

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale***  
***RESISTENZA A FATICA DI GIUNZIONI SALDATE IN***  
***ALLUMINIO SECONDO EUROCODICE 9***

Tutor universitario: Prof. Alberto Campagnolo

Laureando: *Tommaso Zoppè*

*Matricola: 2009624*

Padova, 18/03/2024

Il lavoro si propone di confrontare i metodi di verifica della resistenza statica e a fatica per giunzioni saldate in alluminio.

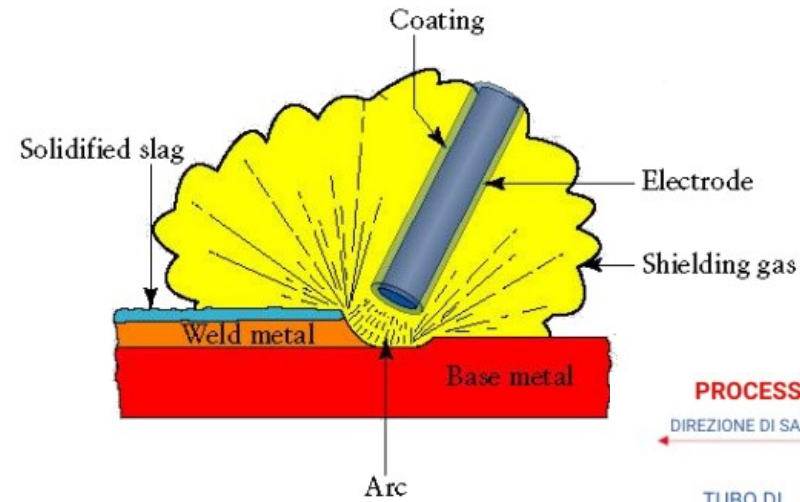
Normative a confronto:

- **UNI 10011:** *Costruzioni in acciaio, istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione;*
- **UNI 8634:** *Strutture di leghe di alluminio, istruzioni per il calcolo e l'esecuzione;*
- **Eurocodice 9:** *Progettazione di strutture in alluminio*

