

Fatica

Gli elementi strutturali, soggetti a sforzi ciclicamente variabili nel tempo (Fig. 1), possono collassare a livelli di carico anche notevolmente inferiori rispetto alla resistenza statica.

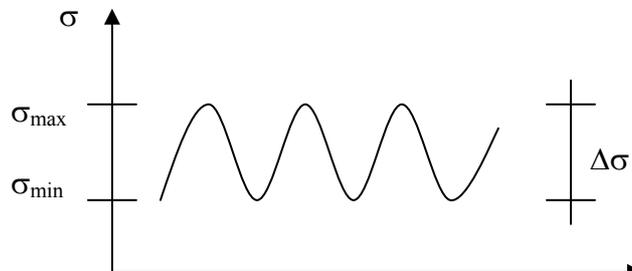


Fig. 1- Cicli di tensione di ampiezza costante

Ad esempio una lamiera tagliata all'ossitaglio e non rifinita alla mola (caso 5 di Fig. 2) collassa dopo 2 milioni di cicli di tensione di ampiezza costante $\Delta\sigma = 125 \text{ N/mm}^2$.

Questo significa che, se la tensione varia fra 0 e σ_{\max} , la σ_{\max} dovrà essere limitata a 125 N/mm^2 , se varia tra $-\sigma_{\max}$ e σ_{\max} dovrà essere $\sigma_{\max} < 125/2$.

Prospetto 9.8.1 - Particolari non saldati - Foglio 1 di 2

Categoria del particolare	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
160		Prodotti laminati ed estrusi 1 - Lamiere 2 - Profili laminati 3 - Profili cavi senza saldatura (vedere prospetti 9.8.6 e 9.8.7)	Da 1 a 3: - Spigoli vivi, difetti superficiali e di laminazione da eliminare mediante molatura
140		Lamiere tagliate meccanicamente o all'ossitaglio 4 - Materiale tagliato all'ossitaglio automatico o meccanicamente senza tracce del taglio	4 - Tutti i segni visibili di intaglio nei bordi devono essere rimossi
125		5 - Materiale tagliato all'ossitaglio manualmente o materiale con bordi tagliati all'ossitaglio automatico con tracce del taglio superficiali e regolari	6 - Successiva rifinitura per rimuovere tutte le discontinuità dai bordi 4 e 6: - Assenza di rippezioni mediante saldatura - Gli angoli rientranti (pendenza < 1:4) o le aperture devono essere rifinite mediante molatura per eliminare eventuali difetti visibili - In corrispondenza delle aperture, l'area di progetto sollecitata deve essere presa pari all'area della sezione trasversale netta

(end)

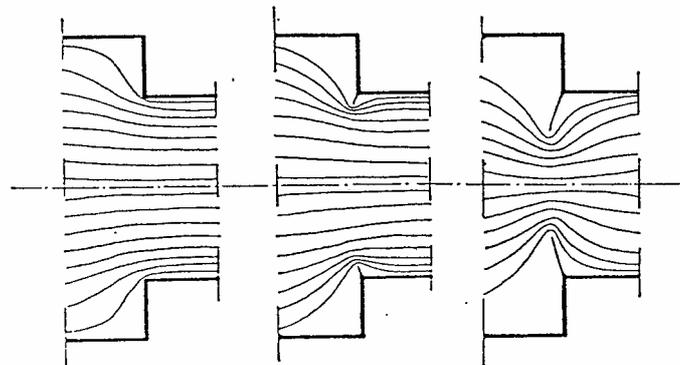
UNI EN 1993-1-1 pag. 225

Fig. 2 – Esempio di categorie di particolari costruttivi secondo EC3

La fatica è un fenomeno di danneggiamento progressivo dovuto all'estendersi delle micro-lesioni presenti nel materiale.

Fattori che influenzano la resistenza a fatica:

1. Resistenza statica del materiale (f_y , f_u):
la resistenza a fatica aumenta con la resistenza statica del materiale, ma in modo progressivamente meno sentito. L'Eurocodice considera la stessa resistenza a fatica ($\Delta\sigma_R$) per tutti gli acciai da costruzione.
2. Frequenza di oscillazione degli sforzi:
l'influenza è trascurabile.
3. Autotensioni:
diminuiscono la resistenza a fatica.
4. Dimensione dei pezzi:
la resistenza diminuisce lievemente all'aumentare delle dimensioni.
5. Stato superficiale:
una lavorazione grossolana delle superfici riduce notevolmente la resistenza a fatica
6. Corrosione:
riduce la resistenza provocando l'effetto di acuti intagli superficiali
7. Intagli e picchi di tensione:
gli intagli riducono notevolmente la resistenza a fatica producendo elevati picchi di tensione (Fig. 3) che hanno minore effetto sulla resistenza statica, grazie alla redistribuzione plastica.



Propagazione di lesione da fatica in corrispondenza di brusca variaz di sezione (Thum e Oschatz)

Fig. 3

Spettro di progetto dei delta di tensione

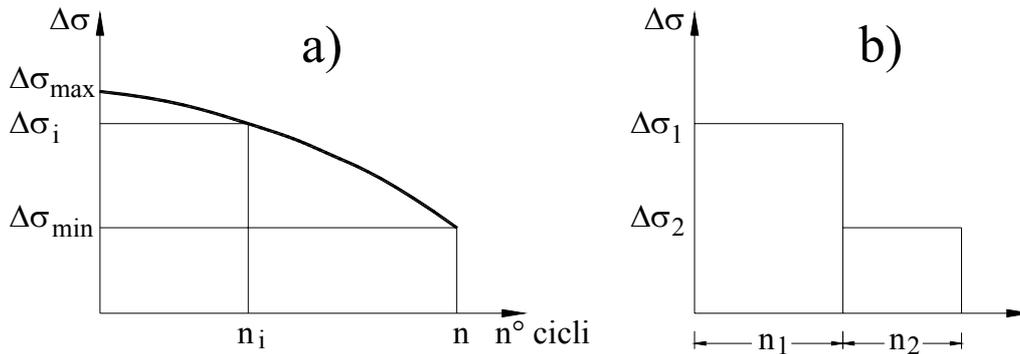


Fig. 4 – Spettro di progetto dei delta di tensione

La fibra da verificare sia soggetta a n cicli di ampiezza variabile fra $\Delta\sigma_{\min}$ e $\Delta\sigma_{\max}$. Lo spettro dei delta di tensione (Fig 4 a) indica che il generico valore $\Delta\sigma_i$ è superato n_i volte.

