7. Fabbricazione e montaggio

7.1. Generalità

7.1.1. Finalità

(1) Questo punto specifica i requisiti minimi delle lavorazioni richiesti per la fabbricazione ed il montaggio al fine di garantire che le ipotesi di progetto di questo Eurocodice siano soddisfatte e che, quindi, il livello di sicurezza strutturale desiderato possa essere raggiunto.

(2) I requisiti minimi si riferiscono a strutture soggette prevalentemente a carichi statici. Qualità delle lavorazioni più elevate e livelli di controllo e prove più rigorosi possono rendersi necessari per le strutture nelle quali prevale il fenomeno della fatica, in funzione dei dettagli di progetto e della resistenza a fatica richiesta (vedere il punto 9) o per altre ragioni.

(3) Qualsiasi requisito addizionale specifico per strutture particolari dovrà essere dichiarato nella specifica di progetto.

7.1.2. Requisiti

(1) Accertato che tutti gli acciai strutturali, i dispositivi di giunzione e gli elettrodi per la saldatura siano conformi ai requisiti indicati nel punto 3, le lavorazioni dovranno essere conformi alle seguenti norme di riferimento.

- Norma di riferimento n. 6: Fabbricazione di strutture in acciaio
- Norma di riferimento n. 7: Montaggio di strutture in acciaio
- Norma di riferimento n. 8: Montaggio di bulloni precaricati
- Norma di riferimento n. 9: Saldatura di strutture in acciaio

Nota - Per i dettagli sulle nonne di riferimento da 6 a 9 vedere appendice B.

(2) Nel caso di utilizzo di qualche materiale alternativo o addizionale, i requisiti specificati in (1) dovranno essere integrati per quanto necessario in modo da assicurare un livello di sicurezza equivalente.

7.2. Specifica di progetto

(1) Il progettista dovrà fornire, o adottare, una specifica di progetto contenente i dettagli di tutti i requisiti per i materiali, la fabbricazione ed il montaggio necessari ad assicurare la conformità alle ipotesi di progetto in relazione alla particolare struttura.

(2) La specifica di progetto dovrà contenere sufficienti dettagli dei requisiti specifici riguardanti:

a) la fabbricazione;
b) il montaggio;
c) i controlli;
d) l'accettazione.

(3) La specifica di progetto dovrà comprendere tutte le prescrizioni competenti che derivano dai requisiti indicati dai punti da 7.3 al 7.7.

(4) La specifica di progetto può includere dei disegni in aggiunta al testo.

(5) La specifica di progetto può integrare i requisiti delle norme di riferimento, ma non dovrà ridurre i loro requisiti tecnologici e non dovrà trascurare quelli minimi specificati in questo punto.

(6) Dopo l'approvazione, la specifica di progetto non dovrà essere alterata senza il benestare del progettista e delle autorità responsabili del controllo.

P(7) Per quanto possibile i requisiti della specifica di progetto devono essere prescritti usando le norme di riferimento.

7.3. Limitazioni per la fabbricazione

(1) È necessario evitare o eliminare il materiale incrudito nelle seguenti situazioni:

a) quando il progetto è basato sull'analisi plastica, per una distanza lungo la membratura uguale all'altezza della membratura, da entrambi i lati di ciascuna cerniera plastica;

b) quando prevalgono i fenomeni di fatica e sono adottati nel progetto i dettagli costruttivi delle categorie 140 o 160 (vedere il punto 9);
c) quando il progetto per le azioni sismiche o le azioni accidentali presuppone una deformazione plastica.

(2) Qualora si presenti una qualunque delle situazioni elencate in (1), le zone che si richiedono essere esenti da incrudimento del materiale dovranno essere identificate nella specifica di progetto.

(3) Nelle zone richieste di essere esenti da incrudimento del materiale le restrizioni specificate nella norma di riferimento n. 6 dovranno essere applicate nelle seguenti situazioni:
a) bordi tagliati alla fiamma o tranciati;
b) fori punzonati;
c) marcatura;
d) attacchi provvisori saldati;
e) riparazioni della superficie mediante saldatura.

Nota - La condizione (e) influenza le condizioni di fornitura del materiale: vedere la norma di riferimento n 1.

P(4) Tutte le zone ove sono richieste limitazioni riguardo all'incrudimento devono essere chiaramente indicate nei disegni.

7.4. Preparazione del materiale

(1) Qualsiasi raddrizzatura o sagomatura necessaria dovrà essere eseguita usando metodi che non riducano le proprietà del materiale al di sotto di quelle specificate.

(2) Le strutture in acciaio che sono state zincate dovranno essere raddrizzate o sagomate nuovamente, se necessario, per soddisfare i limiti di tolleranza specificati.

(3) Tutte le superfici ed i bordi dovranno essere esenti da difetti che abbiano probabilità di compromettere l'efficacia del metodo di protezione superficiale prescritto nella specifica di progetto.

(4) Per le superfici di appoggio a contatto dovranno essere specificati i livelli di qualità della spianatura necessari per trasmettere le forze di progetto lungo le superfici di contatto.

(5) Qualsiasi trattamento speciale richiesto per gli smussi dovrà essere prescritto nella specifica di progetto.

7.5. Collegamenti bullonati

7.5.1. Fori

(1) I fori per i bulloni possono essere trapanati o punzonati, salvo diversa specifica.

Il NAD italiano aggiunge al comma (1) la seguente prescrizione.

È sempre escluso l'impiego della fiamma nella lavorazione dei fori.

(2) Quando sono richiesti fori trapanati, essi possono essere pre-punzonati ed alesati.

(3) Quando sono richiesti fori a testa svasata, l'angolo di svasatura dovrà corrispondere a quello dei bulloni a testa svasata normalizzati come specificato dalla norma di riferimento n. 3, salvo che siano prescritti bulloni a testa svasata speciali non normalizzati.

P(4) Si deve curare che la profondità della svasatura sia sufficiente ad ospitare la testa del bullone. Qualora ciò implichi la svasatura di più di uno strato di piatti, le modalità per l'esecuzione devono essere stabilite nella specifica di progetto.

P(5) I fori asolati dovranno essere, in alternativa, o asolati in una sola operazione, oppure realizzati punzonando o trapanando due fori circolari e completati da taglio alla fiamma e rifinitura di alta qualità in modo da assicurare che il bullone possa muoversi liberamente per tutta la lunghezza dell'asola.

7.5.2. Tolleranze nei fori per i dispositivi di giunzione

(1) Ad eccezione dei bulloni calibrati oppure dove sono specificate tolleranze ridotte o fori maggiorati, la tolleranza nominale per fori normali dovrà essere:

- 1 mm per bulloni M12 e M14;
- 2 mm per bulloni da M16 a M24;
- 3 mm per bulloni M27 ed oltre.

(2) Possono essere prescritti fori con tolleranza ridotta rispetto a quella normale.

(3) Per bulloni M12 e M14 possono pure essere prescritti fori con 2 mm di tolleranza nominale purché il progetto corrisponda ai requisiti indicati in 6.5.5(8).

(4) La tolleranza per i bulloni calibrati dovrà essere quella specificata nella norma di riferimento n. 6, ad eccezione del caso in cui siano prescritte tolleranze speciali.

(5) I fori maggiorati ed asolati possono essere impiegati per i collegamenti ad attrito solo ove specificato.

(6) La tolleranza nominale nei fori maggiorati per i collegamenti ad attrito dovrà essere:
- 3 mm per bulloni M12;
- 4 mm per bulloni da M14 a M22;
- 6 mm per bulloni M24;
- 8 mm per bulloni M27 ed oltre.

(7) I fori maggiorati nei piatti dello strato esterno di un collegamento ad attrito dovranno essere coperti da rosette temprate.

(8) I fori per bulloni di fondazione possono essere fori maggiorati con le tolleranze prescritte nella specifica di progetto purché questi fori siano coperti da piastre di rinforzo di dimensioni e spessore adeguati. I fori nelle piastre di rinforzo non dovranno avere dimensioni maggiori dei fori normali.

(9) Le dimensioni nominali dei fori ad asola corta per i collegamenti ad attrito non dovranno essere maggiori di:
- (d + 1) mm per (d + 4) mm per bulloni M12 e M14;
- (d + 2) mm per (d + 6) mm per bulloni da M16 a M22
- (d + 2) mm per (d + 8) mm per bulloni M24;
- (d +3) mm per (d + 10) mm per bulloni M27 e oltre;

dove:

d è il diametro nominale del bullone, in millimetri.

(10) Le dimensioni nominali dei fori ad asola lunga per i collegamenti ad attrito non dovranno essere maggiori di:
- (d + 1) mm per 2,5 d per bulloni M12 e M14;
- (d + 2) mm per 2,5 d per bulloni da M16 a M22;
- (d + 3) mm per 2,5 d per bulloni M27 ed oltre.

(11) Le asole lunghe nei piatti dello strato esterno dovranno essere coperte da piastre di rinforzo di dimensioni e spessore adeguati. I fori nelle piastre di rinforzo non dovranno avere dimensioni maggiori dei fori normali.

(12) Le dimensioni richieste per i fori ad asola lunga di giunzioni soggette a movimento dovranno essere specificate. Le asole nei piatti dello strato esterno dovranno essere ricoperte da piastre di rinforzo di dimensioni e spessore adeguati.

7.5.3. Bulloni

(1) Quando il progetto è basato su bulloni aventi il gambo non filettato disposto nel piano di taglio, dovranno essere specificate le appropriate misure per assicurare che, dopo aver tenuto conto delle tolleranze, né la parte filettata, né l'avvio della filettatura giacciano nel piano di taglio.

(2) Esclusi i casi proibiti dalla specifica di progetto, possono essere usati bulloni con la filettatura fino alla testa.

(3) La lunghezza di un bullone non precaricato dovrà essere tale che, dopo aver tenuto conto delle tolleranze:
- la parte filettata del gambo dopo il serraggio sporga oltre il dado; e

– almeno un intero filetto (oltre all'avvio della filettatura) rimanga libero fra il dado ed il tratto non filettato del gambo.

(4) La lunghezza di un bullone precaricato dovrà essere tale che, dopo aver tenuto conto delle tolleranze:
– la parte filettata del gambo dopo il serraggio sporga oltre il dado; e
– almeno quattro filetti (in aggiunta all'avvio della filettatura) rimangano liberi fra il dado e la parte non filettata del gambo.

7.5.4. Dadi

(1) Nelle strutture soggette a vibrazioni saranno presi provvedimenti per evitare l'allentamento dei dadi.

P(2) Se nelle strutture soggette a vibrazioni sono impiegati bulloni non precaricati, i dadi devono essere resi fissi attraverso dispositivi che evitano l'allentamento od altri dispositivi meccanici.

P(3) Per i dadi dei bulloni precaricati si può assumere che siano sufficientemente resi fissi dalla normale procedura di serraggio.

7.5.5. Rosette

(1) Le rosette non sono richieste per i bulloni non precaricati, ad eccezione dei seguenti casi.
a) Dovrà essere usata una rosetta rastremata qualora la superficie sia inclinata di oltre 3° rispetto ad un piano perpendicolare all'asse del bullone.
b) Le rosette dovranno essere usate dove ciò sia necessario a causa del requisito, prescritto dalla specifica di progetto, di impiegare un bullone più lungo al fine di tenere i filetti del bullone fuori dal piano di taglio o fuori da un foro calibrato.

(2) Per i bulloni precaricati dovranno essere usate rosette temprate nei seguenti casi.
a) Una rosetta temprata dovrà essere disposta sotto la testa del bullone o sotto il dado, secondo quale sarà la parte che verrà girata.
b) Una rosetta temprata dovrà pure essere disposta sotto la parte che non gira (testa del bullone o dado) se prescritto nella specifica di progetto.
c) Una rosetta rastremata temprata dovrà essere usata, se necessario, per assicurare che la parte che gira gravi su una superficie perpendicolare all'asse del bullone.
d) Una rosetta rastremata temprata dovrà essere usata sotto la parte che non gira quando la superficie è inclinata di oltre 3° rispetto ad un piano perpendicolare all'asse del bullone.

7.5.6. Serraggio dei bulloni

(1) I bulloni non precaricati dovranno essere adeguatamente serrati per assicurare che si raggiunga un contatto sufficiente fra le parti assemblate.

P(2) Non è necessario serrare i bulloni non precaricati ad un valore predeterminato. Tuttavia, quale indicazione, il serraggio richiesto deve essere:
– quello che può essere raggiunto da un uomo che usa una normale chiave da montatore;
– fino al punto dove un avvitatore pneumatico inizia a scorrere.

(3) I bulloni precaricati dovranno essere serrati in conformità alla norma di riferimento n. 8. La specifica di progetto dovrà prescrivere quale dei metodi indicati nella norma di riferimento potrà essere usato.

Il NAD italiano aggiunge il seguente comma.

(4) Per il controllo del serraggio dei bulloni precaricati si applica il punto 7.10.2. Parte Seconda del presente decreto (D.M. 9/1/96).

7.5.7. Superfici di contatto resistenti allo scorrimento

(1) Qualora sia richiesta una condizione particolare delle superfici di attrito nelle giunzioni bullonate, si dovrà prescrivere nella specifica di progetto la condizione richiesta per la superficie (vedere 6.5.8.3).

Il NAD italiano aggiunge:

Si applicano, ad integrazione del comma (1), le indicazioni del punto 7.10.2. Parte Seconda del presente decreto (D.M. 9/1/96) circa le modalità di preparazione delle superfici di contatto.

(2) Se in una giunzione resistente ad attrito sono usate imbottiture in acciaio, bisogna assicurare che anche le loro superfici di contatto siano preparate nella condizione specificata.

7.5.8. Accoppiamento delle superfici di contatto

(1) Salvo che valori inferiori siano prescritti dalla specifica di progetto, il massimo dislivello fra le superfici adiacenti di una giunzione (vedere fig. 7.1) non dovrà superare:
- 2 mm quando si usano bulloni non precaricati;
- 1 mm quando si usano bulloni precaricati.

P(2) Quando si usano bulloni precaricati il progettista deve tenere in conto i possibili effetti della mancanza di accoppiamento come una alternativa alla imposizione di tolleranze ridotte.

(3) Dove necessario, si dovranno usare imbottiture in acciaio per assicurare che il dislivello rimanente non superi i limiti indicati.

