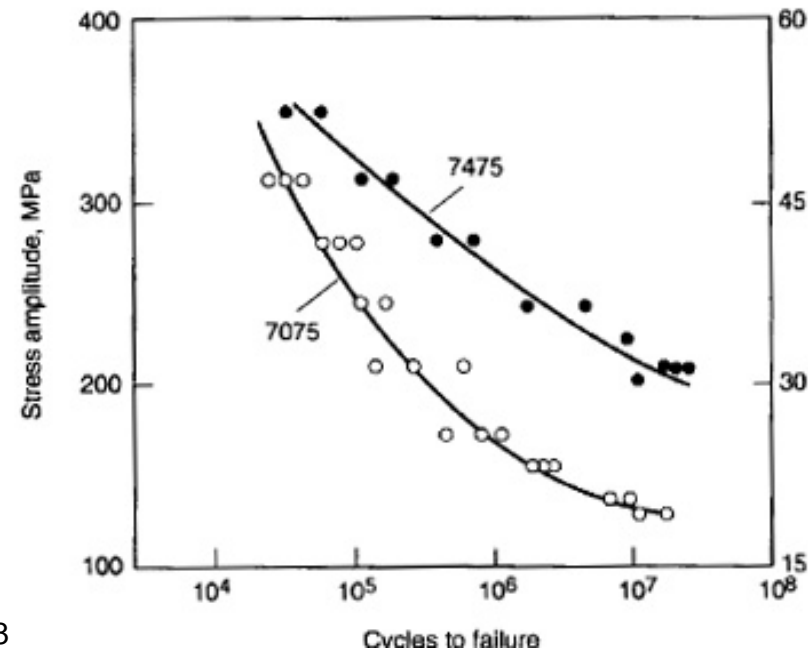
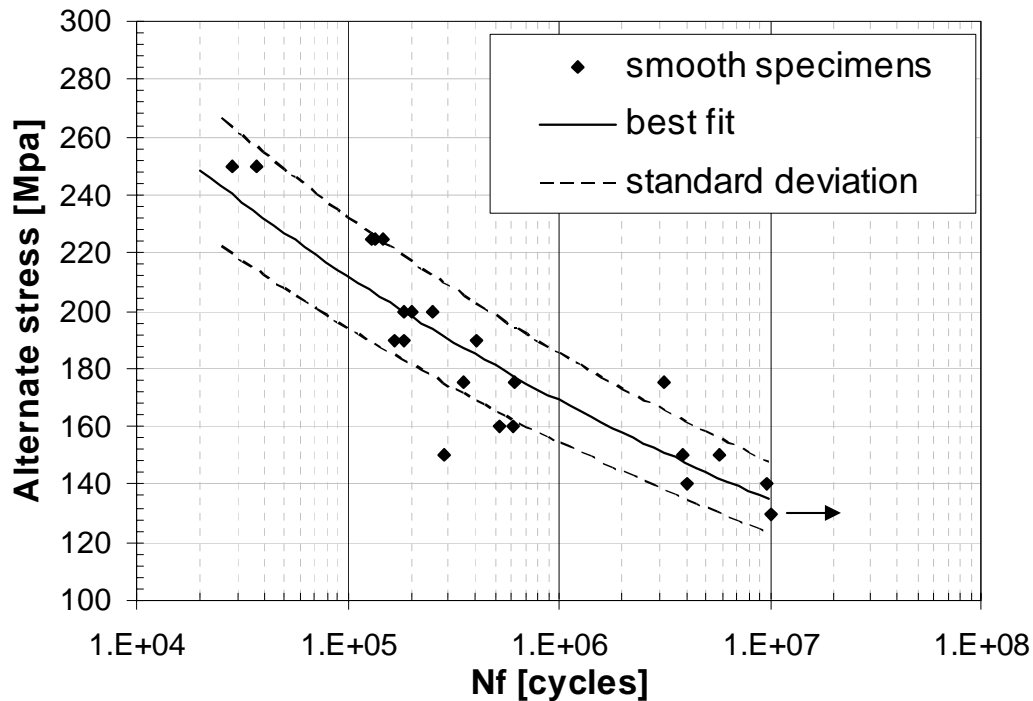
Carattere ciclico **neutro** del materiale nonostante la struttura a fibre