Di solito si usa un diagramma a blocchi. Lo spettro di progetto di Fig. 4b) indica che si deve verificare l'elemento per un $\Delta\sigma_1$ di n_1 cicli sovrapposto ad un $\Delta\sigma_2$ di n_2 cicli.

Lo spettro di progetto si ottiene analizzando l'andamento delle tensioni nel tempo.

Ad esempio si consideri una trave a tre campate uguali soggetta al carico mobile F (fig. 5).

Esaminiamo l'andamento nel tempo del momento iperstatico sull'appoggio B.

L'andamento è quello di figura 5b) e coincide con la linea di influenza (l'ordinata rappresenta il valore di M_B quando il carico ha quell'ascissa). L'andamento delle tensioni nel tempo è rappresentato in figura 5c).

Per la verifica a fatica il ciclo di ampiezza variabile può essere ricondotto a più cicli di ampiezza costante, idonei ad essere impiegati nella sommatoria di Palmgren-Miner (v. EC3 nel seguito), con il cosiddetto **metodo del serbatoio**.

Se pensiamo che il diagramma rappresenti il profilo di fondo di un serbatoio pieno d'acqua che immaginiamo di svuotare dal punto più basso 1, la discesa di livello rappresenta il $\Delta\sigma_1$. Rimane da svuotare il bacino tratteggiato, il cui dislivello rappresenta l'ampiezza $\Delta\sigma_2$ del secondo ciclo.

Il ciclo di ampiezza variabile (dovuto al passaggio del carico mobile) viene considerato equivalente a due cicli di ampiezza costante $\Delta\sigma_1$ e $\Delta\sigma_2$. Se nella vita della struttura si prevede che il carico transiti 1 milione di volte, la sezione B andrà verificata per resistere ad 1 milione di cicli di ampiezza $\Delta\sigma_1$ più 1 milione di cicli di ampiezza $\Delta\sigma_2$.

Lo spettro di progetto sarà quindi del tipo di figura 6. Se $\Delta\sigma_2 < \Delta\sigma_L$ si potrà trascurare e quindi verificare solo per 1 milione di cicli di ampiezza $\Delta\sigma_1$, altrimenti si potrà applicare la “Regola di Miner”.

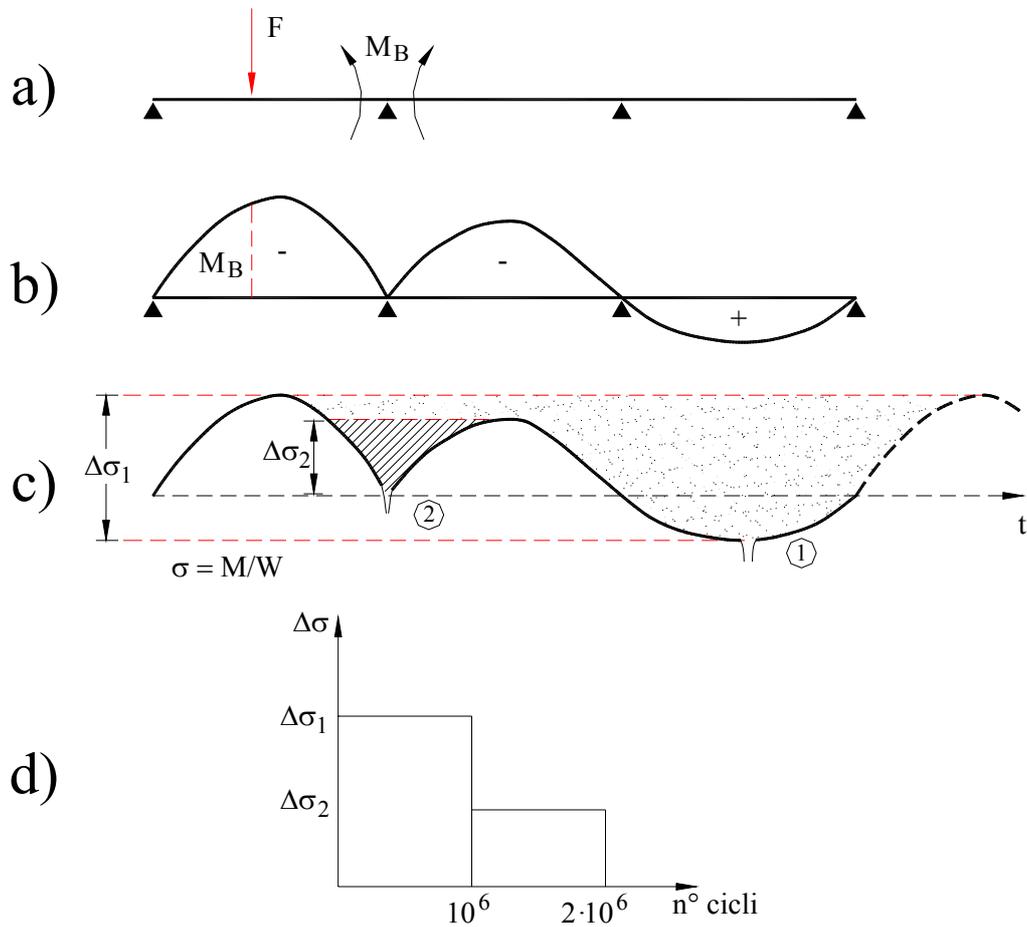


Fig. 5 – Metodo del serbatoio

Eurocodice 3

Si riportano i passi più significativi dell'Eurocodice 3.