P(4) Salvo il caso in cui siano specificati valori maggiori, lo spessore minimo di una imbottitura in acciaio deve essere:
- 2 mm per condizioni di impiego al chiuso, in assenza di esposizione a fattori che provochino corrosione;
- 4 mm per condizioni di impiego all'aperto o nel caso di esposizione a fattori che provochino corrosione.

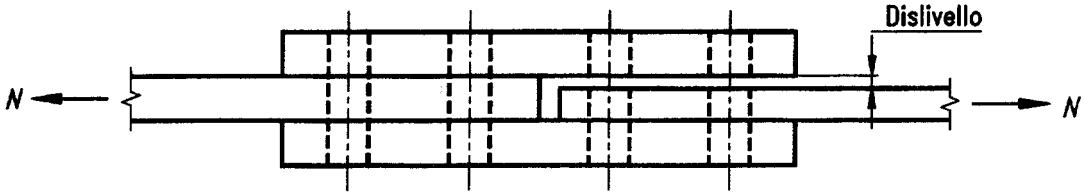


Fig. 7.1 - Massimo dislivello fra superfici adiacenti

7.6. Collegamenti saldati

Per il NAD italiano, questo paragrafo deve essere integrato con le indicazioni di cui ai punti 7.5. e 7.10.3. Parte Seconda del presente decreto (D.M. 9/1/96).

Ulteriori precisazioni sono riportate al punto 9.2 della CNR 10011/86 (che riguarda le regole pratiche di progettazione ed esecuzione delle unioni saldate) ed al punto 9.3.2. della CNR 10011/86.

(1) L'assemblaggio e la saldatura dovranno essere svolti in modo tale che le dimensioni finali siano entro i limiti di tolleranza appropriati.

(2) La specifica di progetto dovrà includere i dettagli di qualsiasi collegamento saldato che richieda:
a) particolari procedure di saldatura;
b) particolari livelli di controllo di qualità;
c) particolari procedure per i controlli;
d) particolari procedure per le prove.

(3) Le saldature possono essere effettuate in cantiere salvo divieto della specifica di progetto.

P(4) I disegni devono chiaramente indicare se le saldature di testa sono intese a completa penetrazione od a parziale penetrazione. Nel caso di saldatura di testa a parziale penetrazione si deve specificare la sezione di gola richiesta.

7.7. Tolleranze

7.7.1. Tipi di tolleranze

(1) Le tolleranze “normali” sono i limiti basilari per gli scostamenti dimensionali necessari:
- per soddisfare le ipotesi di progetto per le strutture caricate staticamente;
- per definire le tolleranze accettabili per le strutture di edifici in assenza di altri requisiti.

(2) Le tolleranze “speciali” sono tolleranze più restrittive necessarie per soddisfare le ipotesi di progetto:
- per strutture diverse dalle normali strutture degli edifici;
- per strutture nelle quali predominano i fenomeni di fatica.

(3) Le tolleranze “particolari” sono tolleranze più restrittive, necessarie per soddisfare i requisiti funzionali di strutture particolari o componenti strutturali in relazione a:
- aggiunte di altri componenti strutturali o non strutturali;
- guide per ascensori (montacarichi);
- rotaie per carriponte;
- altri criteri di verifica quale il rispetto di certe distanze;
- allineamento della facciata esterna di un edificio.

7.7.2. Applicazione delle tolleranze

(1) Tutti i valori di tolleranza specificati in 7.7 dovranno essere considerati come tolleranze “normali”.

(2) Le tolleranze “normali” si applicano alle usuali strutture di acciaio a telaio monopiano e multipiano di edifici residenziali, amministrativi, commerciali ed industriali, ad eccezione dei casi in cui siano specificate tolleranze “speciali” o “particolari”.

(3) Tutte le tolleranze “speciali” o “particolari” richieste dovranno essere dettagliate nella specifica di progetto.

P(4) Tutte le tolleranze “speciali” o “particolari” richieste devono pure essere indicate nei disegni pertinenti.

Prospetto 7.1 - Tolleranze normali dopo il montaggio

Criterio di verifica	Scostamento ammissibile
Scostamento della distanza fra le colonne adiacenti	$\pm$ 5 mm
Inclinazione di una colonna in un edificio multipiano fra livelli di impalcato adiacenti	$0{,}002\,h$ dove: h è l’altezza di piano
Scostamento nel posizionamento di una colonna in un edificio multipiano, a ciascun livello di impalcato, dalla verticale che passa attraverso la posizione prevista per la base della colonna	$0{,}0035 \sum \frac{h}{\sqrt{n}}$ dove: $\sum h$ è l’altezza totale dalla base al livello di impalcato in oggetto; n è il numero dei piani dalla base al livello di impalcato in oggetto.
Inclinazione di una colonna in un edificio monopiano (che non regge un carroponte) diverso da un portale a telaio	$0{,}0035\,h$ dove: h è l’altezza della colonna
Inclinazione delle colone in un telaio a portale (che non reggono un carroponte)	Media: $0{,}002\,h$ Individuale: $0{,}010\,h$

7.7.3. Tolleranze di montaggio normali

(1) La struttura in acciaio scarica, quando eretta, dovrà soddisfare i criteri di verifica indicati nel prospetto 7.1 e rispettare i limiti di tolleranza specificati, vedere le fig. 7.2.1 e 7.2.2.

(2) Ciascun criterio di verifica indicato nei prospetti dovrà essere considerato come un requisito separato, da soddisfare indipendentemente da ogni altro criterio di verifica.

(3) Le tolleranze di montaggio specificate nel prospetto 7.1 si applicano ai seguenti punti di riferimento:

a) per una colonna, l'effettiva mezzeria della colonna a ciascun livello di piano ed alla base, escludendo qualsiasi piastra di base o piastra di sommità;

b) per una trave, l'effettiva mezzeria della superficie superiore in corrispondenza di ciascuna estremità della trave, escludendo qualsiasi piastra di estremità.

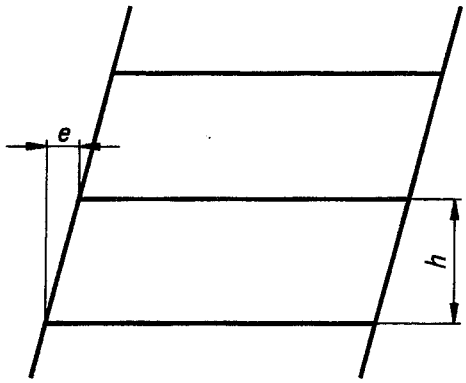
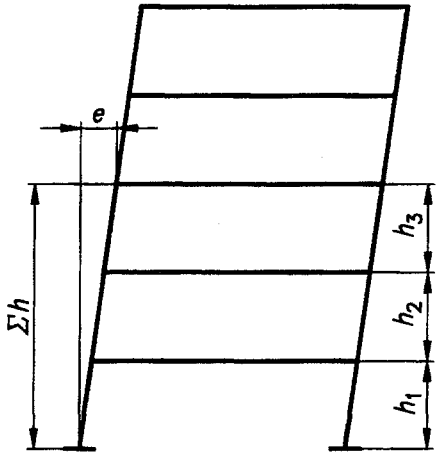
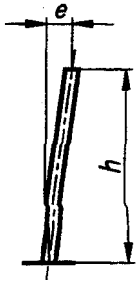
Criterio di verifica	Descrizione	Scostamento ammissibile
Inclinazione di una colonna fra livelli di impalcato adiacenti		$e \le 0{,}002\,h$
Posizione di una colonna, a ciascun livello di impalcato, dalla verticale che passa attraverso la posizione prevista per la base della colonna		$e \le \dfrac{0{,}0035 \sum h}{\sqrt{n}}$
Inclinazione di una colonna in un edificio monopiano, che non regge un carroponte, non appartenente ad un portale a telaio		$e \le 0{,}0035\,h$

Fig. 721 - Tolleranze normali dopo il montaggio - Parte 1[a]

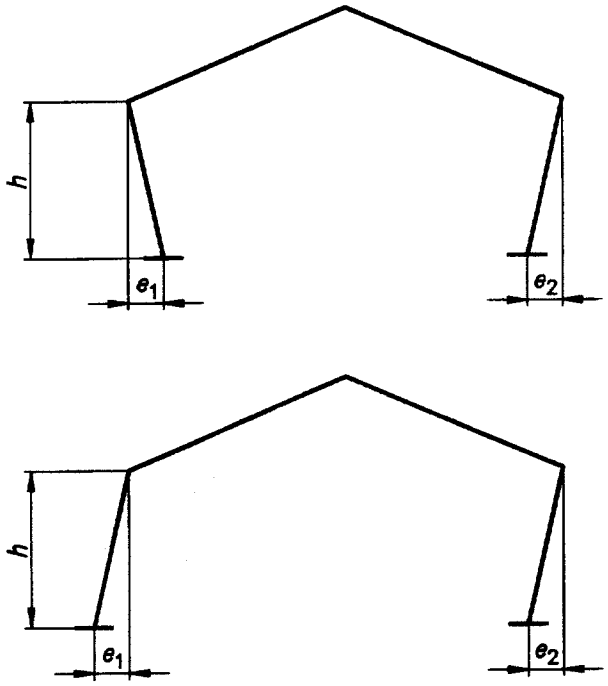
Criterio di verifica Inclinazione delle colonne di un telaio a portale che non reggono un carroponte
Descrizione 
Scostamento ammissibile Inclinazione individuale delle colonne: $e_1 \le 0{,}010\ h$; $e_2 \le 0{,}010\ h$ Inclinazione media di un telaio: $\frac{e_1 + e_2}{2} \le 0{,}002\ h$ dove: $e_1 \ge e_2$

Fig. 7.2.2 - Tolleranze normali dopo il montaggio - Parte 2°

7.7.4. Tolleranze di fabbricazione

(1) Le tolleranze di fabbricazione normali dovranno essere le tolleranze di fabbricazione normali per le strutture degli edifici specificate nella norma di riferimento n. 6.

(2) Le tolleranze di rettilineità specificate nel prospetto 7.2. sono state assunte derivandole dalle regole di progettazione dei relativi tipi di membrature. Qualora la curvatura ecceda questi valori, la curvatura addizionale dovrà essere tenuta in debito conto nei calcoli di progetto.

7.7.5. Posizione dei bulloni di fondazione

(1) Dovranno essere specificate le tolleranze per gli scostamenti nelle posizioni dei bulloni di fondazione che consentiranno di rispettare i limiti di tolleranza per il montaggio delle strutture di acciaio.

(2) Dovranno essere specificate le tolleranze per i livelli dei bulloni di fondazione che consentiranno di rispettare i limiti di tolleranza per i seguenti criteri di verifica:

a) livello della piastra di base;
b) spessore dei materiale sotto la piastra di base;
c) sporgenza dei bullone oltre il dado;
d) numero di filetti liberi sotto il dado.

Prospetto 7.2 - Tolleranze di rettilineità incorporate nelle regole di progettazione

Criterio di verifica	Scostamento ammissibile
Rettilineità di una colonna (o altra membratura compressa) fra i punti che disporranno di ritegni laterali a montaggio completato	± 0,001 *L* in generale ± 0,002 *L* per membrature con sezioni trasversali cave dove: *L* è la lunghezza fra i punti che avranno ritegni laterali
Rettilineità della piattabanda compressa di una trave, rispetto all'asse minore, fra i punti che disporranno di ritegni laterali a montaggio completato	± 0,001 *L* in generale ± 0,002 *L* per travi a sezione cava dove: *L* è la lunghezza fra i punti che avranno ritegni laterali

(3) Gli scostamenti dell'interasse fra i singoli bulloni appartenenti al gruppo di bulloni di fondazione per ciascuna membratura non dovranno eccedere i seguenti valori:
   a) per i bulloni annegati rigidamente, fra i centri dei bulloni: ± 5 mm;
   b) peri bulloni alloggiati in manicotti, fra i centri dei manicotti: ± 10 mm.

7.8. Controlli e prove

(1) I requisiti per i controlli e le prove dovranno essere quelli del livello normale di controlli e prove specificati nelle "Norme di Riferimento" pertinenti, salvo che siano specificati requisiti per i controlli.

(2) I criteri di accettazione dovranno essere i criteri normali di accettazione specificati nelle "Norme di Riferimento" pertinenti, salvo che siano specificati criteri di accettazione speciali.

Il NAD italiano aggiunge:

È da intendersi che il disposto del Cap. 3 "Collaudo Statico" della Parte Seconda del presente decreto (D.M. 9/1/96) non è sostitutiva del punto 7.8. Controlli e Prove.

8. Progettazione integrata da prove

8.1. Principi

(1) Le prescrizioni di questo punto forniscono una guida al progettista che deve occuparsi di verifiche sperimentali.

(2) Quando i modelli di calcolo a disposizione non sono sufficienti, per l'analisi di una particolare struttura o di componente strutturale, si dovrà intraprendere la verifica sperimentale in sostituzione del calcolo di progetto o per integrare il calcolo di progetto.

(3) La verifica sperimentale può essere intrapresa anche quando le regole di progettazione fornite da questo Eurocodice portano a risultati non economicamente validi. Tuttavia non dovranno essere trascurate le ipotesi conservative degli specifici modelli di calcolo che intendono tenere in conto i parametri sfavorevoli non considerati esplicitamente nei modelli di calcolo prescritti.

(4) La pianificazione, l'esecuzione, la valutazione e la documentazione delle prove dovranno corrispondere ai requisiti minimi indicati nel seguito.

P(5) Poiché le circostanze e le attrezzature di prova variano ampiamente, le procedure di prova devono essere concordate preventivamente fra tutte le parti interessate.

8.2. Pianificazione delle prove

(1) La verifica sperimentale dovrà essere basata su modelli di calcolo di tentativo, che possono essere incompleti, ma che correlano una o più variabili significative al comportamento strutturale in esame, in modo che le tendenze fondamentali siano adeguatamente previste. La verifica sperimentale dovrà allora essere limitata alla valutazione dei termini correttivi nel modello di calcolo di tentativo.

(2) Quando l'individuazione di modelli di calcolo appropriati o delle modalità di collasso da attendersi nelle prove è estremamente dubbia, il programma di prova dovrà essere sviluppato sulla base di prove pilota associate.

(3) Prima della esecuzione delle prove dovrà essere tracciato un programma di prova da parte del progettista e della organizzazione che la effettuerà. Il programma dovrà indicare lo scopo delle prove e tutte le direttive e le specifiche necessarie per la scelta e la preparazione dei campioni, l'esecuzione delle prove e la valutazione dei risultati.