# Caratterizzazione a fatica

Prove a fatica con provini lisci, con rapporto di carico  $R=-1$

- Popolazione di 22 provini
- Run-outs marcati a  $10^7$

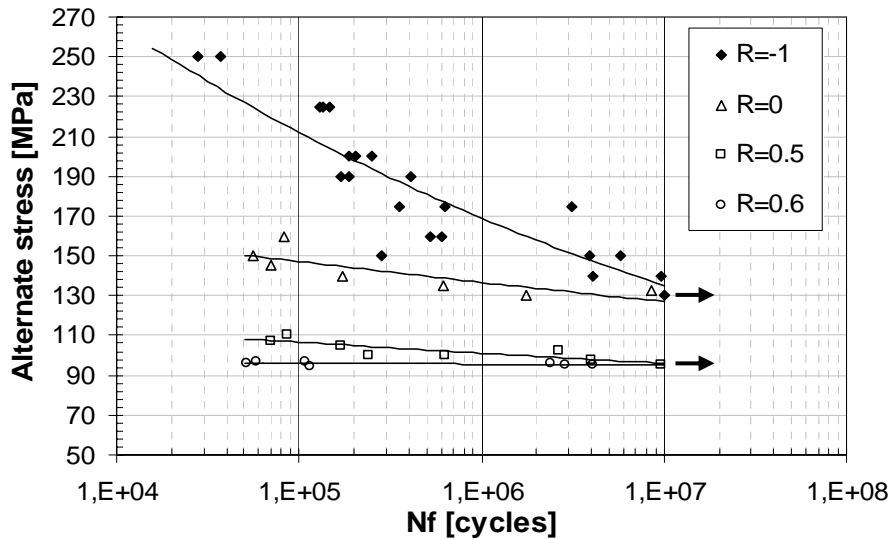


In linea con dati di letteratura. Effetto delle inclusioni sulla **resistenza a fatica**

