

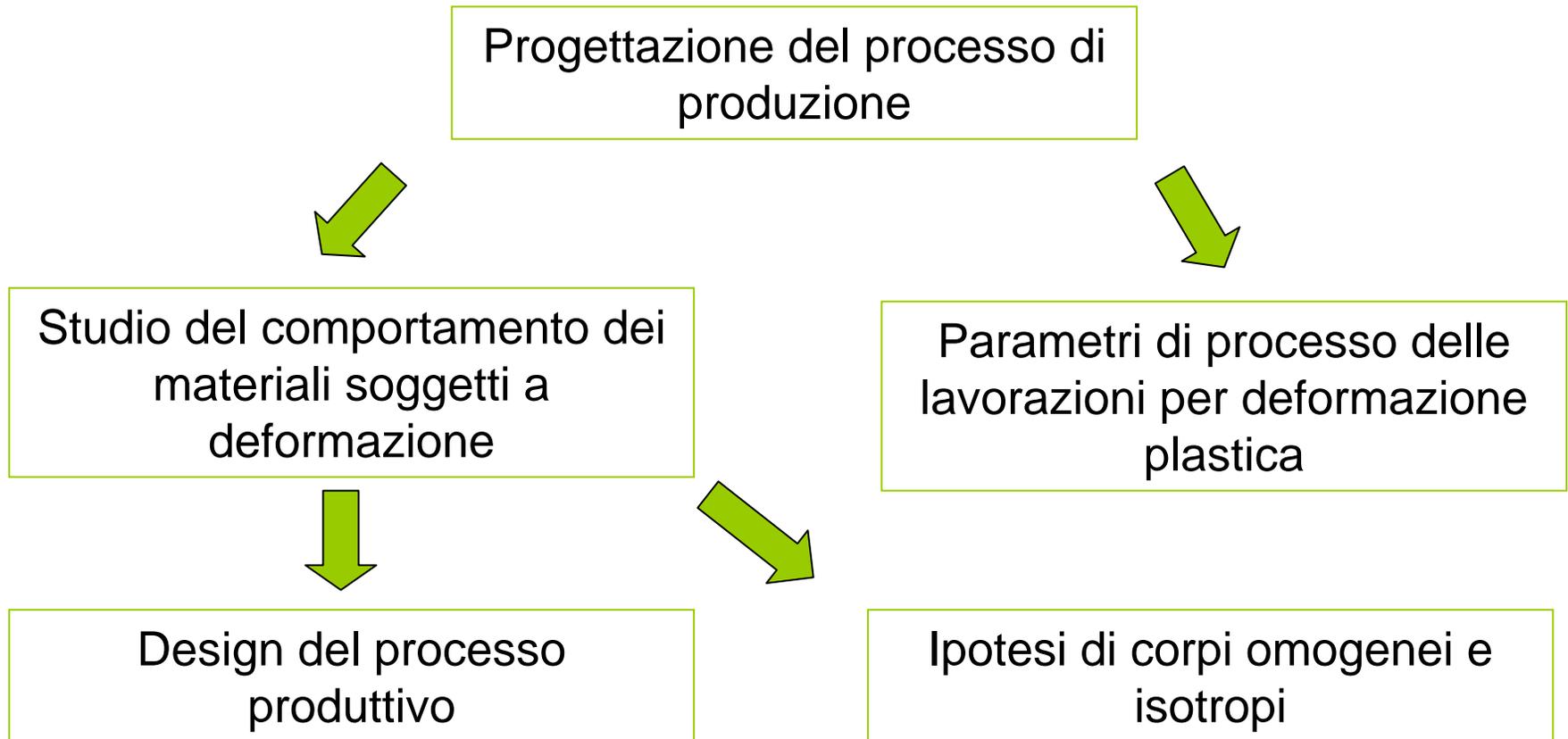
# COMPORTAMENTO PLASTICO DEI MATERIALI METALLICI

1

1. Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici
2. Modelli reologici
3. Effetto Bauschinger
4. Condizioni di plasticità
5. Relazioni tensioni deformazioni in campoplastico