P(4) Si deve fare riferimento all'appendice *Y* come guida alla preparazione del programma di prova.

(5) Il programma di prova dovrà riguardare i seguenti argomenti:

- (a) Lo scopo delle informazioni che si richiedono alle prove (per esempio: i parametri richiesti ed il campo di validità).
- (b) La descrizione di tutte le caratteristiche delle membrature considerate che possono influenzare il comportamento allo stato limite (per esempio: la sezione della membratura, la rigidezza, il tipo e il grado dell'acciaio e le principali proprietà del materiale, i parametri geometrici e strutturali e le loro tolleranze, i parametri influenzati dalle procedure di fabbricazione e montaggio).
- (c) Le specifiche sulle caratteristiche dei campioni di prova (per esempio: le procedure di campionamento, le specifiche per la quotatura, il materiale e la fabbricazione dei prototipi, il numero dei campioni e delle parti, i vincoli).
- (d) La descrizione delle azioni a cui le membrature devono reagire e l'indicazione delle caratteristiche a cui viene fatto riferimento in (b) (per esempio: le disposizioni dei carichi, le condizioni di carico, le combinazioni di carico).
- (e) Le specifiche sulle condizioni di carico e sulle condizioni ambientali nella prova (per esempio: i punti di applicazione del carico, il metodo di carico, la sequenza di applicazione del carico nel tempo e nello spazio, le temperature).
- (f) Le modalità di collasso ed i modelli di calcolo di tentativo con le variabili corrispondenti.

(g) Le configurazioni di prova (comprendenti gli accorgimenti per assicurare una sufficiente resistenza e rigidezza dei telai di carico e di sostegno e le distanze di rispetto per gli spostamenti, ecc.).
(h) La determinazione dei punti di misura e dei metodi di misura e registrazione (per esempio: l'andamento nel tempo delle deformazioni, forze, spostamenti).
(i) La determinazione del tipo e modalità di controllo dell'applicazione del carico (controllato attraverso le tensioni, controllato attraverso le deformazioni, ecc.).
(k) La precisione richiesta per le misure e per gli strumenti di misura.

(6) Tutti i dettagli sul campionamento o sulla realizzazione dei campioni dovranno essere riportati in relazione e si dovranno effettuare misure su questi campioni prima dell'inizio delle prove al fine di dimostrare che il progetto dei provini sia stato realizzato correttamente; in caso contrario i provini dovranno essere modificati.

8.3. Esecuzione delle prove

(1) L'esecuzione delle verifiche sperimentali dovrà essere affidata esclusivamente ad organizzazioni il cui personale abbia sufficienti conoscenze ed esperienza nella pianificazione, esecuzione e valutazione dei risultati delle prove.

(2) Il laboratorio di prova dovrà essere adeguatamente attrezzato e l'organizzazione che esegue le prove dovrà assicurare una attenta gestione e documentazione di tutte le prove.

8.4. Valutazione dei risultati delle prove

(1) La valutazione dei risultati delle prove dovrà tener conto del carattere di casualità di tutti i dati.

P(2) La valutazione dei risultati delle prove dovrà essere svolta in accordo al metodo fornito nell'appendice *Z*.

8.5. Documentazione

(1) La seguente documentazione dovrà far parte della relazione di prova:
- il programma di prova (inclusa qualsiasi revisione);
- le descrizioni e specifiche per tutti i campioni;
- i dettagli delle configurazioni di prova;
- i dettagli della esecuzione delle prove;
- i risultati delle prove necessari per la valutazione dei risultati delle prove.

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.

(2) Il livello di sicurezza richiesto dovrà essere ottenuto applicando gli appropriati coefficienti parziali di sicurezza (vedere 9.3).

9.1.2. Finalità

(1) Questo punto presenta un metodo generale per la valutazione della resistenza a fatica delle strutture e degli elementi strutturali che sono soggetti a fluttuazioni ripetute delle tensioni.

(2) Le procedure di valutazione della resistenza a fatica presuppongono che le strutture siano pure conformi ai requisiti di questo Eurocodice per gli altri stati limite.

(3) Le procedure di valutazione della resistenza a fatica descritte in questo punto sono applicabili quando tutti gli acciai strutturali, i dispositivi di giunzione ed i materiali di consumo per le saldature sono conformi ai requisiti specificati nel punto 3.

9.1.3. Limitazioni

(1) Per la valutazione della resistenza a fatica, tutte le sollecitazioni nominali [vedere 9.1.5(7)] dovranno risultare all'interno dei limiti elastici del materiale. L'intervallo dei valori di progetto di tali sollecitazioni non dovrà superare $1{,}5\,f_y$ per le tensioni normali oppure $1{,}5\,f_y/\sqrt{3}$ per le tensioni tangenziali.

(2) Le resistenze a fatica specificate in questo punto sono applicabili alle strutture aventi una idonea protezione contro la corrosione, soggette esclusivamente a condizioni moderate di aggressività ambientale, quali le normali condizioni atmosferiche (profondità dei punti di corrosione ≤ 1 mm).

(3) Le procedure di valutazione della resistenza a fatica fornite in questo punto sono applicabili solo alle strutture soggette a temperature non maggiori di 150 °*C*.

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.

(2) Nessuna valutazione della resistenza a fatica è richiesta quando è soddisfatta una delle condizioni seguenti:

(a) campo di variazione delle tensioni nominali $\Delta\sigma$ soddisfa la condizione:

$$\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma \le \frac{26}{\gamma_{Mf}}\ \text{N/mm}^2 \qquad [9.1]$$

(b) il numero totale dei cicli di sollecitazione N soddisfa la condizione:

$$N \le 2\times10^6\left[\frac{36/\gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_{E.2}}\right]^3 \qquad [9.2]$$

dove:

$\Delta\sigma_{E.2}$ è il campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante, in N/mm^2.

(c) per un dettaglio per il quale è specificato un limite di fatica ad ampiezza costante $\Delta\sigma_D$, la massima ampiezza delle tensioni (nominali o geometriche) $\Delta\sigma$ soddisfa l'equazione:

$$\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma \le \frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}} \qquad [9.3]$$

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.

(2) **carico di fatica**: Un gruppo di tipici eventi di carico descritti dalle posizioni dei carichi, dalla loro intensità e dalla relativa frequenza di ricorrenza.

(3) **eventi di carico**: Una sequenza definita di carichi applicati alla struttura che dà luogo ad un certo andamento delle tensioni nel tempo.

(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.

(5) **andamento delle tensioni nel tempo**: Una registrazione, oppure una determinazione, della variazione delle tensioni in un punto particolare di una struttura durante un evento di carico.

(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 ($\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ oppure $\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}$).

(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.

(8) **tensione nominale modificata**: Una tensione nominale incrementata di un coefficiente appropriato di concentrazione delle tensioni, per tenere conto della discontinuità geometrica che non è stata tenuta in considerazione nella classificazione del particolare dettaglio costruttivo.

(9) **tensione geometrica**: La tensione massima principale nel metallo base adiacente al piede del cordone di saldatura, tenendo in considerazione gli effetti della concentrazione delle tensioni dovute alla geometria globale di un particolare dettaglio costruttivo, ma escludendo gli effetti di concentrazioni locali degli sforzi dovuti alla geometria della saldatura ed alle discontinuità nella saldatura e nel metallo base adiacente.
Nota - La sollecitazione geometrica è pure conosciuta come tensione di picco ("hot spot stress").

(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.

(12) **spettro di progetto**: L'insieme di tutti gli spettri dei Δ di tensione relativi alla valutazione della resistenza a fatica: vedere fig. 9.1.1.

(13) **campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante**: Il campo di variazione delle tensioni ad ampiezza costante che determinerebbe lo stesso danneggiamento a fatica dello spettro reale ad ampiezza variabile, qualora il confronto sia fatto sulla base della regola di Miner.

P(14) Per comodità l'ampiezza del ciclo di tensione equivalente può essere scelta in modo da corrispondere a una vita di 2 milioni di cicli.

(15) **vita a fatica**: Il numero totale di cicli di variazione delle tensioni che si prevede produca un collasso per fatica.

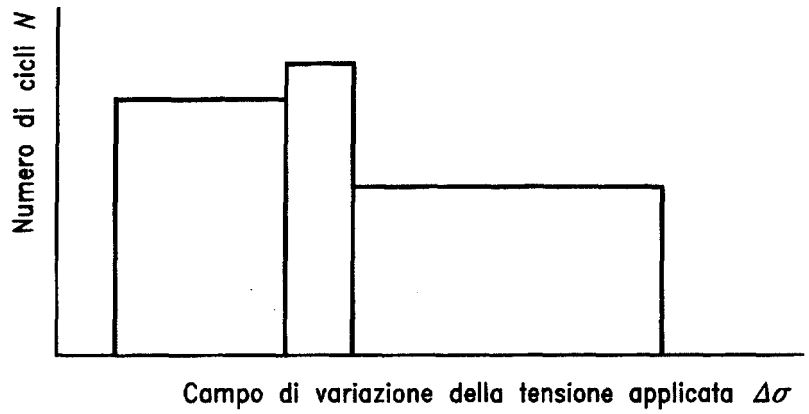


Fig. 9.1.1 - Spettro di progetto

(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.

(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.

(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).

(20) **vita di progetto**: Il periodo di tempo di riferimento per il quale è richiesto che una struttura funzioni con sicurezza con una probabilità accettabile che non si verifichi un collasso per cricche a fatica.

(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.

9.1.6. Simboli

γ_{Ff}	Coefficiente parziale di sicurezza per carichi di fatica
γ_{Mf}	Coefficiente parziale di sicurezza per la resistenza a fatica
σ_{max}, σ_{min}	Valori massimo e minimo in un ciclo di tensione
$\Delta\sigma$	Campo di variazione delle tensioni nominali (tensione normale)
$\Delta\sigma_D$.	Limite di fatica ad ampiezza costante
$\Delta\sigma_R$	Resistenza a fatica (tensione normale)
$\Delta\sigma_C$	Valore di riferimento della resistenza a fatica a 2 milioni di cicli (tensione normale)
$\Delta\sigma_E$	Campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante (tensione normale)
$\Delta\sigma_{E.2}$	Campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante (tensione normale) a 2 milioni di cicli
$\Delta\sigma_L$	Limite per i calcoli a fatica ("cut-off limit")
$\Delta\tau$	Campo di variazione delle tensioni nominali (tensione tangenziale)
$\Delta\tau_R$	Resistenza a fatica (tensione tangenziale)
$\Delta\tau_E$	Campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante (tensione tangenziale)
$\Delta\tau_{E.2}$	Campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante (tensione tangenziale) a 2 milioni di cicli
$\Delta\tau_C$	Valore di riferimento della resistenza a fatica a 2 milioni di cicli (tensione tangenziale)
m	Pendenza di una curva di resistenza a fatica con valori di 3 e/o 5

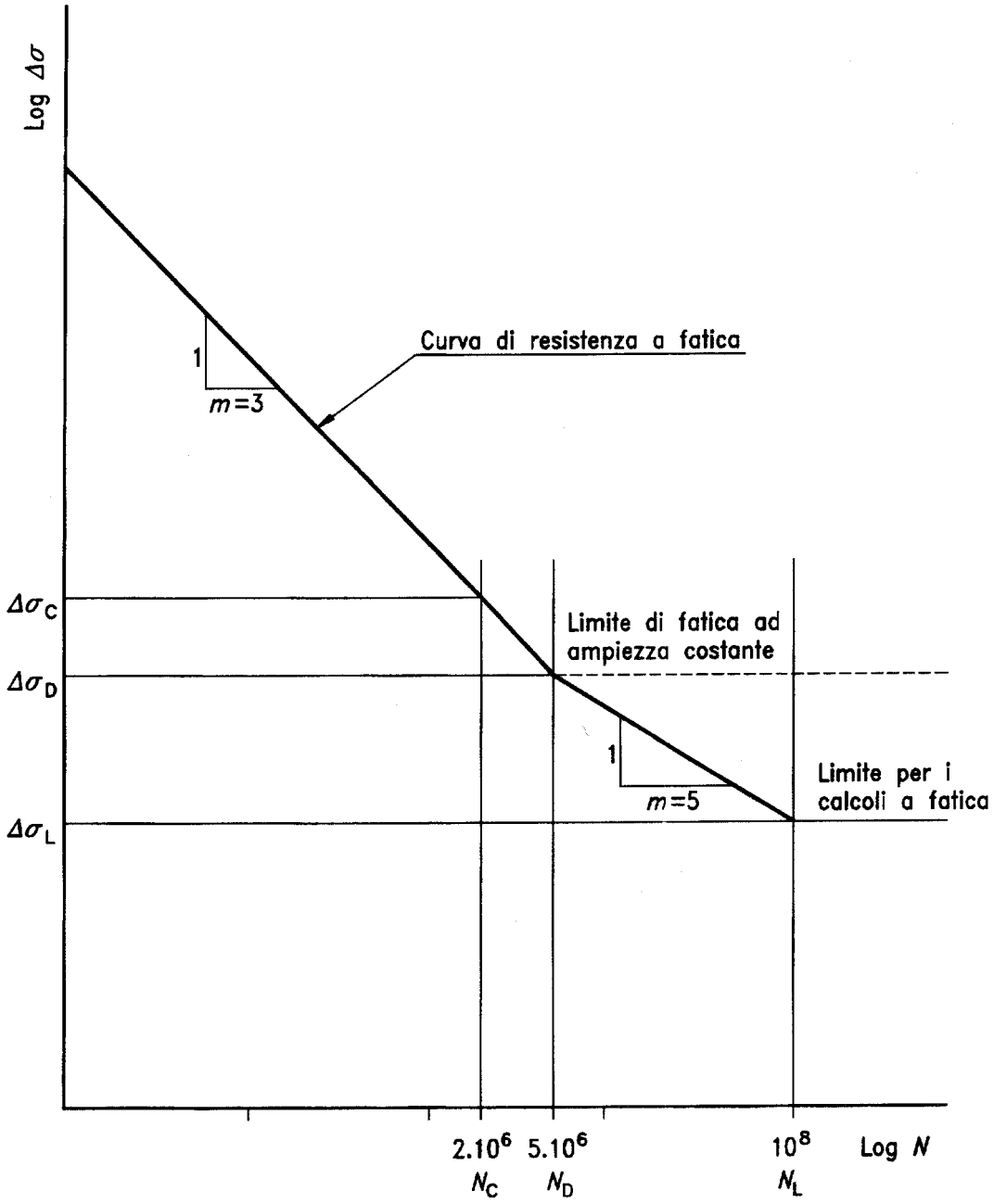


Fig. 9.1.2 - Curva di resistenza a fatica

n_i	Numero dei cicli di ampiezza $\Delta\sigma_i$;
N	Numero (o numero totale) dei cicli di tensioni
N_i;	Numero dei cicli di tensione di ampiezza $\gamma_{Ff}\,\gamma_{Mf}\Delta\sigma_i$; che provoca la rottura
N_C	Numero dei cicli (2 milioni) al quale si definisce il valore di riferimento della resistenza a fatica
N_D	Numero dei cicli (5 milioni) al quale si definisce il limite di fatica ad ampiezza costante
N_L	Numero dei cicli (100 milioni) al quale si definisce il limite per i calcoli a fatica
log	Logaritmo in base 10

9.2. Carico di fatica

(1) Il carico di fatica dovrà essere ricavato dall'Eurocodice per le azioni (EC1) o da altra norma relativa ai carichi (in preparazione).