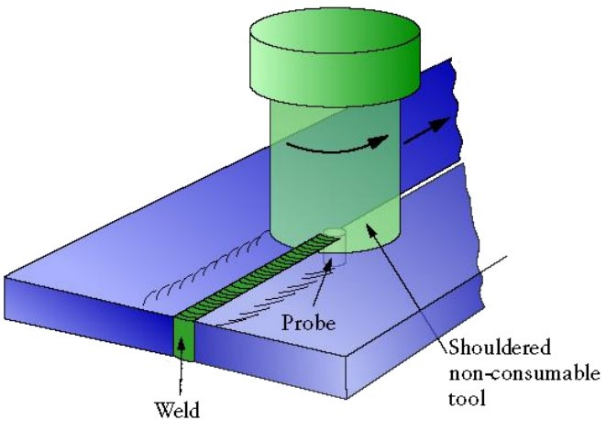
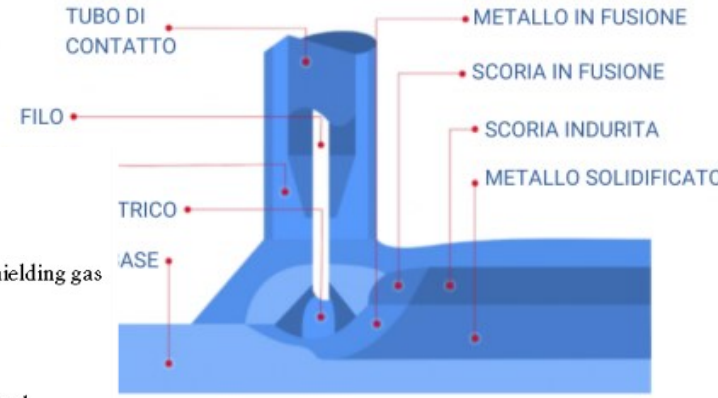
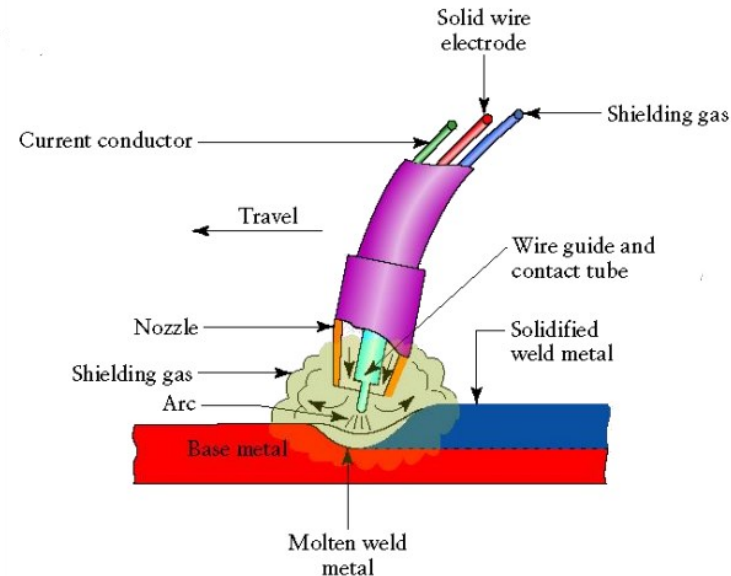
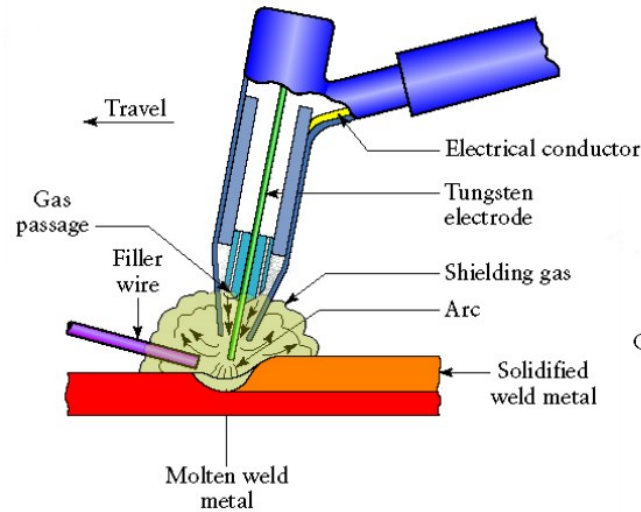
## Processi di saldatura