9. Fatica

9.1. Generalità

9.1.1. Principi

- (1) Lo scopo della progettazione di una struttura nei riguardi dello stato limite di fatica è di assicurare, con un accettabile livello di probabilità, che la sua prestazione sia soddisfacente durante l'intera vita di progetto, in modo tale che la struttura abbia scarse probabilità di collassare a causa di fenomeni di fatica o di richiedere riparazioni di danni prodotti dalla fatica.

9.1.4. Casi in cui è necessaria la valutazione della resistenza a fatica

- (1) Per le strutture degli edifici la valutazione della resistenza a fatica non è normalmente necessaria, ad eccezione dei seguenti casi:
 - (a) elementi che reggono dispositivi di sollevamento o carichi mobili;
 - (b) elementi sottoposti a cicli ripetuti di sollecitazioni prodotte da macchine vibranti;
 - (c) elementi soggetti a vibrazioni indotte dal vento;
 - (d) elementi soggetti a vibrazioni indotte dalla folla.

9.1.5. Definizioni

- (1) **fatica**: Danno di una parte strutturale, dovuto alla graduale propagazione di una cricca in seguito a ripetute fluttuazioni delle sollecitazioni.
- (4) **carico di fatica equivalente ad ampiezza costante**: Carico ad ampiezza costante semplificato che rappresenta gli effetti della fatica degli eventi di carico reali di ampiezza variabile.
- (6) **campo di variazione delle tensioni**: Differenza algebrica fra i due estremi di un particolare ciclo di tensioni facente parte di un andamento temporale delle tensioni ($\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$).
- (7) **tensione nominale**: Una tensione nel metallo base in prossimità della potenziale cricca, calcolata in accordo alla semplice teoria della resistenza elastica dei materiali, escludendo tutti gli effetti della concentrazione delle tensioni.
- (10) **metodo del flusso** ("Rainflow") e **metodo del serbatoio** ("Reservoir"): Metodi particolari di determinazione di uno spettro di Δ di tensioni a partire da un dato andamento delle tensioni nel tempo.
Nota - Sono due versioni dello stesso metodo di base.
- (11) **spettro dei Δ di tensioni**: Istogramma delle frequenze di ricorrenza per tutti i Δ di tensioni di differente ampiezza registrati o calcolati per un particolare evento di carico.
- (16) **sommatoria di Miner**: Un calcolo lineare cumulativo del danneggiamento basato sulla regola di Palmgren-Miner.
- (17) **limite di fatica ad ampiezza costante**: È il valore del $\Delta\sigma$ che, se superato anche da un solo ciclo dello spettro, rende necessaria la valutazione della resistenza a fatica. $\Delta\sigma_D$ corrisponde a 5 milioni di cicli. Il valore più piccolo è 26 Mpa.
- (18) **categoria dei dettagli costruttivi**: La designazione data ad un particolare dettaglio saldato o bullonato al fine di identificare quale curva di resistenza a fatica sia applicabile per la valutazione della resistenza a fatica. $\Delta\sigma_C$ corrisponde a 2 milioni di cicli. Il valore più piccolo è 36 Mpa.
- (19) **curva di resistenza a fatica**: La relazione quantitativa che correla il collasso a fatica per una data $\Delta\sigma$ al numero dei cicli delle tensioni, usata per la valutazione della resistenza a fatica per una certa categoria di dettagli costruttivi (vedere fig. 9.1.2).
- (21) **limite per i calcoli a fatica** ("cut-off limit"): Limite al di sotto del quale i Δ delle tensioni dello spettro di progetto non contribuiscono al calcolo del danneggiamento cumulativo. $\Delta\sigma_L$