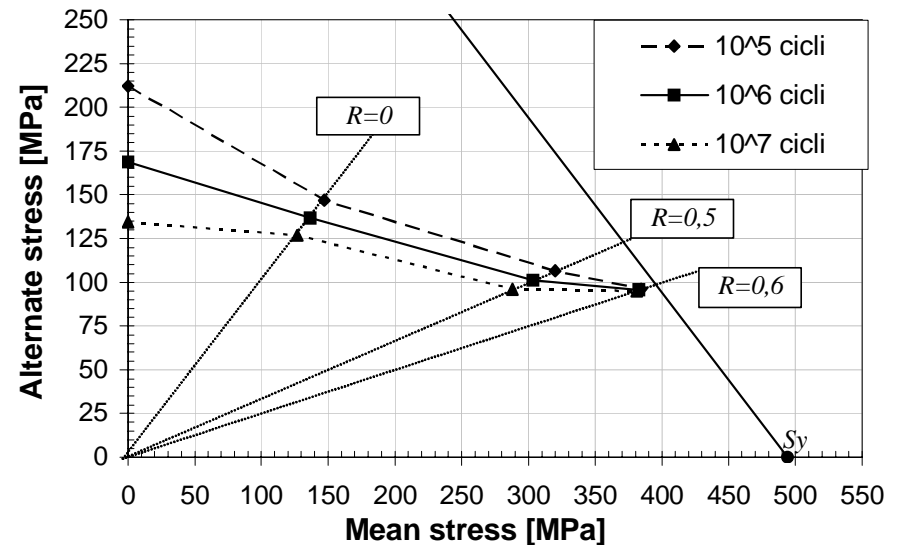
# Caratterizzazione a fatica

## Effetto della tensione media

### Curve S-N per diversi rapporti $R$



### Diagrammi di Goodman per diversi numeri di cicli a rottura

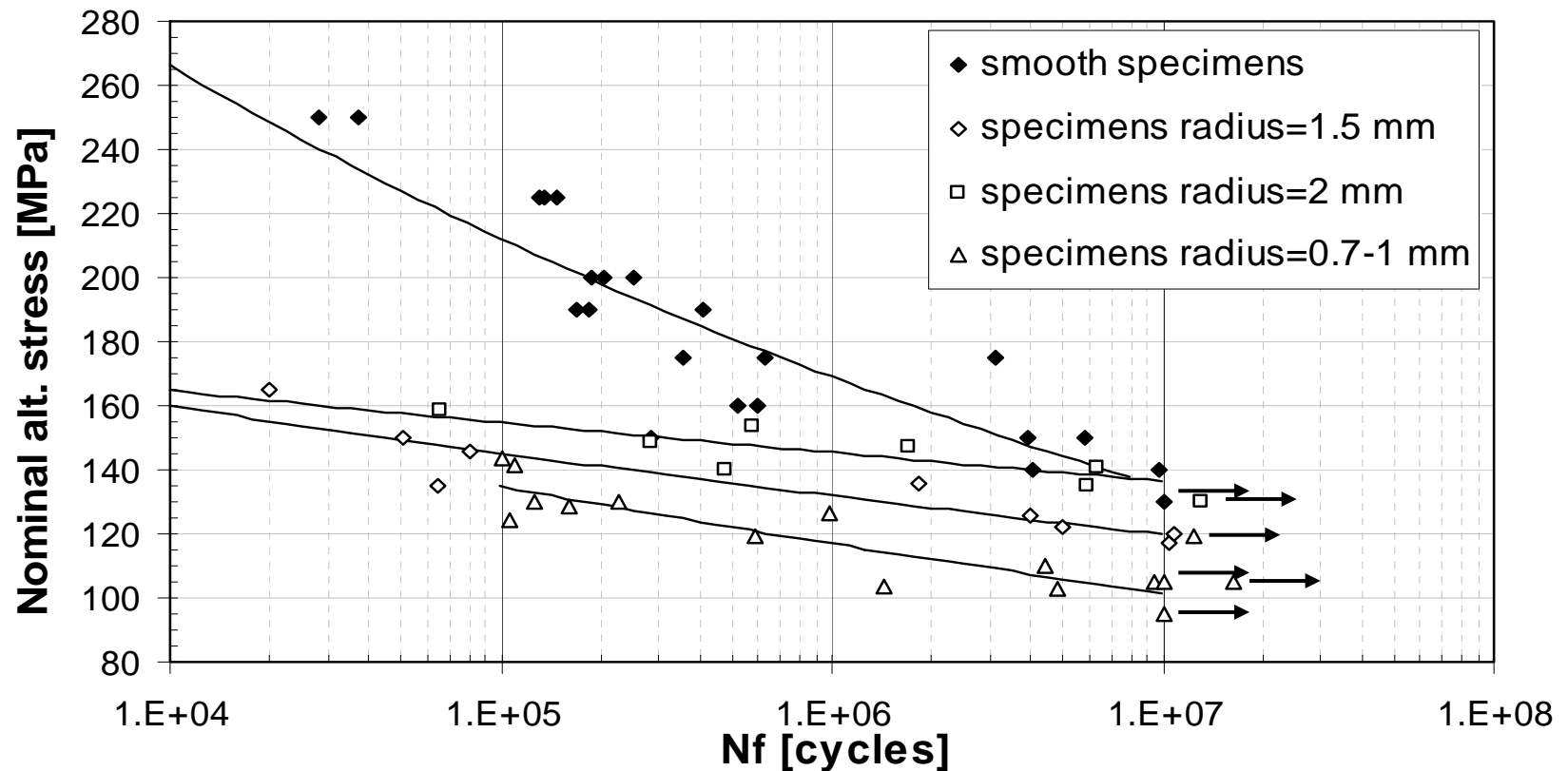


<b>R= -1</b>		<b>R=0</b>		<b>R=0.5</b>		<b>R=0.6</b>	
$S 10^6$ [MPa]	$S 10^7$ [MPa]	$S 10^6$ [MPa]	$S 10^7$ [MPa]	$S 10^6$ [MPa]	$S 10^7$ [MPa]	$S 10^6$ [MPa]	$S 10^7$ [MPa]
169	135	137	127	101	96	96	95