Acciaio: elettrodo rivestito,  
arco sommerso, MIG, TIG

Alluminio: MIG, TIG,  
friction stir



**PROCESSO**  
DIREZIONE DI SALDATURA

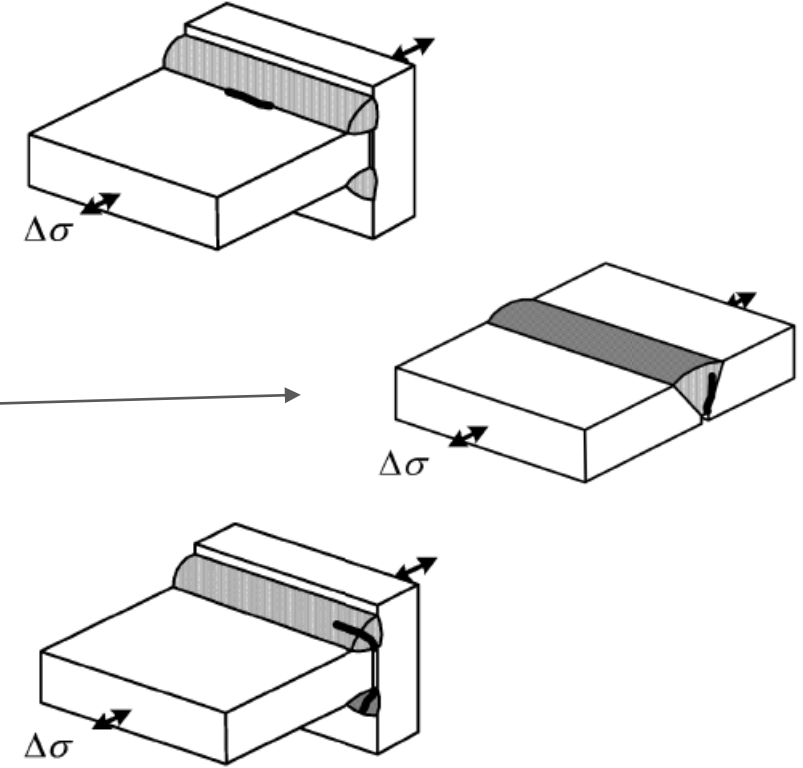


Innesco della  
cricca di rottura

UNI 8634: piede del cordone

Eurocodice 9:

- piede del cordone di saldatura
- piano laterale della saldatura
- radice della saldatura



Tensioni agenti sulla struttura

*Nominale*

*Modificata*

*Hot spot*

Manca l'analisi delle tensioni di picco

Metodo  $\left\{ \begin{array}{l} \text{STATI LIMITE} \\ \text{TENSIONI AMMISSIBILI} \end{array} \right.$

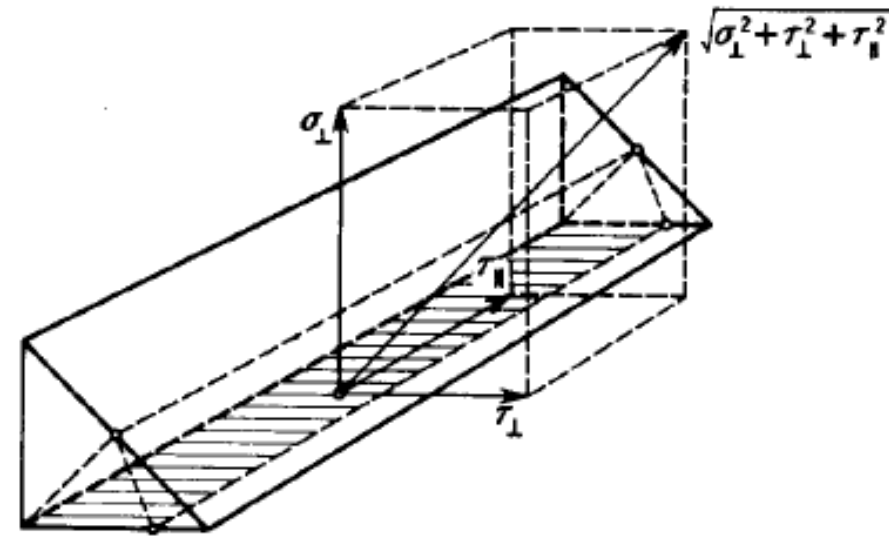
Giunti testa a testa e a T

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3\tau_{\perp}^2}$$

Giunti a cordone d'angolo

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \begin{cases} 0,85\sigma_{adm} \text{ per Fe360} \\ 0,70\sigma_{adm} \text{ per Fe430/Fe510} \end{cases}$$

$$|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} \sigma_{adm} \text{ per Fe360} \\ 0,85\sigma_{adm} \text{ per Fe430/Fe510} \end{cases}$$