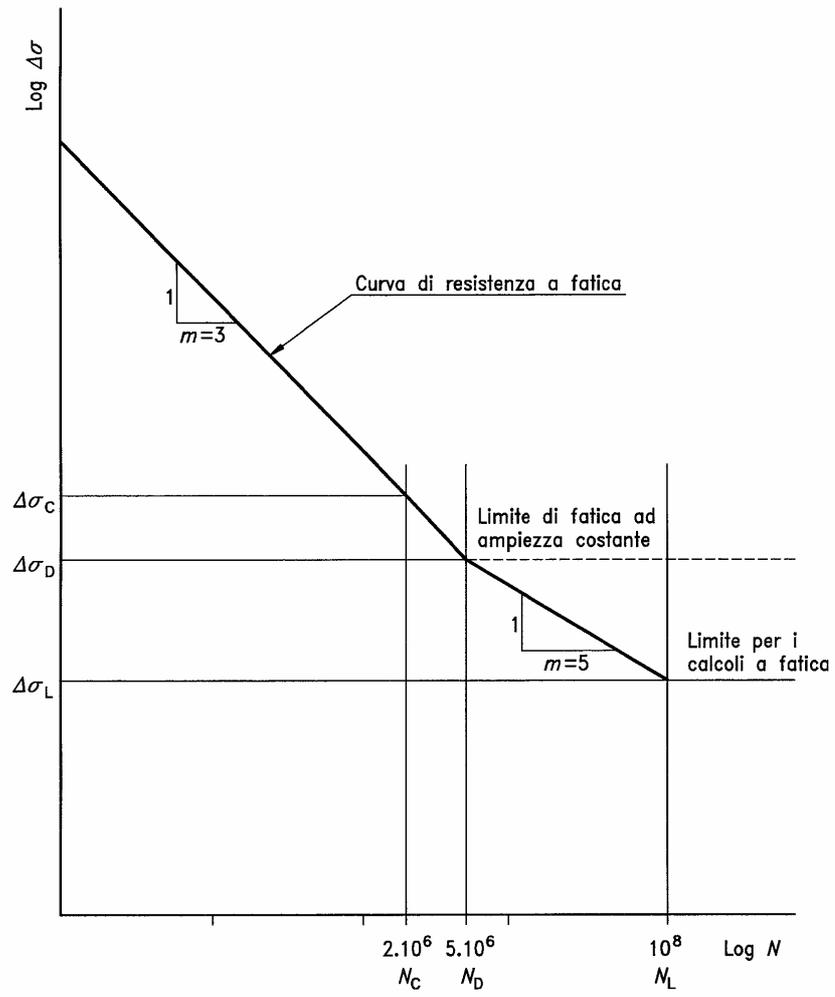


Fig. 9.1.2 - Curva di resistenza a fatica

Fig. 7

9.3. Coefficienti parziali di sicurezza

9.3.1. Generalità

- (1) I valori dei coefficienti parziali di sicurezza da impiegarsi dovranno essere concordati fra il cliente, il progettista e le Autorità pubbliche competenti, quando necessario, considerando:
 - la facilità di accesso per ispezione e riparazione e la probabile frequenza di interventi di ispezione e manutenzione;
 - gli effetti di collasso.
- (2) L'ispezione può individuare cricche da fatica prima che sia causato il successivo danno. Tale ispezione è di tipo visivo salvo diversa prescrizione nella specifica di progetto.

9.3.2. Coefficienti parziali di sicurezza per il carico di fatica

- (1) Per tenere in considerazione le incertezze nell'analisi del comportamento a fatica i $\Delta\sigma$ di progetto dovranno incorporare un coefficiente di sicurezza γ_{Ff} nella procedura della valutazione della resistenza a fatica.
- (4) Salvo dove diversamente indicato nelle parti successive di questo Eurocodice, o nella relativa norma sui carichi, al carico di fatica può essere applicato un valore di $\gamma_{Ff} = 1,0$

9.3.3. Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza a fatica

- (1) Nella procedura per la valutazione della resistenza a fatica, al fine di tenere in considerazione le incertezze nella resistenza a fatica, il valore di progetto della resistenza a fatica dovrà essere ottenuto dividendo per un coefficiente parziale di sicurezza γ_{Mf}

Prospetto 9.3.1 - Coefficienti parziali di sicurezza per la resistenza a fatica γ_{Mf}

Ispezioni ed accessibilità	Componenti non critici ("fail-safe")	Componenti critici ("non fail-safe")
Ispezioni periodiche e manutenzione *). Buona accessibilità	1,00	1,25
Ispezioni periodiche e manutenzione *). Scarsa accessibilità	1,15	1,35

*) Vedere 9.3.1(2) riguardante l'ispezione.

Fig. 8

9.4. Spettri delle tensioni di fatica

9.4.1. Calcolo delle tensioni

- (1) Le tensioni dovranno essere determinate attraverso un'analisi elastica della struttura sottoposta ai carichi di fatica. La risposta dinamica della struttura o l'effetto d'urto, qualora presenti, dovranno essere considerati.

9.4.2. Campo di variazione delle tensioni nel metallo base

- (1) In funzione della valutazione della resistenza a fatica svolta, dovranno essere determinati o i campi di variazione delle **tensioni nominali** oppure i campi di variazione delle tensioni geometriche (*questo esula dallo scopo del corso*).

9.4.3. Campo di variazione delle tensioni nei giunti saldati

- (1) Nei giunti saldati a parziale penetrazione o a cordoni d'angolo soggetti a carico, dalle forze trasmesse dalla saldatura per unità di lunghezza si dovranno ottenere le componenti trasversali e parallele all'asse longitudinale della saldatura.
- (2) Le sollecitazioni di fatica nella saldatura da prendere in considerazione sono:
 - una tensione normale σ_w , perpendicolare all'asse della saldatura;
 - una tensione tangenziale τ_w , parallela all'asse della saldatura.

9.5. Procedure per la valutazione della resistenza a fatica

9.5.1. Generalità

- (1) La verifica di sicurezza dovrà essere svolta:
 - in termini di danneggiamento cumulativo confrontando il danno verificatosi con il danno limite.
- (2) Per una determinata categoria di dettagli costruttivi le tensioni da considerare possono essere normali o tangenziali od entrambe.
- (3) Quando un dettaglio costruttivo è definito nei **prospetti di classificazione dei dettagli** (prospetti da 9.8.1 a 9.8.7), si dovrà usare il campo di variazione delle tensioni nominali: vedere 9.52.
- (4) Gli effetti delle discontinuità geometriche che non sono parte del dettaglio costruttivo vero e proprio, quali forature, smussi ed angoli rientranti, dovranno essere valutati separatamente, o mediante un'analisi opportuna oppure mediante appropriati coefficienti di concentrazione delle tensioni, per determinare il campo di variazione delle tensioni nominali modificato.

9.5.2. Valutazione della resistenza a fatica basata sul campo di variazione delle tensioni nominali

9.5.2.1. Carichi ad ampiezza costante

- (1) Per i carichi ad ampiezza costante il criterio per la valutazione della resistenza a fatica è il seguente:

$$\gamma_{Ff} \Delta\sigma \leq \Delta\sigma_R / \gamma_{Mf}$$

dove: $\Delta\sigma$ è il campo di variazione delle tensioni nominali;

$\Delta\sigma_R$ è la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi (vedere 9.8) per il numero totale di cicli di sollecitazione N durante la vita di progetto richiesta.