(2) I carichi usati per la valutazione della resistenza a fatica dovranno essere valori caratteristici con una sufficiente e definita affidabilità, rappresentativi dei carichi di servizio per la vita di progetto richiesta alla struttura.

(3) Il carico di fatica può comprendere differenti eventi di carico che sono definiti attraverso complete sequenze dei carichi della struttura, ciascuna caratterizzata dalla loro relativa frequenza di ricorrenza, come pure dalla loro intensità e posizione geometrica.

(4) Gli effetti dinamici dovranno essere considerati quando la risposta della struttura contribuisce a modificare lo spettro di progetto.

(5) In assenza di informazioni più accurate, possono essere impiegati i coefficienti di amplificazione dinamica usati per lo stato limite statico.

(6) Gli effetti degli eventi di carico dovranno essere rappresentanti degli andamenti delle tensioni nel tempo: vedere 9.1.5(5).

P(7) I modelli di carico usati per la valutazione della resistenza a fatica di certe strutture come ponti e gru devono tenere in considerazione possibili cambiamenti delle condizioni di servizio, quali la crescita del traffico o i cambiamenti nell'entità dei carichi.

P(8) Tali futuri cambiamenti dovranno anche essere tenuti in debito conto quando sia necessario basare la valutazione della resistenza a fatica su registrazioni di andamenti temporali delle tensioni.

P(9) Calcoli di progetto semplificati possono essere basati su un carico di fatica equivalente, che rappresenti gli effetti della fatica dello spettro completo degli eventi di carico.

P(10) Il carico di fatica equivalente può variare con le dimensioni e la posizione dell'elemento strutturale.

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.

P(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.

Nota – L'ispezione in servizio non è una prescrizione dell'Eurocodice 3 parte 1 e, se richiesta, deve essere oggetto di un accordo.

P(3) In qualsiasi circostanza non è tollerabile la possibilità di collasso globale senza che si abbiano condizioni di pre-allarme.

P(4) Le difficoltà di accesso per ispezione o riparazione possono essere tali da rendere impraticabili l'individuazione o la riparazione delle cricche. Il cliente deve essere reso consapevole di ciò in modo che possano essere presi i provvedimenti per l'esecuzione delle ispezioni.

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.

(2) Il coefficiente parziale di sicurezza γ_{Ff} tiene conto delle incertezze nello stimare:
- i livelli di carico applicati;
- la conversione di questi carichi in tensioni e variazioni di tensioni;
- l'ampiezza del ciclo di tensione equivalente dedotta dallo spettro di progetto;
- la vita di progetto della struttura e l'evoluzione del carico di fatica durante detta vita.

P(3) Il carico di fatica dato nell'Eurocodice per le azioni (EC1) prevede già un valore appropriato del coefficiente parziale di sicurezza γ_{Ff}.

P(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 $\gamma_{Ff} = |\underline{1,0}|$

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}.

(2) il coefficiente γ_{Mf} tiene conto delle incertezze degli effetti dovuti a:
- le dimensioni dell'elemento;
- le dimensioni, forma e vicinanza delle discontinuità;
- le concentrazioni locali di sforzi dovute alle irregolarità delle saldature;
- la variabilità dei processi di saldatura e degli effetti metallurgici.

9.3.4. Valori raccomandati di γ_{Mf}

(1) I valori raccomandati forniti in questo punto presuppongono che siano applicate procedure di controllo qualità per assicurare che la fabbricazione dei dettagli costruttivi corrisponda ai relativi requisiti di qualità per le strutture soggette a fatica come definito nella norma di riferimento n. 9: vedere l'appendice *B*.

(2) In relazione alle conseguenze del cedimento, possono presentarsi due possibili situazioni, come di seguito indicato:
- componenti strutturali non critici ("fail-safe"), con ridotti effetti di collasso, tali che il cedimento locale di un componente non produce il collasso della struttura;
- componenti strutturali critici ("non fail-safe"), dove il cedimento locale di un componente porta rapidamente al collasso della struttura.

P(3) I valori raccomandati del coefficiente parziale di sicurezza γ_{Mf} sono indicati nel prospetto 9.3.1. Questi valori devono essere applicati alla resistenza a fatica.

P(4) Qualora valori di γ_{Ff} diversi da $|\underline{1,0}|$ siano applicati ai carichi di fatica, i valori di γ_{Mf} possono essere opportunamente variati.

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	$\|\underline{1,00}\|$	$\|\underline{1,25}\|$
Ispezioni periodiche e manutenzione[*)] Scarsa accessibilità	$\|\underline{1,15}\|$	$\|\underline{1,35}\|$
[*)] Vedere 9.3.1(2) riguardante l'ispezione.		

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 dì variazione delle tensioni geometriche.

(2) Quando si determina la tensione presente in un elemento, dovranno essere tenute in considerazione le tensioni derivanti dall'eccentricità del giunto e dalle deformazioni imposte, le tensioni secondarie dovute alla rigidezza del giunto, la ridistribuzione delle tensioni causata dall'instabilità e dalla diffusione per taglio del carico ("shear lag") e le forze per effetto leva (vedere il punto 6).

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.

(3) Le tensioni σ_w e τ_w possono essere determinate dividendo la relativa componente della forza trasmessa per unità di lunghezza per l'altezza di gola a.

(4) In alternativa σ_w e τ_w possono essere ottenute usando il metodo indicato nell'appendice *M* e prendendo:

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_\perp^2 + \tau_\perp^2} \qquad \text{e} \qquad \tau_w = \tau_{//} \qquad [9.4]$$

9.4.4. Spettro di progetto del campo di variazione delle tensioni

(1) La variazione nel tempo della tensione dovuta alla applicazione dei carichi dovrà essere ridotta ad uno spettro di campi di variazione delle tensioni impiegando un metodo di comprovata validità per il conteggio dei cicli.

(2) Per un particolare dettaglio, l'insieme di tutti gli spettri di $\Delta\sigma$ causati da tutte le condizioni di carico dovrà essere composto per produrre lo spettro dei $\Delta\sigma$ di progetto da usarsi per la valutazione della resistenza a fatica.

(3) Lo spettro di progetto di un tipico dettaglio o elemento strutturale può essere dedotto dall'andamento temporale delle tensioni ottenuto da prove appropriate o da valutazioni numeriche basate sulla teoria dell'elasticità.

(4) Per molte applicazioni i metodi di conteggio dei cicli detti del flusso ("Rainflow") o del serbatoio ("Reservoir") sono idonei per essere impiegati congiuntamente alla sommatoria di Palmgren-Miner.

(5) Componenti diversi di una struttura possono avere diversi spettri di campi di variazioni delle tensioni.

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; oppure:
- in termini di $\Delta\sigma_E$ comparandola con la resistenza a fatica per un numero assegnato di cicli di tensione.

(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 9.5.2.

(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

(5) Qualora un dettaglio costruttivo differisca da un dettaglio definito nei prospetti di classificazione dei dettagli per la presenza nello stesso dettaglio di una discontinuità geometrica, dovrà essere usato il campo di variazione delle tensioni geometriche (vedere 9.5.3).

(6) Per i dettagli costruttivi non inclusi nei prospetti di classificazione dei dettagli, si dovrà usare il campo di variazione delle tensioni geometriche (vedere 9.5.3).

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:

$$\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma \le \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{Mf}} \qquad [9.5]$$

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);
b) ampiezza costante equivalente: vedere (7).

(3) Una valutazione del danneggiamento cumulativo può essere svolta usando:

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

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 bilogaritmica, 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 del 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.

P(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.

P(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 $\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i \ge \dfrac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}$:

$$N_i = 5\times10^6\left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i}\right]^3 \qquad [9.7]$$

– se $\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}} > \gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i \geq \frac{\Delta\sigma_L}{\gamma_{Mf}}$:

$$N_i = 5\times10^6\left[\frac{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i}\right]^5 \qquad [9.8]$$

– se $\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_i < \frac{\Delta\sigma_L}{\gamma_{Mf}}$:

$$N_i = \infty \qquad [9.9]$$

(7) Una valutazione della resistenza a fatica equivalente ad ampiezza costante può essere svolta verificando il criterio:

$$\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_E \leq \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{Mf}} \qquad [9.10]$$

dove:

$\Delta\sigma_E$ è il campo di variazione delle tensioni equivalente, ad ampiezza costante, che, per un assegnato numero di cicli, porta allo stesso danneggiamento cumulativo dello spettro di progetto;

$\Delta\sigma_R$ è la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi (vedere 9.8), per lo stesso numero di cicli usato per determinare $\Delta\sigma_E$.

P(8) Può essere adottata una ipotesi conservativa nella valutazione di $\Delta\sigma_E$ e $\Delta\sigma_R$ usando una curva di resistenza a fatica di pendenza $m = 3$.

P(9) Più in generale $\Delta\sigma_E$ può essere calcolata tenendo in considerazione la curva di resistenza a fatica a doppia pendenza ed il limite per i calcoli a fatica indicati nella fig. 9.1.2.

P(10) In alternativa, una valutazione della resistenza a fatica equivalente ad ampiezza costante può essere svolta verificando lo specifico criterio:

$$\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_{E.2} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} \qquad [9.11]$$

dove:

$\Delta\sigma_{E.2}$ è il campo di variazione delle tensioni equivalente ad ampiezza costante per 2 milioni di cicli,

$\Delta\sigma_C$ è il valore di riferimento della resistenza a fatica a 2 milioni di cicli per la pertinente categoria dei dettagli costruttivi (vedere 9.8).

9.5.2.3. Campo di variazione delle tensioni tangenziali

(1) Il campo di variazione delle tensioni tangenziali nominali, $\Delta\tau$ dovrà essere trattato in modo simile al campo di variazione delle tensioni normali nominali, ma usando una singola costante di pendenza $m = 5$.

P(2) Per tensioni tangenziali N_i può essere calcolato come segue:

– se $\gamma_{Ff}\ \Delta\tau_i \geq \frac{\Delta\tau_L}{\gamma_{Mf}}$:

$$N_i = 2\times10^6\left[\frac{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Mf}\ \Delta\tau_i}\right]^5 \qquad [9.12]$$

– se $\gamma_{Ff}\ \Delta\tau_i < \frac{\Delta\tau_L}{\gamma_{Mf}}$:

$$N_i = \infty \qquad [9.13]$$

9.5.2.4. Combinazione di campi di variazioni di tensioni normali e tangenziali

(1) Nel caso di una combinazione di tensioni normali e tangenziali, la valutazione della resistenza a fatica dovrà considerare i loro effetti combinati.

(2) Se $\Delta\tau_E$ è minore del 15% di $\Delta\sigma_E$, gli effetti di $\Delta\tau_E$ possono essere trascurati.

(3) In posizioni diverse dalle sezioni di gola delle saldature, se le tensioni normali e tangenziali indotte dallo stesso evento di carico variano simultaneamente, o se il piano della massima tensione principale non cambia significativamente nel corso dell'evento di carico, allora può essere usata la massima variazione della tensione principale.

(4) Se, nella stessa posizione, le tensioni normali e tangenziali variano indipendentemente, le componenti di danneggiamento per le tensioni normali e tangenziali dovranno essere determinate separatamente impiegando la regola di Palmgren-Miner, e successivamente combinate usando il seguente criterio:

$$D_{d.\sigma} + D_{d.\tau} \le 1 \qquad [9.14]$$

nel quale:

$D_{d.\sigma} = \sum \frac{n_i}{N_i}$ per i campi di variazione delle tensioni normali $\Delta\sigma_i$;

$D_{d.\tau} = \sum \frac{n_i}{N_i}$ per i campi di variazione delle tensioni tangenziali $\Delta\tau_i$.

(5) Quando si usano i campi di variazione delle tensioni equivalenti ad ampiezza costante, questo criterio generalmente diventa:

$$\left[\frac{\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_E}{\Delta\sigma_R / \gamma_{Mf}}\right]^3 + \left[\frac{\gamma_{Ff}\ \Delta\tau_E}{\Delta\tau_R / \gamma_{Mf}}\right]^3 \le 1 \qquad [9.15]$$

P(6) In alternativa, una valutazione della resistenza può essere svolta usando $\Delta\sigma_E$ e $\Delta\tau_E$, ad ampiezza costante:

$$\left[\frac{\gamma_{Ff}\ \Delta\sigma_{E.2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}\right]^3 + \left[\frac{\gamma_{Ff}\ \Delta\tau_{E.2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}\right]^3 \le 1 \qquad [9.16]$$

(7) I campi di variazione delle tensioni nelle saldature dovranno essere determinate come specificato in 9.4.3. Le componenti di danno per le sollecitazioni normali e tangenziali dovranno essere determinate separatamente impiegando la regola di Palmgren-Miner, e successivamente combinate usando il seguente criterio:

$$D_{d.\sigma} + D_{d.\tau} \le 1 \qquad [9.17]$$

nel quale:

$D_{d.\sigma} = \sum \frac{n_i}{N_i}$ per i Δ di tensione normale σ_w, definita in 9.4.3;

$D_{d.\tau} = \sum \frac{n_i}{N_i}$ per i Δ di tensione tangenziale τ_w definita in 9.4.3.