# Caratterizzazione a fatica

## Sensibilità all'intaglio

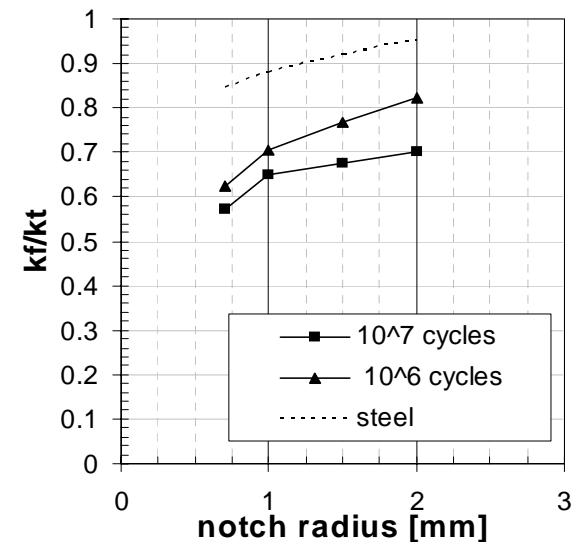
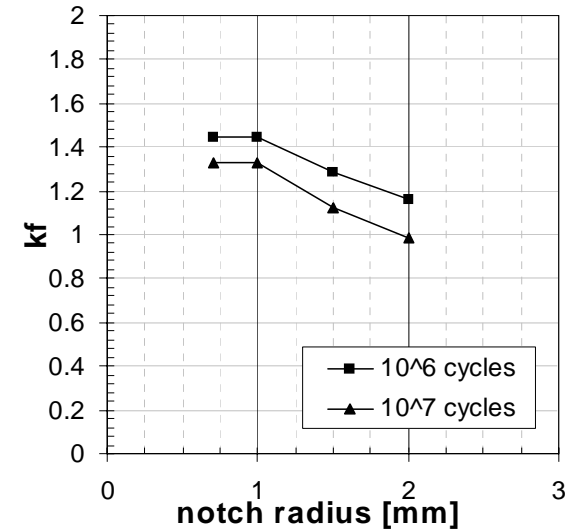
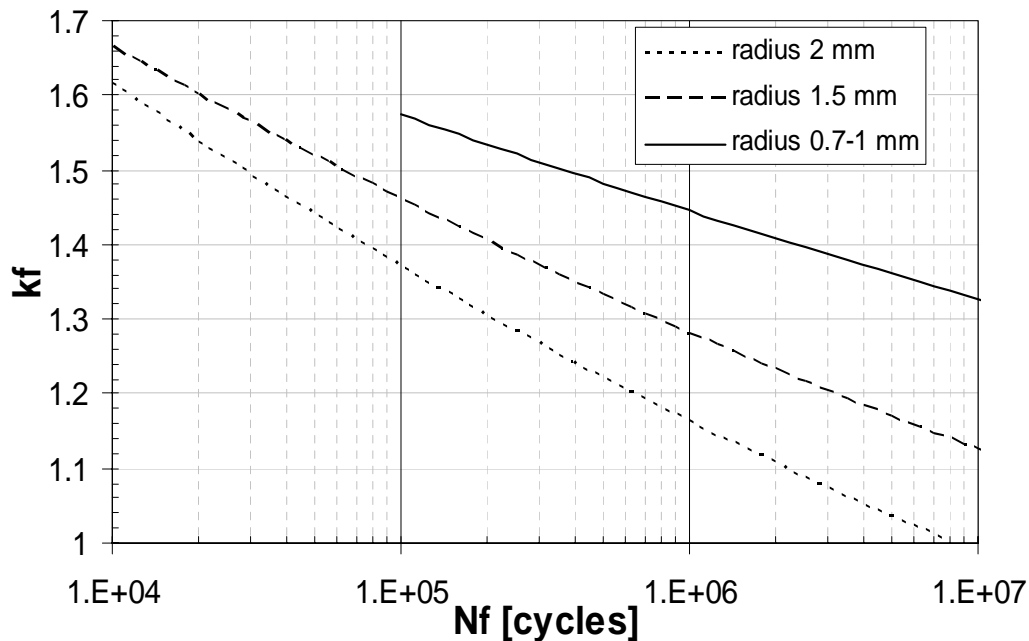
Curve  $S-N$  per diversi valori del raggio di raccordo d'intaglio



# Caratterizzazione a fatica

## Sensibilità all'intaglio

Fattore di concentrazione delle tensioni a fatica  $k_f$  in funzione della durata



# Caratterizzazione a fatica

Aspetto della superficie di rottura: provini lisci, provini intagliati

Aspetto tipico di  
superficie di rottura



Ridotta superficie di  
accrescimento

Aspetto tipico di  
superficie di rottura



Ridotta superficie di  
accrescimento

La durata a fatica risente solo dell'**innesco** (e non della **propagazione**)

# Sviluppi futuri

Al fine di ottenere una caratterizzazione soddisfacente per interpretare i successivi risultati in piena scala, si prevede di:

- estendere i **Run-out a  $2 \times 10^7$**  (o maggiore) in accordo con le prove in piena scala da correlare
- caratterizzare il comportamento ciclico per deformazione alternata **non simmetrica**
- eseguire prove di **effetto della tensione media su provini intagliati**, al fine di ottenere plasticizzazione in corrispondenza del fondo dell'intaglio
- definire l'effetto dello **stato superficiale** sulla resistenza a fatica

# Conclusioni

Lo studio a fatica della lega di Alluminio ha portato i seguenti risultati:

- comportamento ciclico **neutro**
- assenza di un **limite di fatica** (run-outs a  $10^7$ ) e di un cambio di **pendenza** (intervallo fra  $10^4 - 10^7$ )
- all'aumentare del rapporto di carico  $R$ , le curve  $S-N$  sono spostate in basso, e si nota un **appiattimento** delle stesse
- **bassa sensibilità all'intaglio**, comune a molte leghe di alluminio, a differenza di un acciaio, specie se ad alta resistenza
- il coefficiente di concentrazione delle tensioni a fatica  $k_f$  **diminuisce all'aumentare del numero di cicli a rottura**, a parità di  $k_t$  a differenza di un acciaio che presenta un limite di fatica
- il coefficiente  **$k_f$  aumenta al diminuire del raggio d'intaglio** e si stabilizza per raggi inferiori a 1 mm