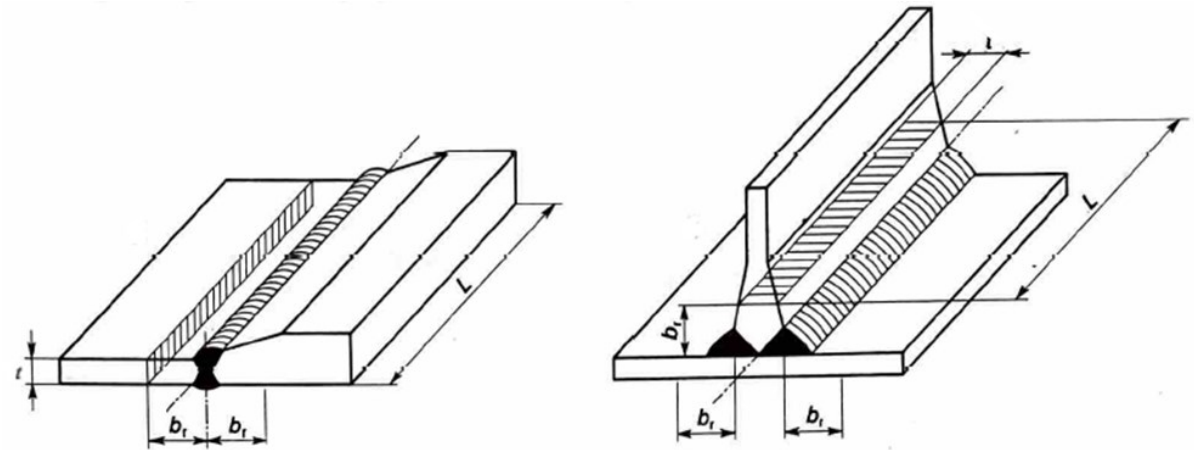
Resistenza di progetto  $f_{d,w}$   $\begin{cases} \longrightarrow f_{d,w} = \eta_{w,min} \cdot f_{d,red} \longrightarrow \text{HAZ} \\ \longrightarrow f_{d,w} = \eta_{w,min} \cdot f_{d,o} \longrightarrow \text{Materiale base} \end{cases}$

## Giunti testa a testa e a T

$\left\{ \begin{array}{l} \text{verifiche monoassiali} \\ \text{verifiche triassiali} \end{array} \right.$

## Giunti a cordone d'angolo

$$\left[ \frac{\tau_{\perp}}{\tau_{adm,w}} \right]^2 + \left[ \frac{\tau_{\parallel}}{0,85\tau_{adm,w}} \right]^2 \leq 1$$



## Verifica dei giunti

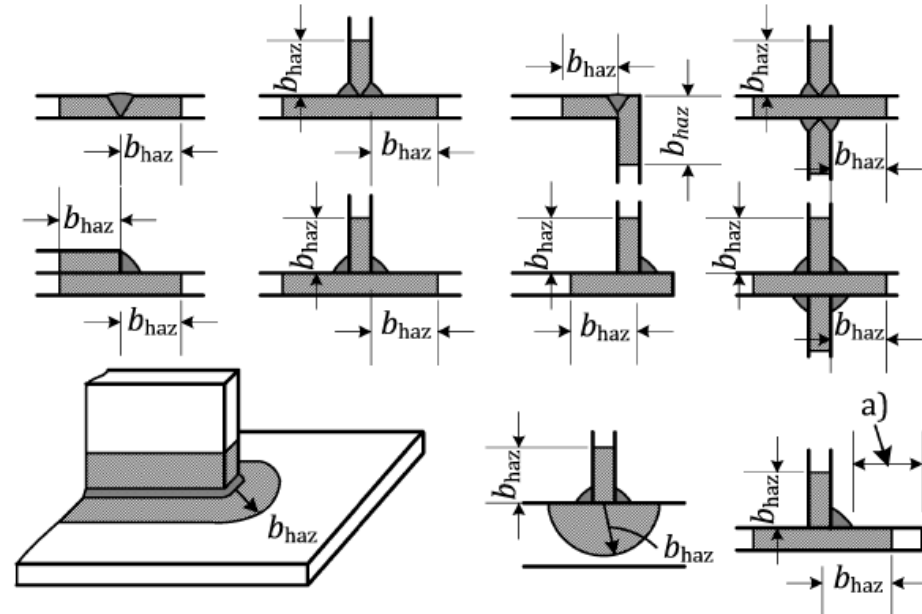
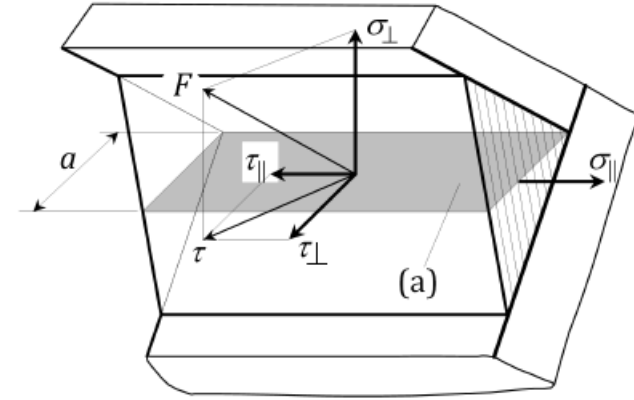
$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3(\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Giunti a piena penetrazione