9.5.3. Valutazioni della resistenza a fatica basate sui campi di variazione delle tensioni geometriche

(1) La tensione geometrica è la massima tensione principale nel metallo base adiacente all'attacco del cordone di saldatura prendendo in considerazione solo la geometria complessiva della giunzione, escludendo gli effetti delle concentrazioni locali di sforzi dovute alla geometria della saldatura ed alle discontinuità all'attacco del cordone di saldatura.

(2) Si dovrà trovare il massimo valore di Δ delle tensioni geometriche considerando varie posizioni all'attacco del cordone di saldatura intorno al giunto saldato o alla zona di concentrazione degli sforzi.

(3) Le tensioni geometriche possono essere determinate usando coefficienti di concentrazione degli sforzi ottenuti da formule parametriche all'interno del loro dominio di validità, da una analisi ad elementi finiti o da un modello sperimentale.

(4) Una valutazione della resistenza a fatica basata sui Δ delle tensioni geometriche dovrà essere trattata in modo simile alle valutazioni indicate in 9.5.2, ma sostituendo il Δ delle tensioni nominali con il Δ delle tensioni geometriche.

(5) La resistenza a fatica da usare nelle valutazioni basate su i Δ delle tensioni geometriche dovrà essere determinata facendo riferimento a quanto indicato in 9.6.3.

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 $\log \Delta\sigma_R - \log N$, 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:

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R \qquad [9.18]$$

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.

P(4) Le curve sono basate su indagini sperimentali rappresentative ed includono quindi gli effetti di:
- concentrazioni locali di tensione dovute alla geometria della saldatura;
- dimensione e forma delle discontinuità accettabili;
- direzione delle tensioni,
- tensioni residue;
- condizioni metallurgiche;
- in alcuni casi, i processi di saldatura ed i trattamenti migliorativi successivi alla saldatura.

(5) Quando dati sperimentali sono usati per stabilire la categoria di classificazione di un particolare dettaglio costruttivo, il valore $\Delta\sigma_R$ corrispondente al valore di N pari a 2 milioni di cicli, dovrà essere calcolato per una probabilità di sopravvivenza (per log M pari al 95% con un intervallo di confidenza pari al 75%, considerando la deviazione standard e la dimensione dei campione. Il numero dei punti ricavati dai dati di prova (non minore a 10) dovrà essere considerato nella analisi statistica.

(6) Dovrà essere opportunamente tenuto in considerazione il fatto che le tensioni residue sono di ridotta entità nei campioni in scala ridotta. Le curve di resistenza a fatica risultanti dovranno essere corrette per tenere in debito conto il maggior effetto delle tensioni residue nelle strutture a grandezza reale.

P(7) I livelli di discontinuità accettabili sono definiti nella norma di riferimento n. 9. vedere l'appendice *B*.

(8) Si forniscono definizioni separate delle curve di resistenza a fatica per:
- i dettagli classificati, per i quali si applica il campo di variazione delle tensioni nominali (vedere 9.6.2);
- i dettagli non classificati, per i quali si applica il campo di variazione delle tensioni geometriche (vedere 9.6.3).

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 fomite 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/mm^2) 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.

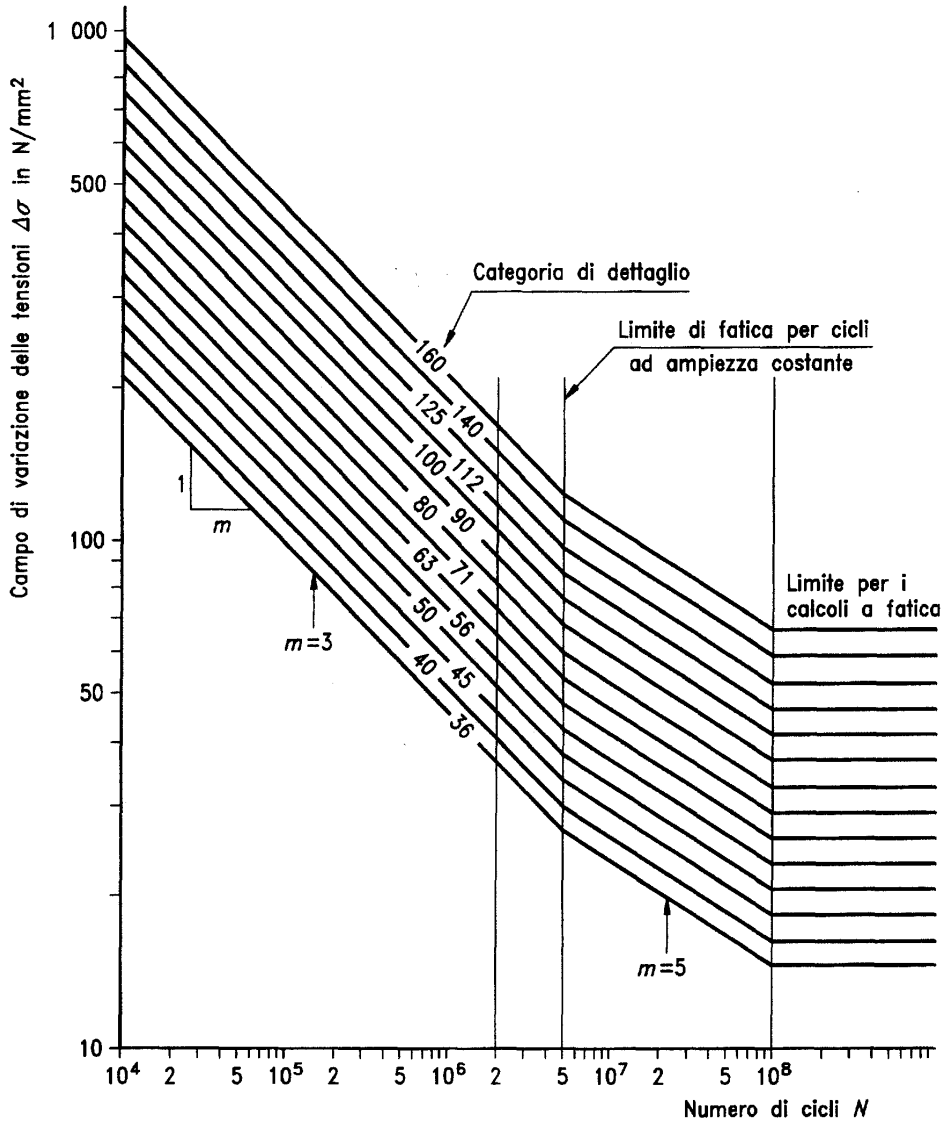


Fig. 9.6.1 - Curve della resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni normali

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

Categoria dei dettagli $\Delta\sigma_C$ (N/mm^2)	log a per $N < 10^8$		Campo di variazione delle tensioni al limite di fatica ad ampiezza costante ($N = 5 \times 10^6$) $\Delta\sigma_D$ (N/mm^2)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica ($N = 10^8$) $\Delta\sigma_L$ (N/mm^2)
	$N \le 5 \times 10^6$ ($m = 3$)	$N \ge 5 \times 10^6$ ($m = 5$)		
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

(6) Le curve di resistenza a fatica per le escursioni delle tensioni tangenziali nominali sono mostrate nella fig. 9.6.2. Esse hanno coefficiente angolare $m = 5$. Per queste curve non vi è limite di fatica ad ampiezza costante, ma il limite per i calcoli a fatica a 100 milioni di cicli si applica come per le escursioni delle tensioni normali nominali.

(7) I valori corrispondenti per il calcolo della resistenza a fatica sono dati nel prospetto 9.6.2.

(8) La categoria dei dettagli 100 si riferisce al metallo base, a saldature di testa a completa penetrazione ed ai bulloni in accoppiamento di precisione che lavorano a taglio.

(9) La categoria dei dettagli 80 si riferisce a saldature a cordoni d'angolo ed a saldature di testa a parziale penetrazione che lavorano a taglio.

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

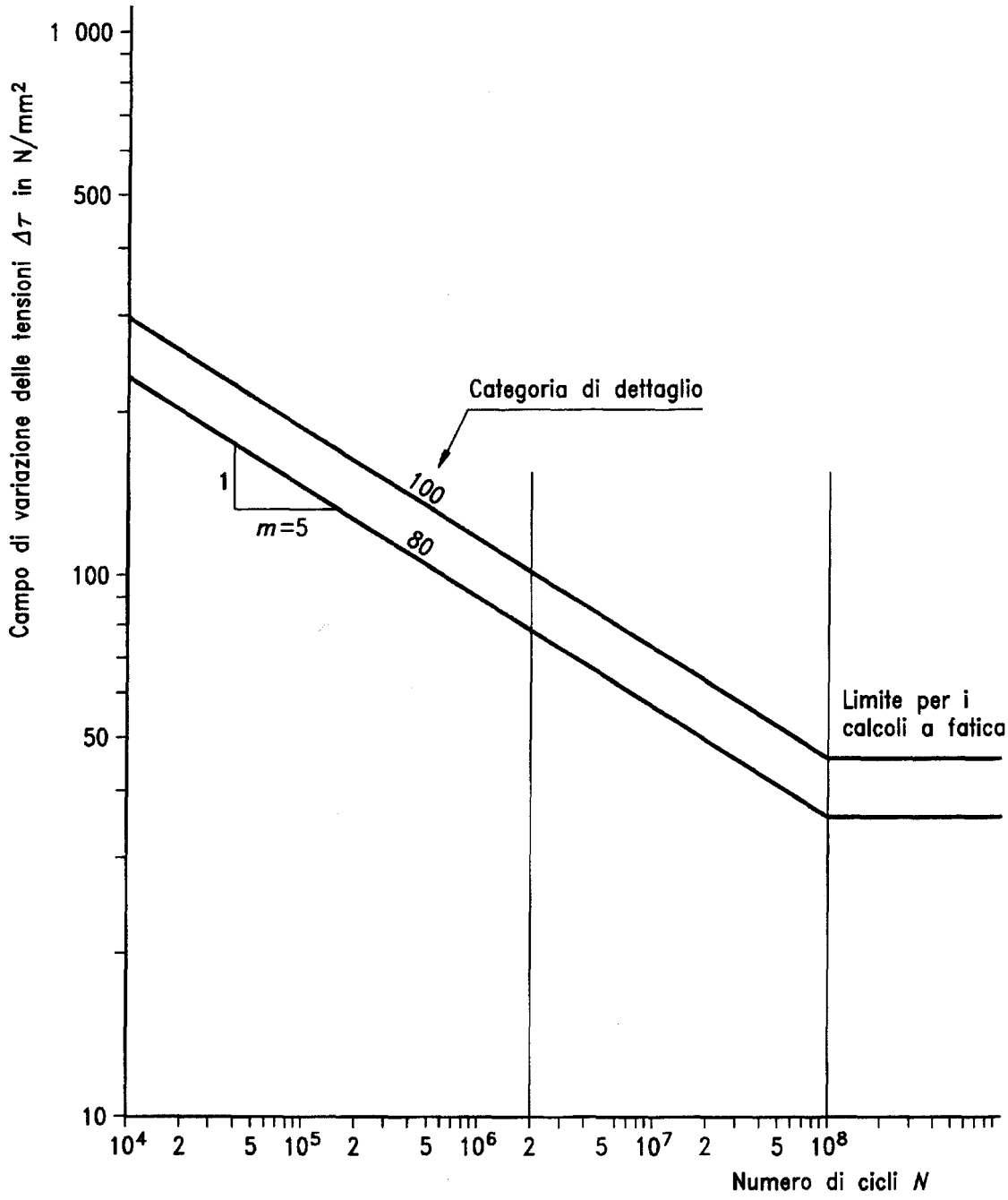


Fig. 9.6.2 - Curve della resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni tangenziali

9.6.2.2. Curve di resistenza a fatica per le sezioni cave

(1) Le curve di resistenza a fatica da usare in presenza dei dettagli costruttivi di sezioni cave mostrati nel prospetto 9.8.6 sono quelle fornite nella fig. 9.6.1. Esse hanno due tratti a diversa pendenza con coefficienti angolari $m = 3$ e $m = 5$.

(2) Le curve di resistenza a fatica da usare in presenza dei dettagli di giunzioni di travi reticolari in profilati cavi mostrati nel prospetto 9.8.7 sono fornite nella fig. 9.6.3. Esse sono rette con coefficiente angolare $m = 5$.

(3) I valori corrispondenti per i calcoli numerici della resistenza a fatica sono dati nel prospetto 9.6.3.

(4) L'altezza di gola di una saldatura con cordoni d'angolo non dovrà essere inferiore allo spessore dell'elemento cavo che essa collega.