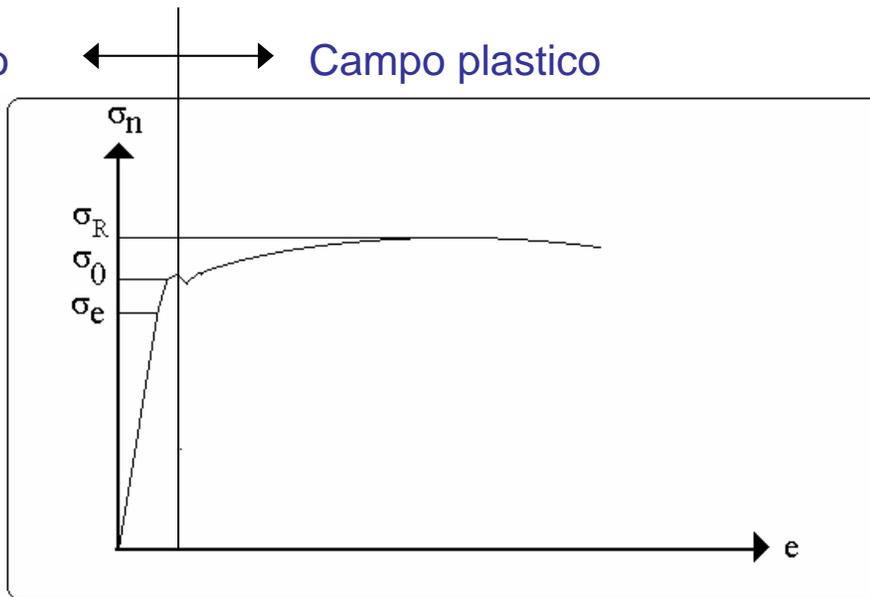


# COMPORTAMENTO PLASTICO DEI MATERIALI METALLICI



# Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici

Campo elastico



Campo plastico

Diagramma tensioni nominali  
deformazioni convenzionali

deformazioni  $e = \Delta l/l_0 = (l - l_0)/l_0$

tensioni da  $\sigma_n = P/A_0$

la tensione limite di proporzionalità,  $\sigma_p$ , che individua la fine del tratto di comportamento elastico e lineare del materiale;

la tensione limite di elasticità,  $\sigma_e$ , in corrispondenza del limite delle deformazioni reversibili;

la tensione di snervamento,  $\sigma_0$ , in corrispondenza dell'inizio delle deformazioni plastiche coincide con la deformazione pari a 0,2%

la tensione di rottura,  $\sigma_R$ ;

l'allungamento e la strizione percentuale.

# Prove sperimentali per la caratterizzazione del comportamento plastico dei materiali metallici

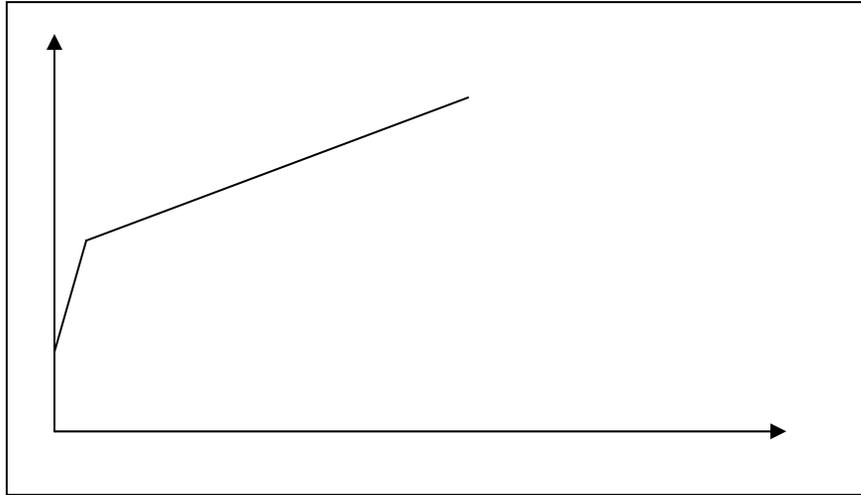


Diagramma tensioni reali-deformazioni reali

deformazioni  $\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$

tensioni da  $\sigma = P/A$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{A_0} \times \frac{A_0}{A} \quad \sigma_n = \frac{P}{A_0} \quad \frac{A_0}{A} = \frac{l}{l_0} \quad e = \frac{l - l_0}{l_0} \Rightarrow \sigma = \sigma_n \times \frac{l}{l_0} \quad \frac{l}{l_0} = (1 + e) \quad \sigma = \sigma_n (1 + e)$$

Vantaggi dell'utilizzo delle tensioni-deformazioni reali:

Le deformazioni si possono sommare

Rappresentazione più reale del fenomeno es

Trazione  $l_{\text{finale}} = 2l_0 \Rightarrow$  deformazioni reali  $\ln 2$  ; deformazioni convenzionali 1

Compressione  $l_{\text{finale}} = 0 \Rightarrow$  deformazioni reali  $-\infty$  ; deformazioni convenzionali -1

## Modelli reologici

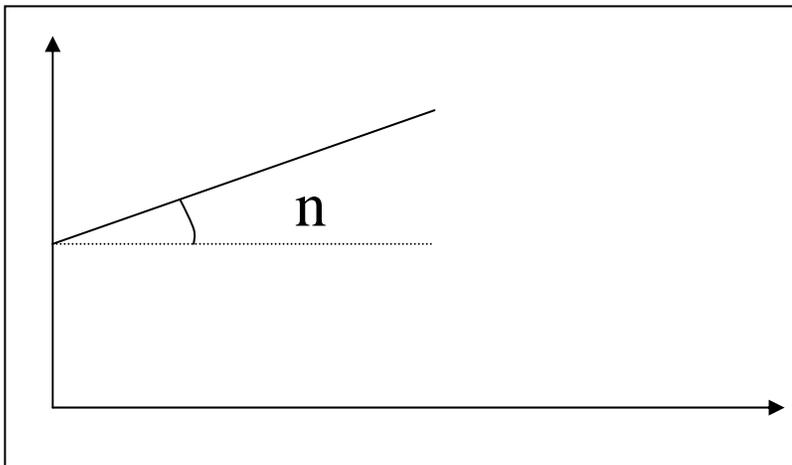
$\sigma = E\varepsilon$  (nella quale  $E$  è il modulo di Young o di rigidità longitudinale),

$\sigma = C\varepsilon^n$ ,  $C$  ed  $n$  due costanti caratteristiche del materiale

$n$  indice di incrudimento rappresenta la resistenza del materiale nel subire ulteriori deformazioni permanenti dopo lo snervamento

La deformazione plastica reale accumulata in corrispondenza dell'insorgere della strizione è pari a  $n$  ( $n=0$  materiali perfettamente plastici)

Più grande  $n \rightarrow$  maggiore è l'allungamento che si può imprimere uniformemente prima che si manifesti il fenomeno della strizione



Relazione tensioni -  
deformazioni

## Modelli reologici

Nota la curva defomazioni-tensioni reali di un materiale  $\sigma=100.000 \varepsilon^{0,5}$

Calcolare la tensione di rottura convenzionale e reale

La tensione di rottura è quello corrispondente al massimo carico prima della strizione (necking)  $n$  è la corrispondente deformazione

$$\varepsilon_{\text{rottura}} = n = 0,5$$

La tensione di rottura reale è  $\sigma_{\text{rottura reale}} = 100.000 \cdot 0,5^{0,5} = 70.710 \text{ psi}$

$$\ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A_{\text{neck}}}\right) = n = 0,5 \quad \Rightarrow \quad A_{\text{neck}} = A_0 e^{-0,5}$$

La tensione di rottura convenzionale è

$$\sigma_{\text{rottura conv}} = P/A_0$$

Il carico di rottura è  $P = \sigma_{\text{rottura reale}} A_{\text{neck}} = \sigma_{\text{rottura reale}} A_0 e^{-0,5}$

$$\sigma_{\text{rottura conv}} = \sigma_{\text{rottura reale}} A_0 e^{-0,5} / A_0 = 42850 \text{ psi}$$

## Relazioni tensioni deformazioni a caldo

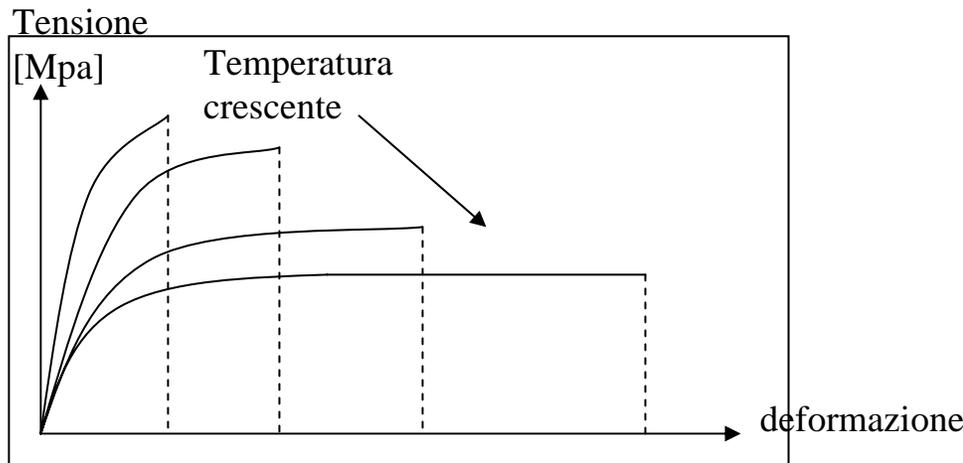
Defomazioni-tensioni reali a temperatura ambiente  $\sigma=C \varepsilon^n$