9.5.2.2. Carichi ad ampiezza variabile

- (1) Per carichi ad ampiezza variabile definiti da uno spettro di progetto, la valutazione della resistenza a fatica dovrà essere basata sulla regola di Palmgren-Miner del danno cumulativo.
- (2) Qualora la massima escursione delle tensioni dovuta ai carichi ad ampiezza variabile sia più alta del limite di fatica ad ampiezza costante, allora dovrà essere adottato uno dei seguenti tipi di valutazione della resistenza a fatica:
 - a) danneggiamento cumulativo: vedere (3)
- (3) Una valutazione del danneggiamento cumulativo può essere svolta usando:

$$D_d \leq 1 \quad \text{con:} \quad D_d = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad [9.6]$$

dove: n_i è il numero dei cicli di ampiezza $\Delta\sigma_i$ durante la vita di progetto richiesta;

N_i è il numero dei cicli di ampiezza $\gamma_{Ff} \gamma_{Mf} \Delta\sigma_i$ che causa il collasso per la relativa categoria dei dettagli costruttivi (vedere 9.8).

- (4) I calcoli del danneggiamento cumulativo dovranno essere basati su curve di resistenza a fatica, rappresentate con andamento rettilineo in scala bilogarithmica, dei seguenti tipi:
 - a) una retta con coefficiente angolare $m = 3$;
 - b) una spezzata con due tratti con coefficienti angolari ($m = 3$ e $m = 5$) ed avente il punto angoloso in corrispondenza dei limite di fatica ad ampiezza costante;
 - c) una spezzata con due tratti con coefficienti angolari $m = 3$ e $m = 5$ ed un tratto orizzontale (limite per i calcoli a fatica "cut-off") in corrispondenza di $N = 100$ milioni di cicli;
 - d) nel caso descritto in 9.6.2.2(2), una retta con coefficiente angolare $m = 5$ ed un limite per i calcoli a fatica in corrispondenza di $N = 100$ milioni di cicli.

- (5) Il caso (c) è il più generale. Campi di variazione delle tensioni al di sotto del limite per i calcoli a fatica possono essere trascurati.
- (6) Quando si adotta il caso (c) con un limite di fatica ad ampiezza costante $\Delta\sigma_D$ a 5 milioni di cicli, N_i può essere calcolato come segue:

$$se: \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} \quad N_i = 5 \cdot 10^6 \left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^3 \quad [9.7]$$

$$se: \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} > \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf} \quad N_i = 5 \cdot 10^6 \left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^5 \quad [9.8]$$

$$se: \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i < \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf} \quad N_i = \infty \quad [9.9]$$

9.5.2.3. Campo di variazione delle tensioni tangenziali

- (1) Il campo di variazione delle tensioni tangenziali nominali $\Delta\tau_i$ dovrà essere trattato in modo simile al campo di variazione delle tensioni normali nominali, ma usando una singola costante di pendenza $m = 5$.
- (2) Per tensioni tangenziali N_i può essere calcolato come segue:

$$se: \gamma_{Ff} \Delta\tau_i \geq \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} \quad N_i = 2 \cdot 10^6 \left[\frac{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\tau_i} \right]^5 \quad [9.12]$$

$$se: \gamma_{Ff} \Delta\tau_i < \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} \quad N_i = \infty \quad [9.13]$$

9.6. Resistenza a fatica

9.6.1. Generalità

- (1) La resistenza a fatica per le tensioni normali è definita da una serie di curve logaritmiche $\log \Delta\sigma_D - \log N$, ciascuna delle quali si applica ad una tipica categoria di dettagli costruttivi. Ogni categoria di dettagli costruttivi è identificata da un numero che rappresenta, in N/mm^2 , il valore di riferimento $\Delta\sigma_C$ della resistenza a fatica a 2 milioni di cicli (vedere fig. 9.6.1). I valori usati sono valori arrotondati, corrispondenti alle categorie dei dettagli costruttivi riportate nel prospetto 9.6.1.
- (2) Le curve di resistenza a fatica per le tensioni normali nominali sono definite da:

$$\boxed{\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R}$$

dove: $\Delta\sigma_R$ è la resistenza a fatica;
 N è il numero di cicli di tensione;
 m è il coefficiente angolare delle curve di resistenza a fatica, avente valore 3 e/o 5;
 $\log a$ è una costante che dipende dalla curva a cui ci si riferisce (vedere 9.6.2.1).

- (3) Curve di resistenza a fatica simili sono usate per le tensioni tangenziali: vedere fig. 9.6.2 e prospetto 9.6.2.

Nota sull'equazione delle curve di resistenza

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R \quad \rightarrow \quad \log N = \log a - \log(\Delta\sigma_R)^m$$

$$\log a = \log N + \log(\Delta\sigma_R)^m = \log[N(\Delta\sigma_R)^m]$$

$$se \ N = 2 \cdot 10^6 \rightarrow \Delta\sigma_R = \Delta\sigma_C \quad per \ cui \ si \ ha :$$

$$\log a = \log[2 \cdot 10^6 (\Delta\sigma_C)^m] \quad \rightarrow \quad a = 2 \cdot 10^6 (\Delta\sigma_C)^m$$

Noto a si può calcolare il numero di cicli N_i a cui può resistere un particolare di caratteristica $\Delta\sigma_C$ soggetto alla variazione di tensione $\Delta\sigma_i$:

$$\log N_i = \log \frac{a}{(\Delta\sigma_i)^m} \rightarrow \log N = \frac{a}{(\Delta\sigma_i)^m} = 2 \cdot 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma_C}{\Delta\sigma_i} \right)^m$$