Giunti a penetrazione parziale

## Verifica delle HAZ

$$\sqrt{\sigma_{haz,Ed}^2 + 3\tau_{haz,Ed}^2} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$



## CICLI AD AMPIEZZA COSTANTE

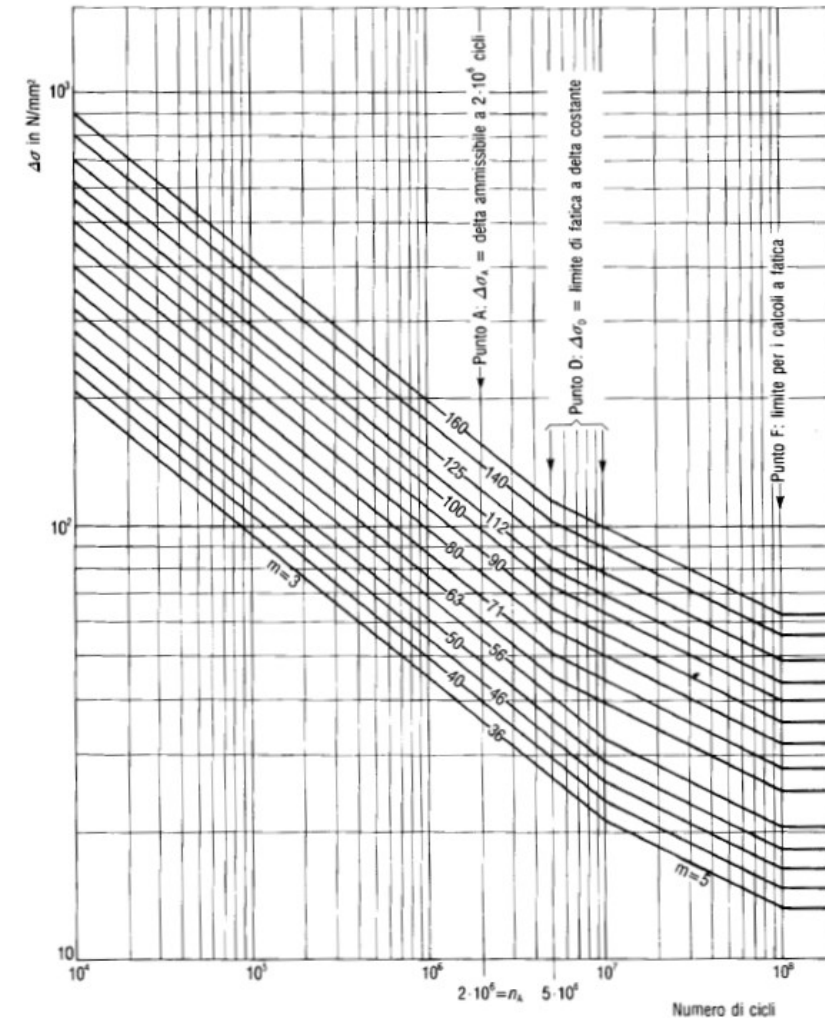
### Curve di Woehler

$$\Delta\sigma^m \cdot n = \text{cost}$$

Fattori d'influenza sulla tensione:

- Probabilità di sopravvivenza
- Effetto scala

$$\Delta\sigma_A^* = \frac{\Delta\sigma_A}{\gamma_m} \cdot \sqrt[4]{\frac{25}{t}}$$