Lavorazioni a caldo (Es 1200 °C laminazione acciaio; 400 °C leghe alluminio)

Riduzione tensione di snervamento e tensione a rottura  
Aumento dell'allungamento percentuale a rottura

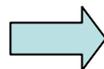


Materiale più duttile  
e più tenace

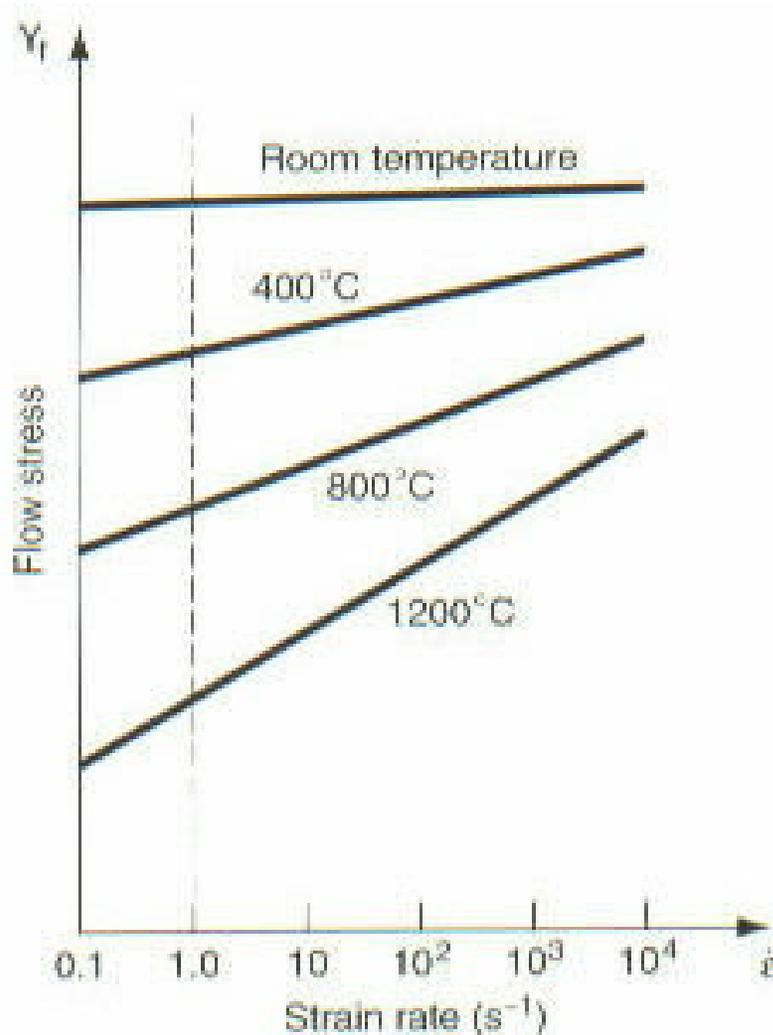


$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\frac{dl}{l}}{dt} = \frac{1}{l} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{V}{l}$$