9.6.2. Curve di resistenza a fatica per i dettagli classificati

9.6.2.1. Curve di resistenza a fatica per le sezioni aperte

- (1) Le categorie dei dettagli costruttivi da usare, per le sezioni aperte, sono fornite in 5 prospetti come segue:
 prospetto 9.8.1: dettagli non saldati;
 prospetto 9.8.2: sezioni composte e saldate;
 prospetto 9.8.3: saldature di testa trasversali;
 prospetto 9.8.4: particolari saldati non caricati direttamente;
 prospetto 9.8.5: giunti saldati con carichi applicati.
- (2) Nel successivo prospetto 9.8.1 le frecce negli schizzi indicano la posizione e la direzione delle tensioni alle quali si applicano le relative verifiche a fatica.
- (3) La categoria dei dettagli costruttivi usata per designare una particolare curva di resistenza a fatica corrisponde al valore di riferimento (in N/mm²) della resistenza a fatica a 2 milioni di cicli, $\Delta\sigma_C$ o $\Delta\tau_C$ secondo il caso.
- (4) Le curve di resistenza a fatica per i campi di variazione delle tensioni normali nominali per un certo numero di dettagli costruttivi sono fornite nella fig. 9.6.1. Il limite di fatica ad ampiezza costante corrisponde alla resistenza a fatica per 5 milioni di cicli ed il limite per i calcoli a fatica corrisponde alla resistenza a fatica per 100 milioni di cicli.
- (5) I valori corrispondenti per il calcolo della resistenza a fatica sono dati nel prospetto 9.6.1.

Prospetto 9.6.1 - Valori numerici per le curve di resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni normali

Categoria dei dettagli	<i>log a per N < 10⁸</i>		Campo di variazione delle tensioni al limite di fatica ad ampiezza costante (N = 5 x 10 ⁶)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica (N = 10 ⁸)
	N ≤ 5 x 10 ⁶	N ≥ 5 x 10 ⁶		
$\Delta\sigma_C$ (N/mm ²)	(m = 3)	(m = 5)	$\Delta\sigma_D$ (N/mm ²)	$\Delta\sigma_L$ (N/mm ²)
160	12,901	17,036	117	64
140	12,751	16,786	104	57
125	12,601	16,536	93	51
112	12,451	16,286	83	45
100	12,301	16,036	74	40
90	12,151	15,786	66	36
80	12,001	15,536	59	32
71	11,851	15,286	52	29
63	11,701	15,036	46	26
56	11,551	14,786	41	23
50	11,401	14,536	37	20
45	11,251	14,286	33	18
40	11,101	14,036	29	16
36	10,951	13,786	26	14

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R$$

Fig. 9

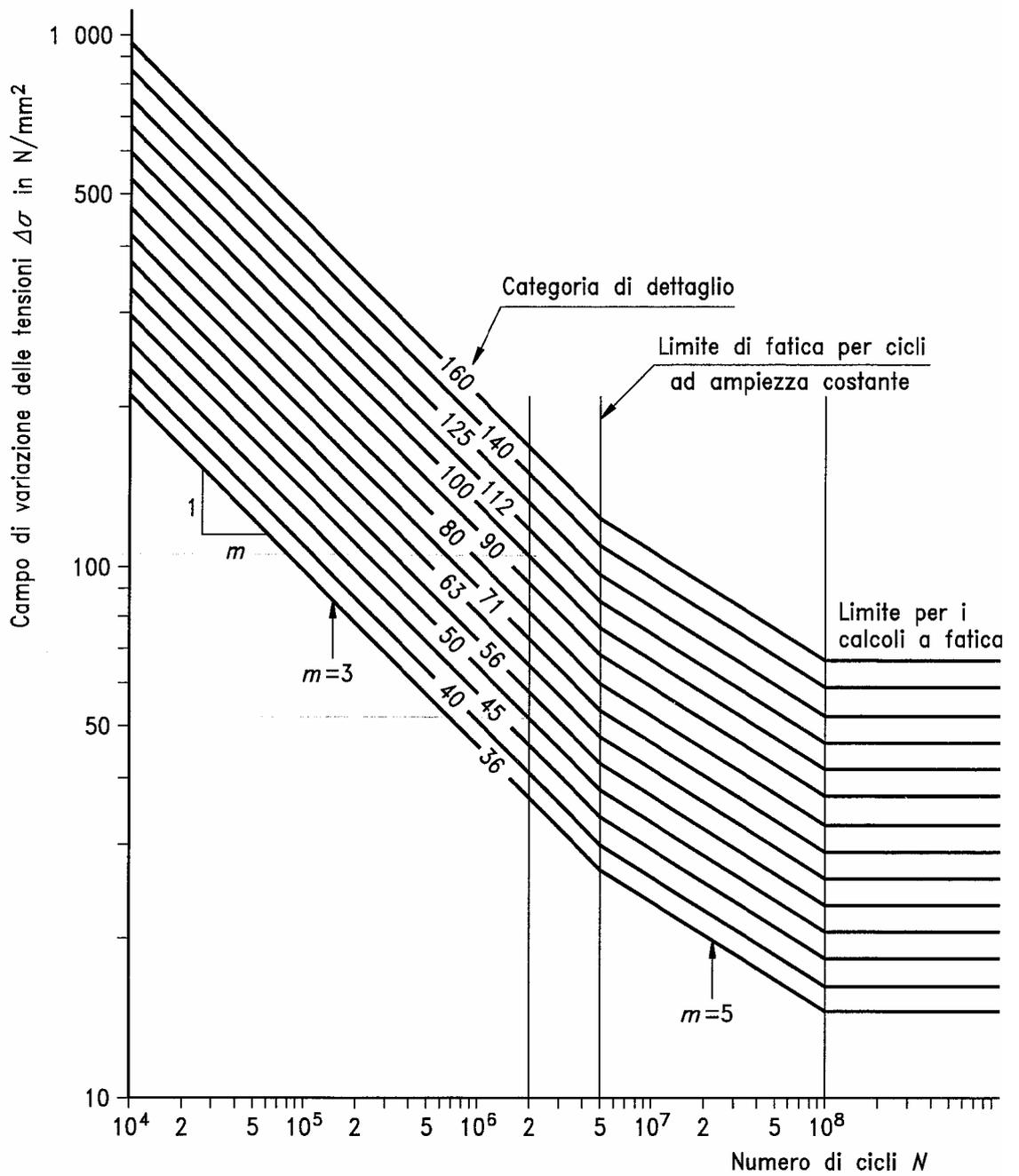


Fig. 9.6.1 - Curve della resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni normali