## CICLI AD AMPIEZZA VARIABILE

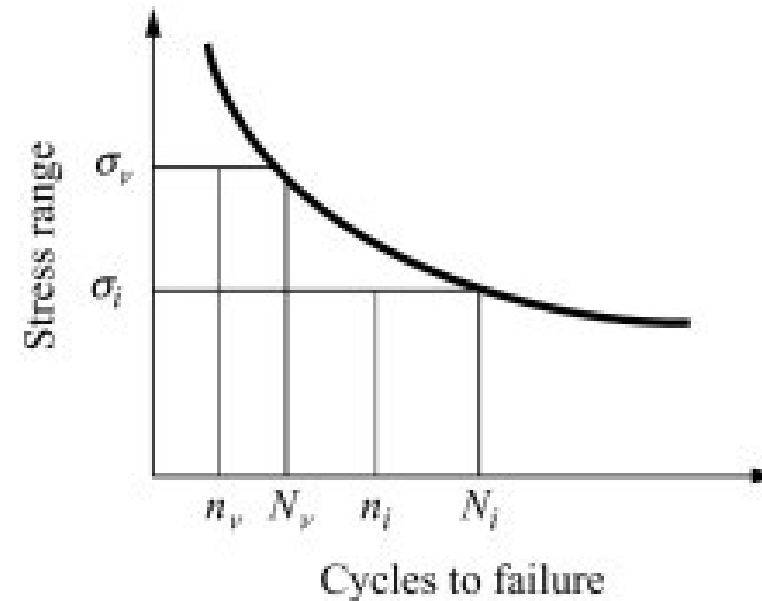
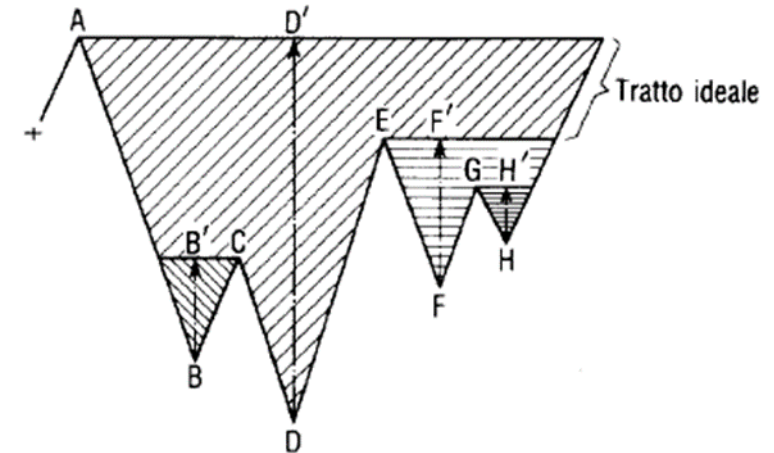
Metodo del serbatoio