Aumento Velocità di  
deformazione



Aumento tensione di snervamento e tensione a rottura



## Temperature & Strain Rate

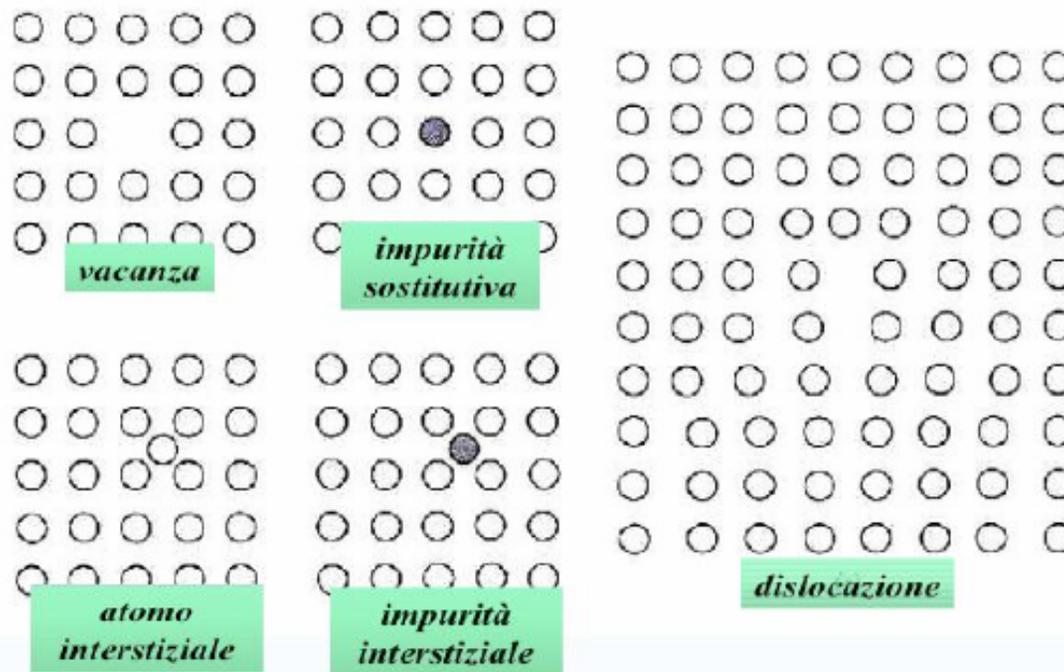
## Difetti reticolari

difetti di punto (vacanze, interstiziali, sostituzionali,...)

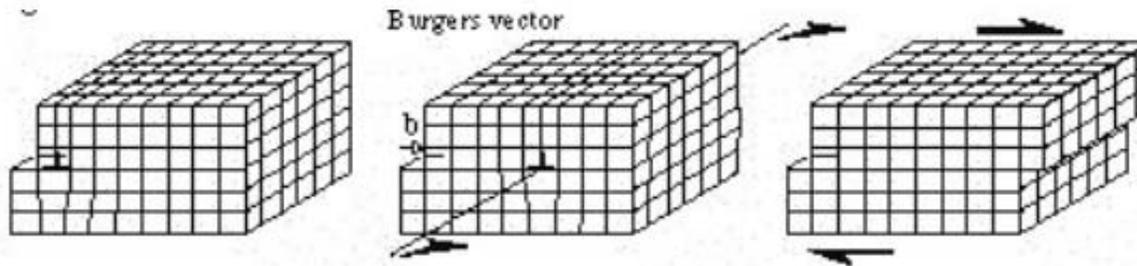
difetti di linea (dislocazioni, disclinazioni)

difetti di superficie (bordi di grano, bordi di fase)

difetti di volume (vuoti, microfessure, inclusioni,...)



## DISLOCAZIONI E PLASTICITA' NEI MATERIALI



Il lavoro del campo di stress esterno può tradursi in deformazione plastica (o permanente) al disopra del **limite di cedimento** (*yielding stress*) del materiale.

La deformazione plastica in un cristallo è associata alla nucleazione e alla dinamica delle **dislocazioni**, difetti di linea legati alla particolare simmetria del reticolo cristallino.

Le dislocazioni nucleano alle superfici libere o ai vuoti interni, ed alle interfacce interne come bordi di grano e domini di fase. Dislocazioni liberamente in movimento in un monocristallo sono dette dislocazioni "reticolari" (*lattice dislocations*).



**Interazione tra dislocazioni e precipitati**

- **Ricristallizzazione:**  $\frac{1}{2} T_f$
  - **Riassetto:**  $0,3 - 0,5 T_f$
- } Statica e dinamica

Fenomeni legati alla mobilità degli atomi all'interno del reticolo cristallino.

- Riassetto: riarrangiamento delle dislocazioni secondo configurazioni più regolari → incremento doti di duttilità e tenacità → riduzione tensione di flusso pastico → invarianza della struttura granulare
- Ricristallizzazione: Gli atomi, per effetto della maggiore temp hanno una maggiore mobilità che gli consente di riorganizzarsi in nuovi nuclei di cristallizzazione con conseguente rinnovamento della struttura granulare. Riduzione delle dislocazioni e conferimento caratteristiche isotrope al materiale.