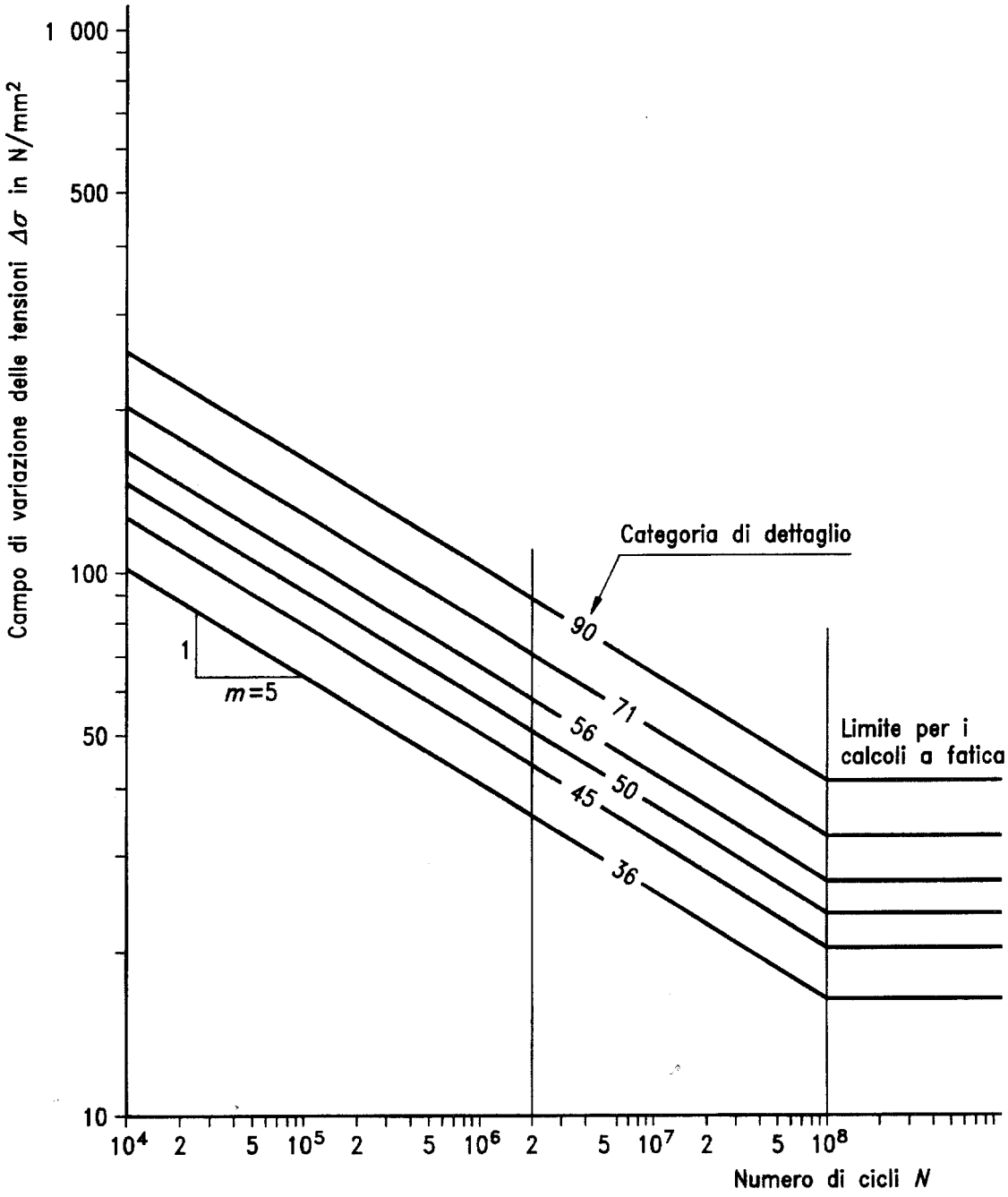


Fig. 9.6.3 - Curve della resistenza a fatica per giunzioni di travi reticolari tubolari

Prospetto 9.6.3 - Valori numerici per le curve di resistenza a fatica per elementi cavi

Categoria dei dettagli $\Delta\sigma_C$ (N/mm^2)	log a per $N < 10^8$ ($m = 5$)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica ($N = 10^8$) $\Delta\sigma_L$ (N/mm^2)
90	16,051	41
71	15,551	32
56	15,051	26
50	14,801	23
45	14,551	20
36	14,051	16

(5) Le azioni nelle membrature possono essere determinate trascurando l'effetto delle eccentricità e della rigidezza della giunzione, assumendo collegamenti incernierati, purché vengano considerati gli effetti dei momenti flettenti secondari per valutare i Δ delle tensioni.

(6) In assenza di una rigorosa modellazione della giunzione e verifica degli sforzi, gli effetti dei momenti flettenti secondari possono essere presi in considerazione moltiplicando i Δ delle tensioni dovute alle azioni assiali negli elementi per appropriati coefficienti come segue:
- per giunzioni in travi reticolari composte da profilati cavi a sezione circolare: vedere prospetto 9.6.4;
- per giunzioni in travi reticolari composte da profilati cavi a sezione rettangolare: vedere prospetto 9.6.5.

(7) Per chiarimenti inerenti la terminologia usata nei prospetti 9.6.4 e 9.6.5: vedere prospetto 9.8.7.

Prospetto 9.6.4 - Coefficienti per tenere in conto i momenti flettenti secondari nelle giunzioni di travi reticolari composte da profilati cavi a sezione circolare

Tipo di giunzione		Correnti	Elementi verticali	Diagonali
Giunzione con distacco	Tipo *K*	1,5	1,0	1,3
	Tipo *N*	1,5	1,8	1,4
Giunzione con sovrapposizione	Tipo *K*	1,5	1,0	1,2
	Tipo *N*	1,5	1,65	1,25

Prospetto 9.6.5 - Coefficienti per tenere in conto i momenti flettenti secondari nelle giunzioni di travi reticolari composte da profilati cavi a sezione rettangolare

Tipo di giunzione		Correnti	Elementi verticali	Diagonali
Giunzione con distacco	Tipo *K*	1,5	1,0	1,5
	Tipo *N*	1,5	2,2	1,6
Giunzione con sovrapposizione	Tipo *K*	1,5	1,0	1,3
	Tipo *N*	1,5	2,0	1,4

9.6.3. Curve di resistenza a fatica per dettagli non classificati

(1) La valutazione della resistenza a fatica di tutti i dettagli costruttivi non inclusi nei prospetti da 9.8.1 a 9.8.7 e di tutti gli elementi cavi e i giunti tubolari aventi spessore maggiore di 12,5 mm dovrà essere svolta usando la procedura basata sui campi di variazione delle tensioni geometriche indicata in 9.5.3.

(2) Le curve di resistenza a fatica da impiegarsi per la valutazione della resistenza a fatica basata sui Δ delle tensioni geometriche dovranno essere le seguenti:
a) Per saldature di testa a completa penetrazione:
   - categoria 90, nella fig. 9.6.1, quando sono soddisfatti i criteri di accettabilità relativi sia al profilo dei giunti sia ai difetti di saldatura;
   - categoria 71, nella fig. 9.6.1, quando sono soddisfatti solo i criteri di accettabilità dei difetti di saldatura.

b) Per saldature di testa a parziale penetrazione o con cordoni d'angolo caricati direttamente:
   - categoria 36, nella fig. 9.6.1, oppure in alternativa una curva di resistenza a fatica ottenuta da risultati di prove a fatica adeguate.

(3) Per i campi di variazione delle tensioni nelle saldature, vedere 9.4.3.

9.7. Fattori che influenzano la resistenza a fatica

9.7.1. Campi di variazione delle tensioni in dettagli costruttivi non saldati o sottoposti a trattamento termico di distensione

(1) Nei dettagli costruttivi non saldati o nei dettagli costruttivi saldati sottoposti a trattamento termico di distensione, il Δ efficace delle tensioni da usare nella valutazione della resistenza a fatica dovrà essere determinato sommando la componente di trazione del Δ di tensione ed il 60% della componente di compressione del Δ di tensione.

9.7.2. Influenza dello spessore

(1) La resistenza a fatica dipende dallo spessore del metallo base nel quale può comparire e propagarsi una potenziale cricca.

(2) La variazione della resistenza a fatica con lo spessore dovrà essere considerata quando lo spessore del materiale è maggiore di 25 mm riducendo la resistenza a fatica per mezzo dell'equazione:

$$\Delta\sigma_{R,t} = \Delta\sigma_R \left(\frac{25}{t} \right)^{0,25} \qquad [9.19]$$

con $t > 25$ mm.

(3) Quando lo spessore del materiale del dettaglio costruttivo è minore di 25 mm, la resistenza a fatica dovrà essere presa pari a quella per lo spessore di 25 mm.

(4) Questa riduzione in funzione dello spessore dovrà essere applicata soltanto ai dettagli costruttivi aventi saldature trasversali rispetto alla direzione delle tensioni normali.

(5) Qualora la categoria del dettaglio costruttivo nei prospetti di classificazione sia già variabile con lo spessore, le correzioni per lo spessore precedentemente descritte non dovranno essere applicate.

9.7.3. Curve modificate della resistenza a fatica

(1) I dati sperimentali relativi a certi dettagli costruttivi possono non corrispondere ad alcuna delle curve di resistenza a fatica. Per evitare condizioni non conservative, per tali dettagli costruttivi si adotta la categoria di resistenza a fatica immediatamente inferiore rispetto a quella che sarebbe risultata dalla resistenza sperimentale a 2×10^6 cicli.

(2) Questi dettagli costruttivi sono identificati con un asterisco nei prospetti dal 9.8.1 al 9.8.5. La classificazione di questi dettagli può essere aumentata nel prospetto 9.6.1 di una categoria, purché venga adottata una curva di resistenza a fatica nella quale il limite di fatica ad ampiezza costante sia posto pari alla resistenza a fatica a 10^7 cicli per $m = 3$: vedere fig. 9.7.1.

(3) I valori numerici necessari per calcolare un valore modificato della resistenza a fatica sono dati nel prospetto 9.7.1.

Prospetto 9.7.1 - Valori numerici per le curve modificate della resistenza a fatica per campi di variazione delle tensioni normali

Categoria dei dettagli	log a per $N < 10^8$		Campo di variazione delle tensioni al limite di fatica ad ampiezza costante ($N = 10^7$)	Campo di variazione delle tensioni al limite per i calcoli a fatica ($N = 10^8$)
(nominale)	$N \le 10^7$ ($m = 3$)	$N \ge 10^7$ ($m = 5$)	$\Delta\sigma_D$ (N/mm^2)	$\Delta\sigma_L$ (N/mm^2)
50*	11,551	14,585	33	21
45*	11,401	14,335	29	18
36*	11,101	13,835	23	15

9.8. Prospetti di classificazione dei dettagli costruttivi

(1) La classificazione dei dettagli costruttivi elencati nei prospetti da 9.8.1 a 9.8.7 è stata stabilita sulla base delle tensioni lungo la direzione indicata dalla freccia, ipotizzando la presenza potenziale di cricche sulla superficie del metallo base; nel caso di cricche nella sezione di gola della saldatura, si fa riferimento alla tensione calcolata nella sezione di gola.

(2) Le sollecitazioni dovranno essere calcolate usando la sezione lorda o netta, a seconda dei casi dell'elemento caricato.

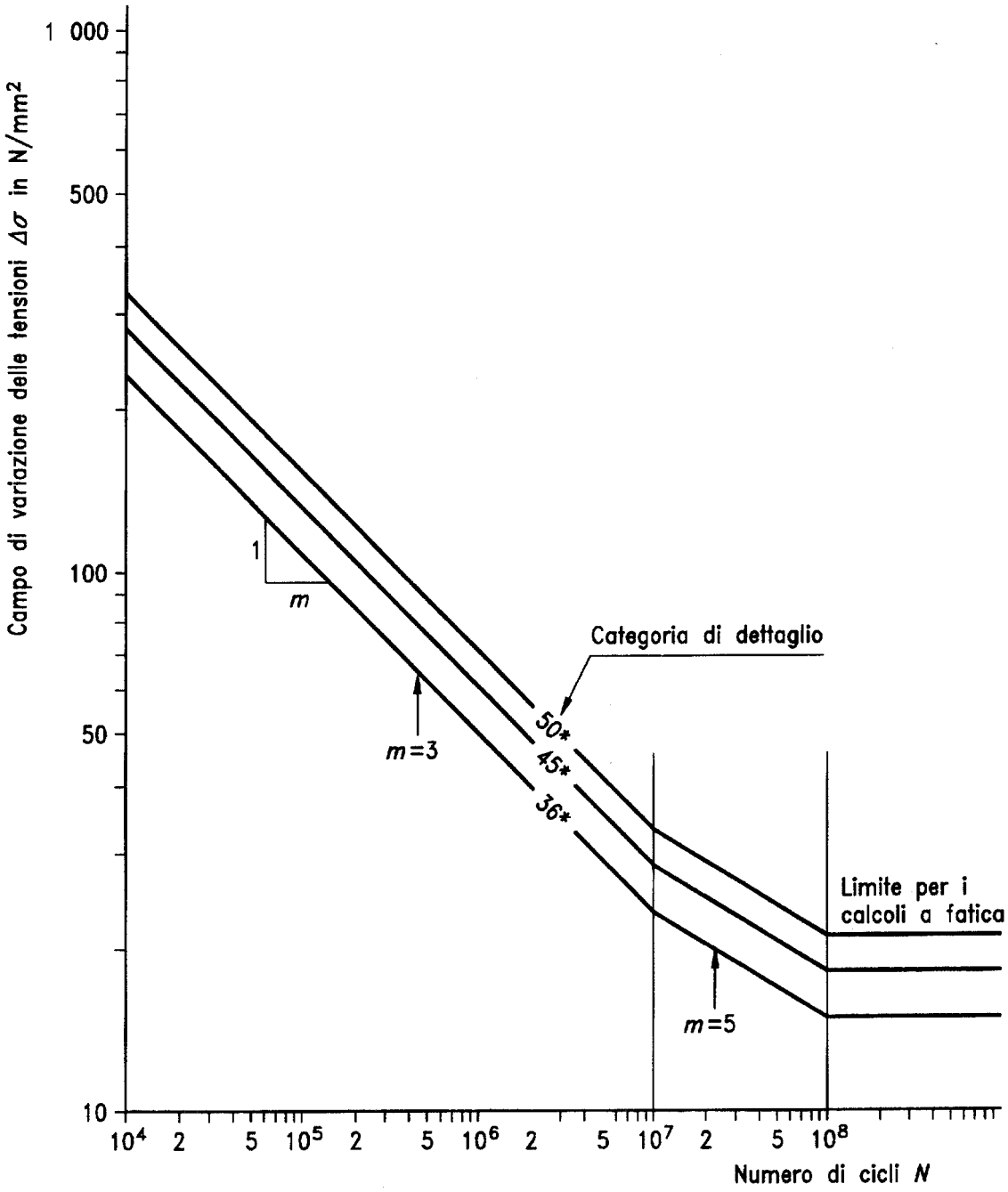
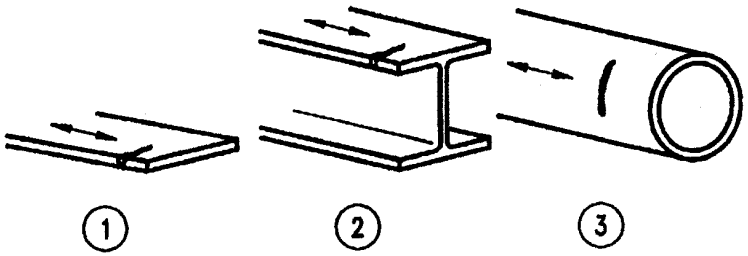
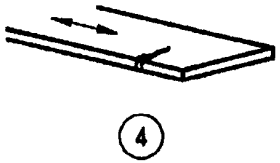
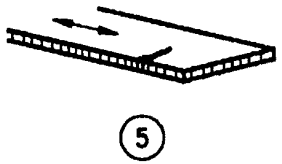
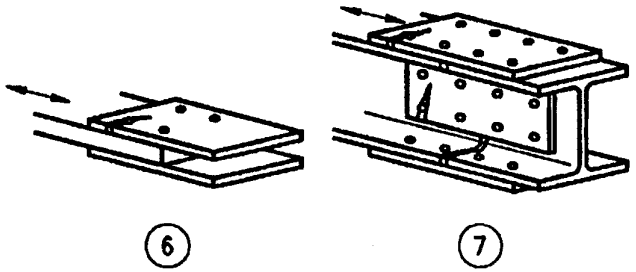
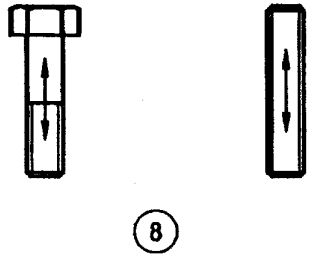
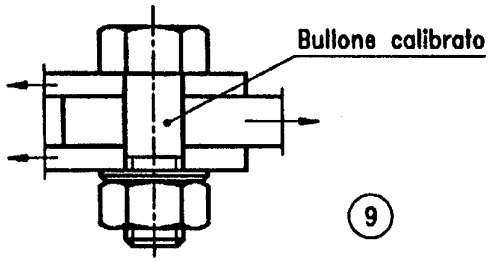