Fig. 10

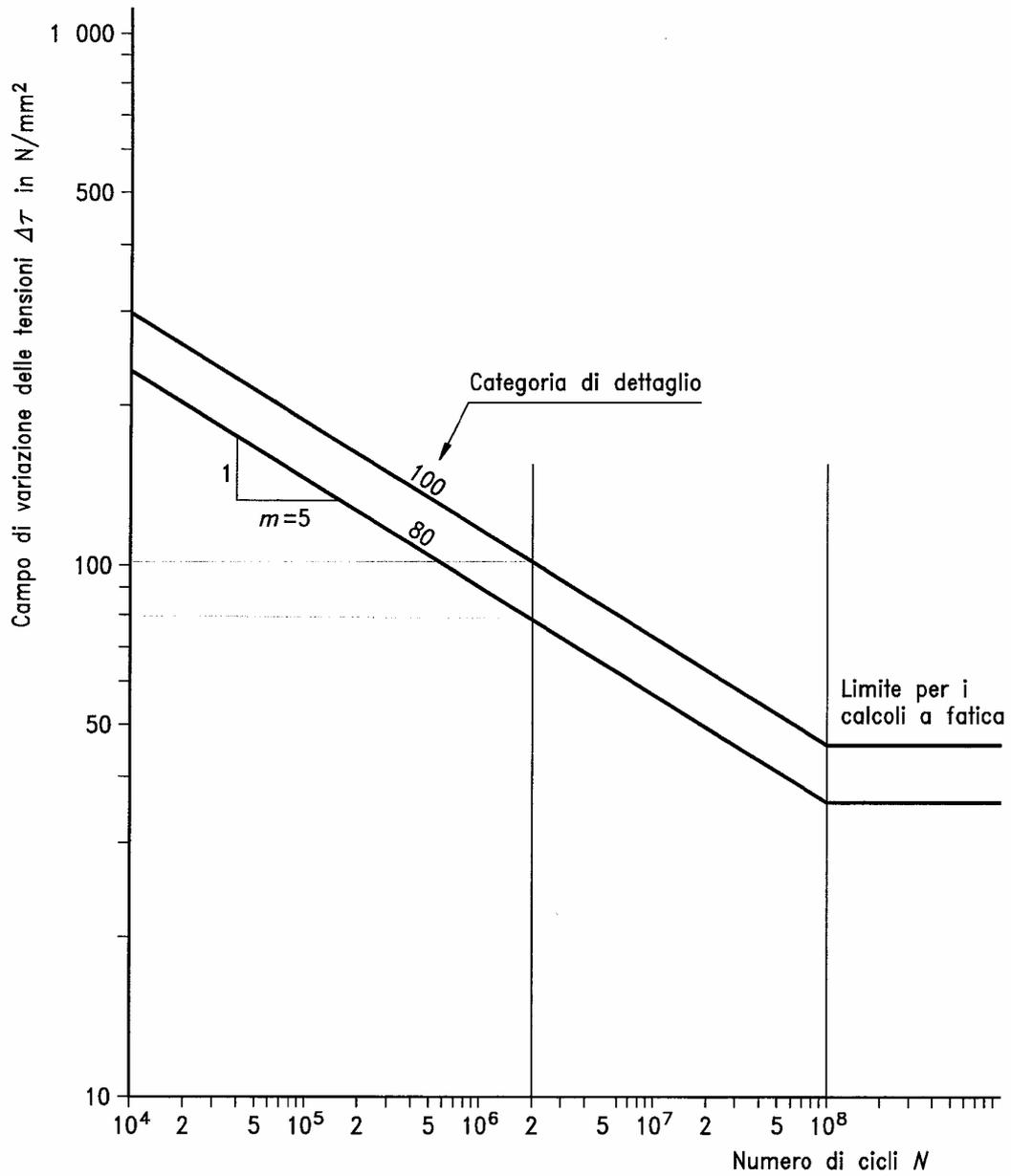


Fig. 9.6.2 - Curve della resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni tangenziali

Prospetto 9.6.2 - Valori numerici per le curve di resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni tangenziali

Categoria dei dettagli $\Delta\tau_C$ (N/mm^2)	$\log a$ per $N < 10^8$ ($m=5$)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica ($N=10^8$) $\Delta\tau_L$ (N/mm^2)
100	16,301	46
80	15,801	36

Fig. 11

ESEMPIO

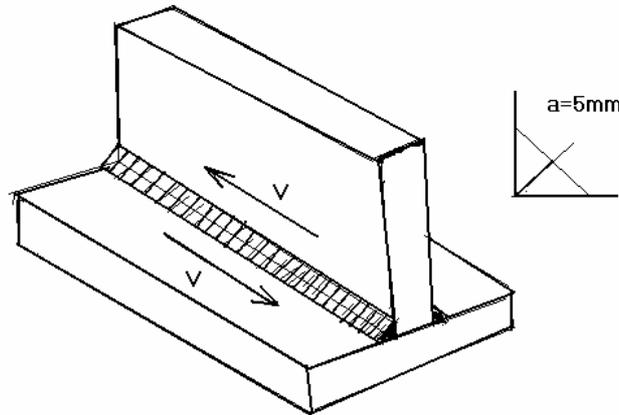


Fig. 12

Il giunto saldato a cordoni d'angolo di figura 12 è soggetto alla forza di scorrimento V che varia con ampiezza ΔV . Il particolare è sottoposto a $n=10^6$ cicli di ampiezza variabile, riconducibili, con la regola del serbatoio, alla sovrapposizione di due cicli di ampiezza costante $\Delta V_1 = 720 \text{ N/mm}$ e $\Delta V_2 = 460 \text{ N/mm}$.

Il particolare appartiene alla categoria 80 (prospetto 9.8.5 di Fig. 13) che è caratterizzata da $\Delta \tau_C = 80 \text{ N/mm}^2$.