Metodo della regola di Miner

$$\sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

Metodo del  $\Delta$  equivalente

$$\Delta\sigma_{eq} = \sqrt[3]{\frac{\sum \Delta\sigma_i^3 \cdot n_i}{n_T}}$$

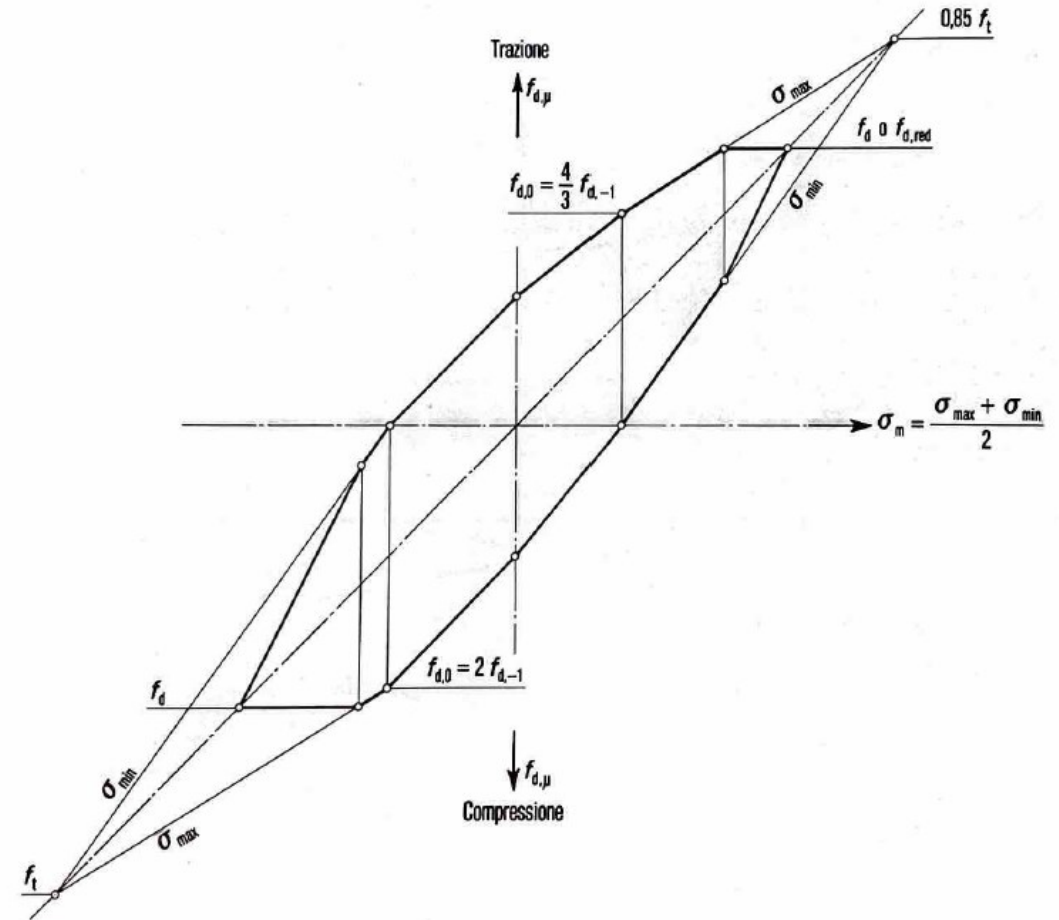


## CICLI AD AMPIEZZA COSTANTE

- Curva di Woehler in scala relativa
- Diagramma di Smith

## CICLI AD AMPIEZZA VARIABILE

Metodo della regola di Miner



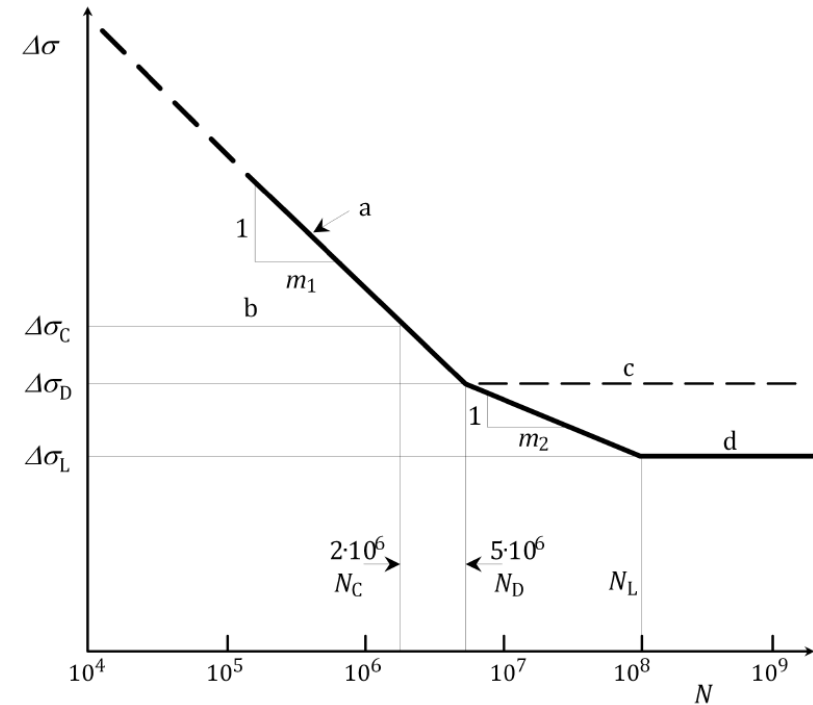
## CICLI AD AMPIEZZA COSTANTE

Curva di Woehler da caratterizzare

$$\Delta\sigma^m \cdot n = cost$$

Tabelle relative alle categorie:

- $\Delta\sigma_C$ , tensione a  $2 \cdot 10^6$  cicli
- $m_1$ , pendenza del primo tratto



n°	$\Delta\sigma-m_1$	Dettaglio categoria e innesto della cricca	Tipo di saldatura	Elemento sotto sforzo	Tensione già considerata	Qualità del giunto
9.1	28-3,4	 Weld toe	Doppia saldatura a cordone d'angolo parallela o a T a penetrazione parziale	Sezione netta	Effetto di irrigidimento dell'elemento trasversale	C

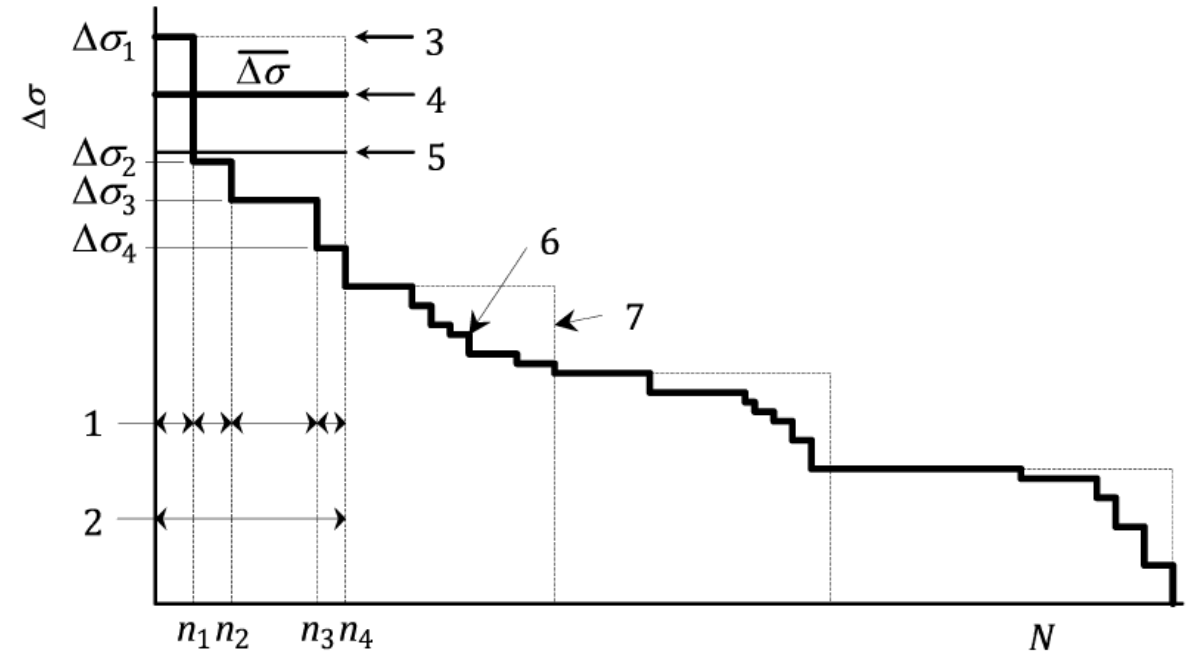
## CICLI AD AMPIEZZA VARIABILE

### Metodo della regola di Miner

- Metodo del serbatoio
- Metodo delle tensioni medie pesate

### Metodo del $\Delta$ equivalente

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2e}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \leq 1$$



L'analisi delle normative evidenzia importanti differenze nei metodi di verifica

Verifiche statiche { Metodo degli stati limite  
Metodo delle tensioni ammissibili

Verifiche a fatica { Cicli ad ampiezza costante  
Cicli ad ampiezza variabile { Metodo della regola di Miner  
Metodo del  $\Delta$  equivalente

Incompletezza dei metodi analizzati nell'Eurocodice 9