Fig. 9.7.1 - Curva modificata della resistenza a fatica

Prospetto 9.8.1 - Particolari non saldati - Foglio 1 di 2

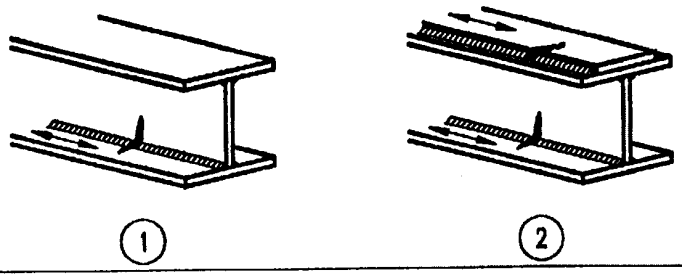
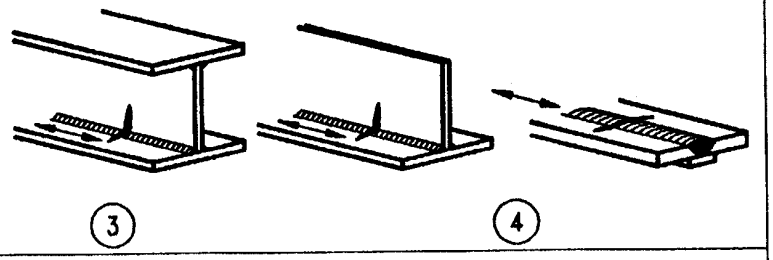
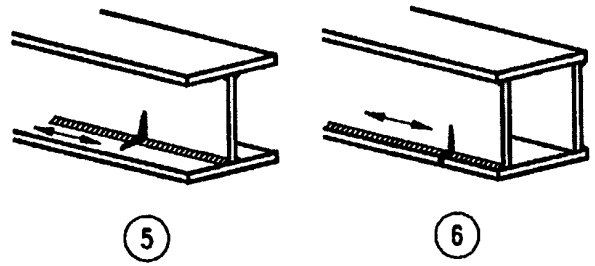
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
160		<u>Prodotti laminati ed estrusi</u> 1 - Lamiere 2 - Profilati laminati 3 - Profili cavi senza saldatura (vedere prospetti 9.8.6 e 9.8.7)	Da 1 a 3: - Spigoli vivi, difetti superficiali e di laminazione da eliminare mediante molatura
140		<u>Lamiere tagliate meccanicamente o all'ossitaglio</u> 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	5 - Successiva rifinitura per rimuovere tutte le discontinuità dai bordi 4 e 5: - Assenza di riparazioni 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

Prospetto 9.8.1 - Particolari non saldati - Foglio 2 di 2

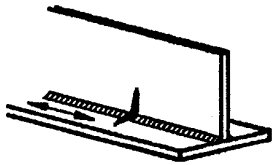
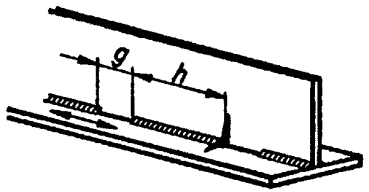
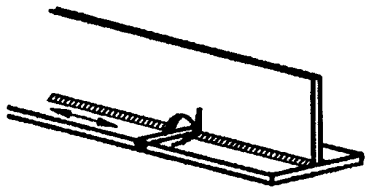
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
112		<u>Collegamenti bullonati</u> 6 - I collegamenti senza doppio coprigiunto devono essere evitati o altrimenti devono essere presi in considerazione gli effetti delle eccentricità nel calcolo delle tensioni 7 - Giunzioni di travi o piastre di coprigiunto bullonate	6 e 7: - Tensioni da calcolarsi nella sezione lorda per i collegamenti ad attrito o nella sezione netta per tutti gli altri collegamenti
36 *)		8 - Bulloni ed aste filettate a trazione. Per i bulloni precaricati, l'ampiezza delle tensioni nel bullone dipende dal livello del precarico e dalla geometria del collegamento	8 - Tensioni di trazione da calcolarsi usando l'area resistente a trazione del bullone
100 $m=5$		<u>Bulloni sollecitati a taglio (con sezione di taglio singola o doppia)</u> 9 - Bulloni calibrati lavoranti a taglio realizzati con acciaio ad alta resistenza come indicato al punto 3 (bulloni di classe 8.8 e 10.9)	9 - Tensione di taglio di progetto valutata usando l'area del gambo del bullone - Solo i bulloni calibrati sollecitati a taglio rientrano in questa categoria di particolari

*) vedere 9.7.3.

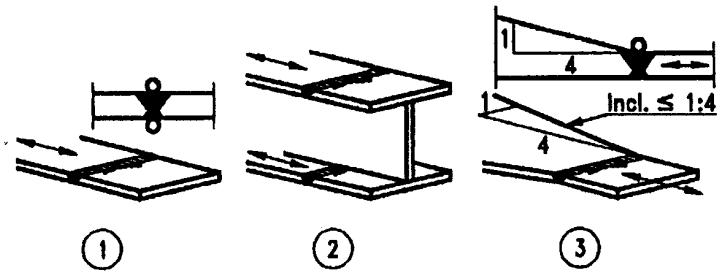
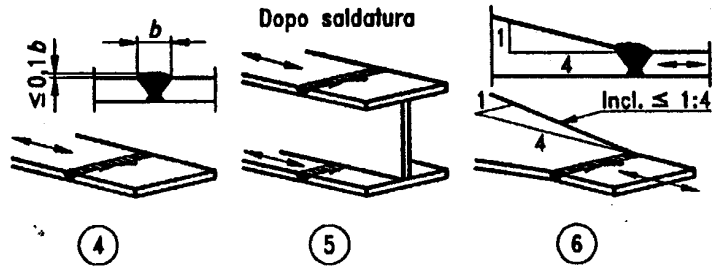
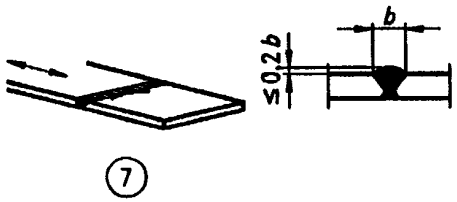
Prospetto 9.8.2 - Travi composte saldate - Foglio 1 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
125		<u>Saldature longitudinali continue</u> 1 - Saldature automatiche di testa eseguite da entrambi i lati. Se un opportuno controllo evidenzia che le saldature longitudinali sono esenti da difetti significativi, può essere usata la categoria 140	1 e 2: - Non sono permesse interruzioni/riprese ad eccezione del caso in cui la riparazione è eseguita da un tecnico qualificato e sia effettuato un controllo per verificare la corretta esecuzione della riparazione
112		2 - Saldature automatiche a cordoni d'angolo. Le estremità delle piastre coprigiunto dovranno essere verificate usando il particolare 5 nel prospetto 9.8.5 3 - Saldature automatiche a cordoni d'angolo o di testa eseguite da entrambi i lati, ma contenenti interruzioni/punti di ripresa	
100		4 - Saldature automatiche di testa eseguite da un solo lato, con piatto di sostegno, ma senza interruzioni/punti di ripresa 5 - Saldature manuali a cordoni d'angolo o di testa 6 - Saldature manuali o automatiche di testa eseguite da un solo lato, in particolare per le travi scatolate	4 - Quando questo particolare contiene interruzioni/punti di ripresa, usare la categoria 100 6 - È essenziale un buon contatto fra anima e piattabanda. Preparare il bordo dell'anima in modo da renderlo idoneo per una regolare penetrazione alla radice senza rottura

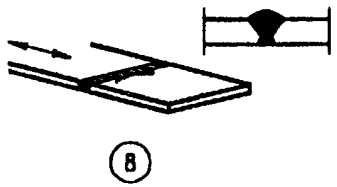
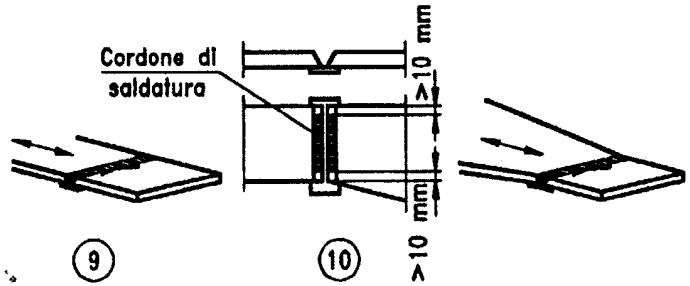
Prospetto 9.8.2 - Travi composte saldate - Foglio 2 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
100	 (7)	7 - Riparazioni di saldature automatiche o manuali a cordoni d'angolo o di testa	7 - Metodi migliorativi adeguatamente verificati possono ripristinare la categoria originaria
80	 (8)	Saldature longitudinali a tratti 8 - Saldature di imbastitura o punti di saldatura non ricoperti successivamente da una saldatura continua	8 - Saldatura a cordoni d'angolo a tratti con un rapporto fra tratti liberi e saldati $g/h \leq 2,5$
71	 (9)	9 - Estremità di saldature continue in corrispondenza di fori di scarico	9 - Lunette di scarico da non riempire con metallo di saldatura

Prospetto 9.8.3 - Saldature di testa trasversali - Foglio 1 di 2

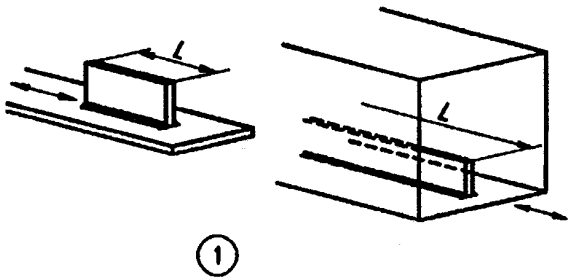
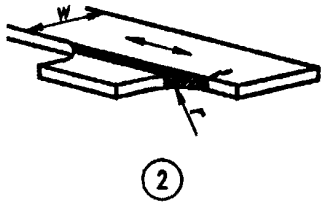
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
112		<u>Senza piatto di sostegno</u> 1 - Giunti trasversali in lamiera e profilati laminati 2 - Giunti di piattabande in travi composte prima dell'assemblaggio 3 - Giunti trasversali in piastre o piatti rastremati nella larghezza o nello spessore quando la pendenza non è maggiore di 1:4	1 e 2: - Ai particolari 1 e 2 può essere attribuita la categoria 125 quando si ottiene una saldatura di alta qualità e si verifichi il soddisfacimento delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 1, 2 e 3: - Tutti i sovrametalli di saldatura rasati fino alla superficie della piastra in direzione parallela alla freccia
90		4 - Giunti trasversali in lamiera 5 - Giunti trasversali in profilati laminati o travi composte saldate 6 - Giunti trasversali in piastre o piatti rastremati nella larghezza o nello spessore quando la pendenza non è maggiore di 1:4	4, 5 e 6: - L'altezza del sovrametallo non deve essere maggiore del 10% della larghezza della saldatura, con transizione graduale alla superficie della piastra - Saldature eseguite in piano
80		7 - Giunti trasversali in lamiera profilati laminati o travi composte	7 - L'altezza del sovrametallo non deve essere maggiore del 20% della larghezza della saldatura Da 1 a 7: - Usare talloni di estremità e rimuoverli successivamente, asportare il sovrametallo di saldatura dal bordo delle lamiere nella direzione della tensione - Saldature eseguite da due lati

Prospetto 9.8.3 - Saldature di testa trasversali - Foglio 2 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
36 *)	 8	8 - Saldature di testa eseguite da un solo lato	8 - Senza piatto di sostegno
71	 9 10	Con piatto di sostegno 9 - Giunto trasversale 10 - Saldatura trasversale di testa, rastremata nella larghezza o nello spessore, quando la pendenza non è maggiore di 1:4	9 e 10: - Il cordone di saldatura che fissa il piatto di sostegno deve terminare ad una distanza maggiore di 10 mm dai bordi della piastra sollecitata
50	11	11 - Saldatura trasversale di testa su un piatto di sostegno permanente	11 - Qualora i cordoni di saldatura del piatto di sostegno finiscano ad una distanza minore di 10 mm dal bordo della piastra, o quando non può essere assicurato un buon accoppiamento

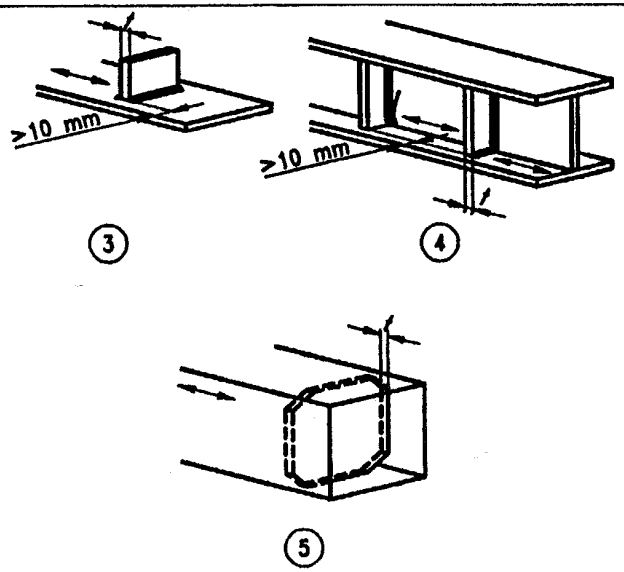
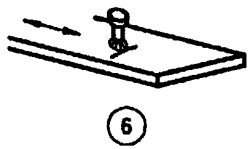
*) vedere 9.7.3.