Si assumono i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

- per i carichi $\gamma_{Ff} = 1.00$
- per la resistenza $\gamma_{Mf} = 1.25$ (componenti critici con ispezioni periodiche)

La resistenza di progetto è quindi: $\Delta \tau_{Cd} = \Delta \tau_C / \gamma_{Mf} = 80 / 1.25 = 64 \text{ N/mm}^2$

La tensione di progetto al limite di fatica vale: $\Delta \tau_{Ld} = \Delta \tau_L / \gamma_{Mf} = 36 / 1.25 = 28.8 \text{ N/mm}^2$

Le tensioni tangenziali di progetto nelle saldature valgono:

$$\Delta \tau_{1w} = \frac{\Delta V_1}{2a} = 72 \rightarrow \Delta \tau_{1wd} = \gamma_{Ff} \Delta \tau_{1w} = 72 \text{ N/mm}^2 > \Delta \tau_{Ld}$$

$$\Delta \tau_{2w} = \frac{\Delta V_2}{2a} = 46 \rightarrow \Delta \tau_{2wd} = \gamma_{Ff} \Delta \tau_{2w} = 46 > \Delta \tau_{Ld}$$

La valutazione della resistenza a fatica dovrà essere basata sulla regola di Palmgren-Miner del danno cumulativo (EC3 #9.5.2.2 [9.6]):

$$D_d \leq 1 \quad \text{dove:} \quad D_d = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad [9.6]$$

Numero di cicli di ampiezza costante (rispettivamente 72 e 46 N/mm^2) che causano il collasso (EC3 # 9.5.2.3 [9.12]):

$$N_1 = 2 \cdot 10^6 \left[\frac{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Mf} \Delta \tau} \right]^5 = 2 \cdot 10^6 \left[\frac{64}{72} \right]^5 = 1.11 \cdot 10^6$$

$$N_2 = 2 \cdot 10^6 \left[\frac{64}{46} \right]^5 = 10.4 \cdot 10^6$$

Applicando la legge del danno cumulativo di Miner (eq. 9.6) si ha:

$$D_d = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = \frac{10^6}{1.11 \cdot 10^6} + \frac{10^6}{10.4 \cdot 10^6} = 0.997 < 1$$

Il particolare risulta quindi verificato a fatica.

Osservazione

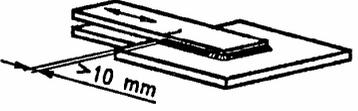
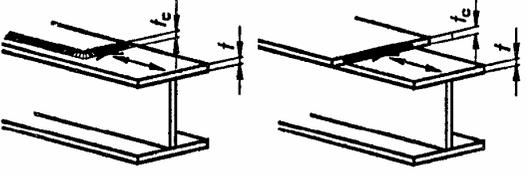
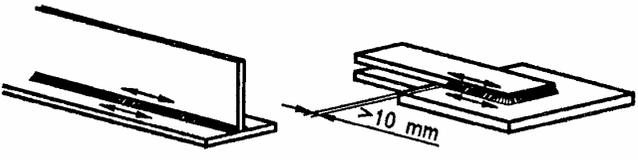
La variazione di tensione nella saldatura, provocata dalla variazione del carico di esercizio, deve essere inferiore a $\Delta \tau_{1w} = 72 \text{ N/mm}^2$. Ciò significa che, se il peso proprio è trascurabile, come nelle vie di corsa, la tensione in esercizio deve essere inferiore a $\tau_{\max} = 72 \text{ N/mm}^2$ (se la τ varia fra 0 e τ_{\max}) o a $\tau_{\max} = 36 \text{ N/mm}^2$ (se la τ varia fra $-\tau_{\max}$ e τ_{\max}).

Per un carico statico sarebbe ammissibile in esercizio una τ molto superiore. Ad esempio per acciaio Fe360 (S235) la resistenza di progetto della saldatura è (EC3 #6.6.5.3):

$$f_{Vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_w} = \frac{360 / \sqrt{3}}{0.8 \cdot 1.25} = 208 \text{ N/mm}^2$$

In esercizio sarebbe quindi ammissibile $\tau_{\max} = 208 / 1.5 = 139 \text{ N/mm}^2$

Prospetto 9.8.5 - Collegamenti saldati con saldature soggette a carichi - Foglio 2 di 3

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi		Descrizione	Requisiti
45 *)	 <p style="text-align: center;">④</p>		<p><u>Giunti a sovrapposizione saldati</u></p> <p>4 - Giunzione a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo</p>	<p>4 - Le tensioni devono essere calcolate negli elementi esterni</p> <p>3 e 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra - La resistenza a rottura a taglio deve essere determinata usando il particolare 7
50 *)	$t \text{ e } t_c$ $\leq 20 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">⑤</p>	<p><u>Piastre coprighiuto in travi e travi composte</u></p> <p>5 - Estremità di piastre coprighiuto con saldatura singola o multipla, con o senza saldatura nel tratto frontale</p>	<p>5 - Qualora la piastra coprighiuto sia più larga della piattabanda, è necessaria una saldatura frontale, accuratamente molata per rimuovere le incisioni marginali</p>
36 *)	$t \text{ o } t_c$ $> 20 \text{ mm}$			
80 $m = 5$	 <p style="text-align: center;">⑥ ⑦</p>		<p><u>Saldature soggette a taglio</u></p> <p>6 - Saldature continue a cordoni d'angolo che trasmettono una forza di taglio continua, quali le saldature fra anima e piattabanda di travi composte. Per saldature di testa continue a completa penetrazione soggette a taglio usare la categoria 100</p> <p>7 - Giunzioni a sovrapposizione saldate a cordoni d'angolo</p>	<p>6 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura</p> <p>7 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura considerando la lunghezza totale della saldatura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra

*) vedere 9.7.3.
(segue)

Fig. 13