- Softening: addolcimento del materiale → riduzione della tens di snervamento, di rottura e incremento della capacità di subire deformaz. Prima della rottura (duttilità)

## Riassetto e ricristallizzazione dinamica

I diagrammi riportati in figura presentano gli effetti del softening dovuto ai fenomeni di riassetto e ricristallizzazione dinamica a loro volta generati dall'effetto combinato di temperatura e deformazione. La tensione di flusso decresce dopo aver raggiunto il picco

### Diagrammi sforzo – deformazione reale

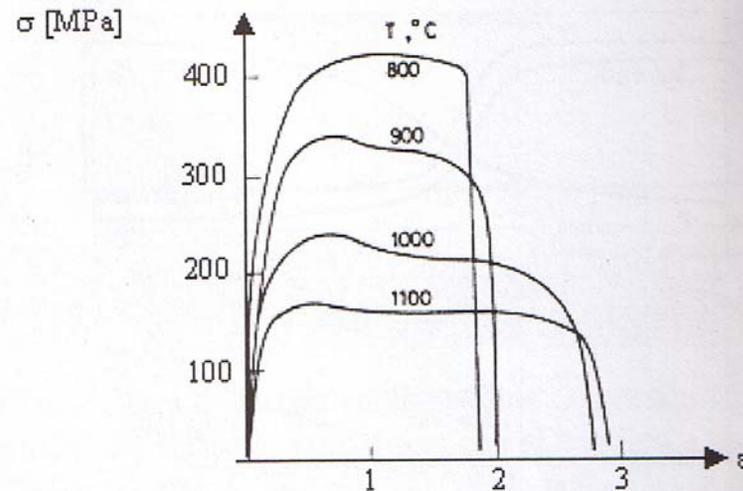
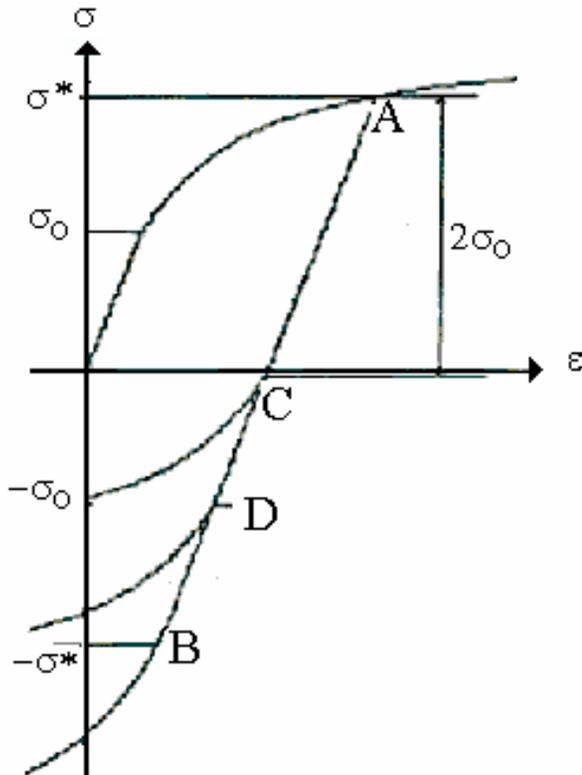


Figura 1.7 - Prove di torsione a caldo su provini in acciaio inossidabile X8CrNi1810 (velocità di deformazione:  $3.9 \text{ sec}^{-1}$ ; temperatura di prova:  $800 \div 1100^\circ\text{C}$ )

# Effetto Bauschinger

Si sottopone un materiale a trazione, superato lo snervamento si sottopone ad una tensione  $\sigma^*$  pari a  $\sigma^* = C \varepsilon^n$

Si sottopone ad una compressione a che valore di tensione si innescano le deformazioni permanenti fine del tratto elastico ?



**I° ipotesi:** si deforma permanentemente a  $-\sigma^*$  (**incrudimento isotropo**)

**II° ipotesi:** si deforma permanentemente ad una distanza da  $\sigma^*$  di  $2\sigma_0$  (**incrudimento cinematico**)

Si innesca la deformazione ad un valore intermedio per effetto Bauschinger:

L'incrudimento provocato con una certa sollecitazione produce i suoi effetti anche quando è caricato con una sollecitazione di segno opposto anche se non in modo isotropo