Prospetto 9.8.4 - Collegamenti saldati con saldature non soggette e carichi - Foglio 1 di 2

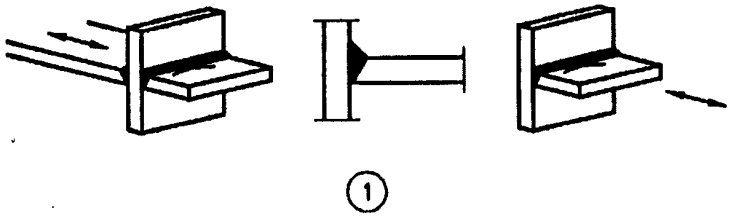
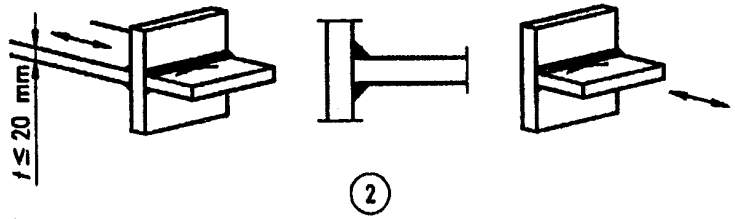
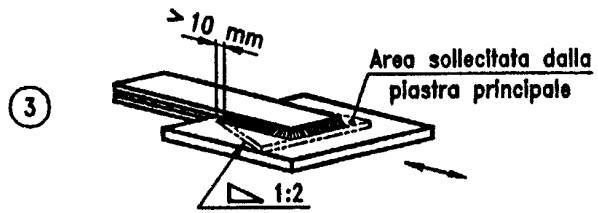
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi		Descrizione	Requisiti
80	$L \le 50$ mm		<u>Collegamenti longitudinali</u> 1 - La categoria del particolare elemento varia in funzione della lunghezza del collegamento L	
71	$50 < L \le 100$ mm			
50 *)	$L > 100$ mm			
90	$\frac{1}{3} \le \frac{r}{w}$ $r > 150$ mm		2 - Fazzoletto saldato al bordo di una lamiera o della piattabanda di una trave	2 - Il piatto laterale sarà realizzato, mediante taglio meccanico o termico, con un raggio r che consenta un raccordo dolce con la lamiera, prima delle operazioni di saldatura. Dopo l'esecuzione del giunto questo verrà molato nella direzione della freccia
71	$\frac{1}{6} \le \frac{r}{w} < \frac{1}{3}$			
45 *)	$\frac{r}{w} < \frac{1}{6}$			

*) vedere 9.7.3.

Prospetto 9.8.4 - Collegamenti saldati con saldature non soggette a carichi - Foglio 2 di 2

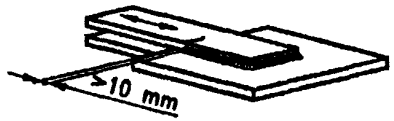
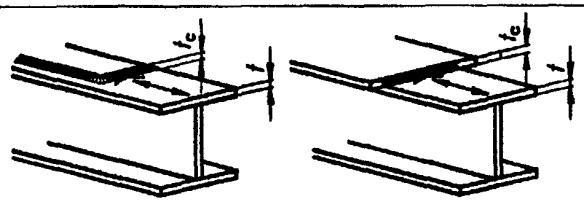
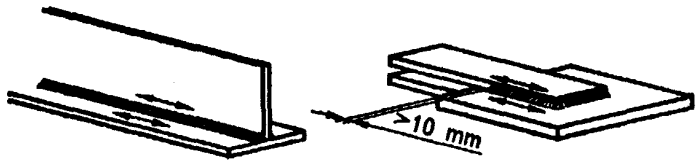
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi		Descrizione	Requisiti
80	$t \leq 12$ mm		Collegamenti trasversali 3 - Saldature che terminano a più di 10 mm dal bordo della lamiera 4 - Irrigidimenti verticali saldati ad una trave o ad una trave composta 5 - Diaframmi di travi scatolate saldati alla piatta-banda o all'anima	4 - L'ampiezza del ciclo di tensioni deve essere calcolato usando le tensioni principali se l'irri-gidimento termina nell'anima
71	$t > 12$ mm			
80			6 - L'effetto di pioli saldati sul materiale base	

Prospetto 9.8.5 - Collegamenti saldati con saldature soggette a carichi - Foglio 1 di 3

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
71		<u>Giunti a croce</u> 1 - Saldatura di testa a completa penetrazione	1 - Ispezionata e trovata esente da discontinuità al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 2 - Sono richieste due valutazioni della resistenza a fatica. La prima, per le cricche alla radice, è valutata con quanto riportato in 9.4.3 considerando la categoria 36* per σ_w e la categoria 80 per τ_w. La seconda, per le cricche all'attacco del cordone, è valutata determinando l'ampiezza delle tensioni nelle lamiere che reggono i carichi, categoria 71
36 *)		2 - Giunti con cordoni d'angolo, a parziale penetrazione e a parziale penetrazione equivalente alla piena penetrazione come definito in fig. 6.6.9(a)	1 e 2: - Il disallineamento delle piastre che reggono i carichi non deve eccedere il 15% dello spessore della lamiera intermedia
63		<u>Giunti a sovrapposizione saldati</u> 3 - Giunti a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo	3 - La sollecitazione nell'elemento principale deve essere calcolata sulla base dell'area mostrata nello schizzo

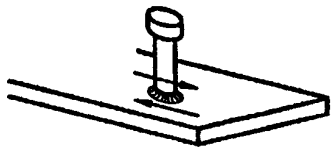
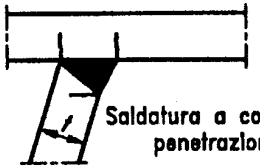
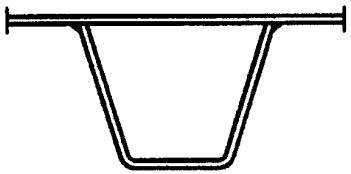
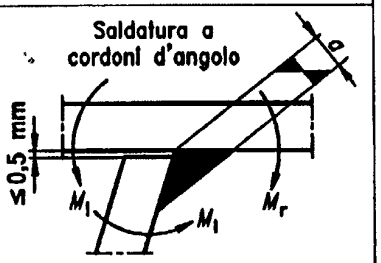
*) vedere 9.7.3.

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

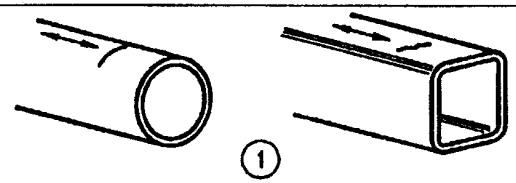
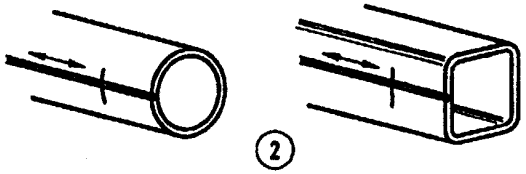
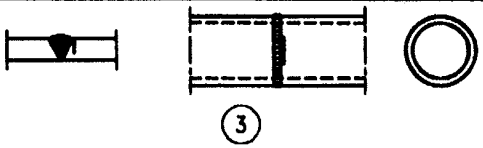
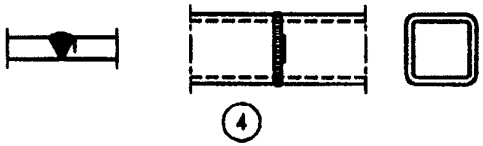
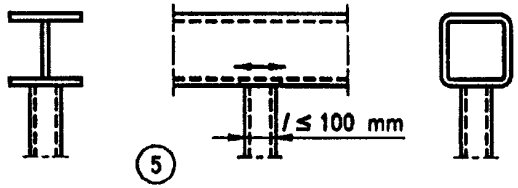
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
45 *)	 ④	<u>Giunti a sovrapposizione saldati</u> 4 - Giunzione a sovrapposizione con saldatura a cordoni d'angolo	4 - Le tensioni devono essere calcolate negli elementi esterni 3 e 4: - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra - La resistenza a rottura a taglio deve essere determinata usando il particolare 7
50 *)	t e t_c ≤ 20 mm	<u>Piastre coprigiunto in travi e travi composte</u>	
36 *)	t o t_c > 20 mm	 ⑤ 5 - Estremità di piastre coprigiunto con saldatura singola o multipla, con o senza saldatura nel tratto frontale	5 - Qualora la piastra coprigiunto sia più larga della piattabanda, è necessaria una saldatura frontale, accuratamente molata per rimuovere le incisioni marginali
80 $m = 5$	 ⑥ ⑦	<u>Saldature soggette a taglio</u> 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 7 - Giunzioni a sovrapposizione saldate a cordoni d'angolo	6 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura 7 - L'ampiezza delle tensioni deve essere calcolata in base all'area della sezione di gola della saldatura considerando la lunghezza totale della saldatura - Estremità della saldatura a più di 10 mm dal bordo della piastra

*) vedere 9.7.3.

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

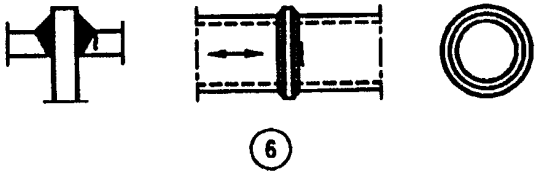
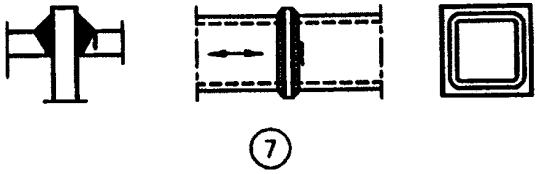
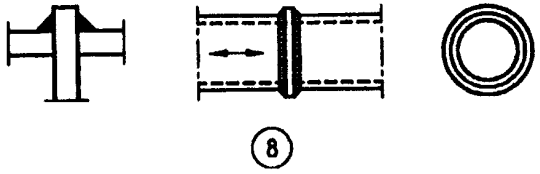
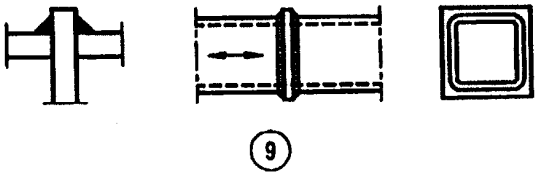
Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
80 $m=5$	 (8)	<u>Saldature soggette a taglio</u> 8 - Pioli (collasso in zona fusa o in zona termicamente alterata)	8 - Le tensioni tangenziali devono essere calcolate sulla sezione trasversale nominale del piolo
71	 Saldatura a completa penetrazione  (9)	<u>Irrigidimenti trapezoidali saldati alle lamiere di impalcato</u> 9 - Saldatura a cordoni d'angolo oppure saldatura di testa a completa o parziale penetrazione	9 - Per una saldatura di testa a completa penetrazione, l'ampiezza delle tensioni di flessione dovrà essere calcolata in base allo spessore dell'irrigiditore - Per una saldatura a cordoni d'angolo o una saldatura di testa a parziale penetrazione, l'ampiezza delle tensioni di flessione dovrà essere calcolata in base allo spessore della sezione di gola della saldatura, o allo spessore dell'irrigiditore, se inferiore
50	 Saldatura a cordoni d'angolo a ≤0,5 mm M_l M_l M_r		

Prospetto 9.8.6 - Profilati cavi - Foglio 1 di 2 (*)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
160		<u>Prodotti laminati ed estrusi</u> 1 - Elementi non saldati	1 -Spigoli vivi e difetti superficiali da eliminare mediante molatura
140		<u>Saldature longitudinali continue</u> 2 - Saldature longitudinali automatiche di composizione (per tutti gli altri casi vedere il prospetto 9.8.2)	2 -Senza interruzioni/punti di riprese ed esente da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n.9 - Livello di qualità 3
71		<u>Saldature di testa trasversali</u> 3 - Saldatura testa a testa di profilati cavi a sezione circolare	3 e 4: - Altezza del sovrametallo minore del 10% della larghezza della saldatura, con transizione graduale alla superficie della piastra - Saldature eseguite in piano, ispezionate e trovate esenti da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 - Elementi con spessore di parete maggiore di 8 mm possono essere classificate di due categorie superiori
56		4 - Saldatura testa a testa di profilati cavi a sezione rettangolare	
71		<u>Collegamenti saldati</u> 5 - Profilati cavi a sezione circolare o rettangolare saldati con cordoni d'angolo ad altri profilati	5 - Saldature non soggette carichi - Larghezza della sezione parallelamente alla direzione della tensione ≤ 100 mm - Per tutti gli altri casi vedere prospetto 9.8.4

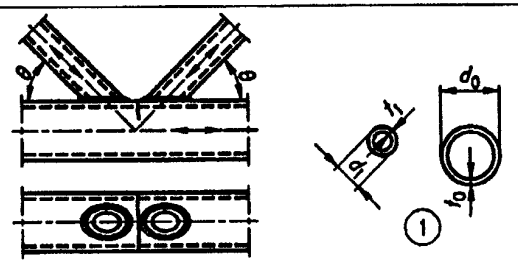
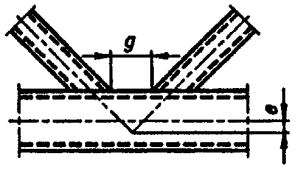
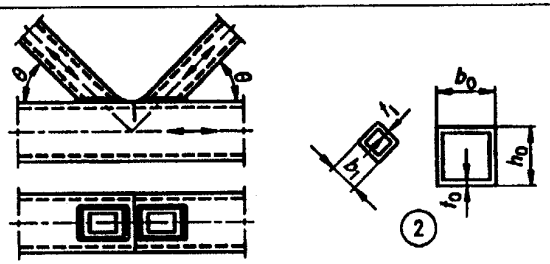
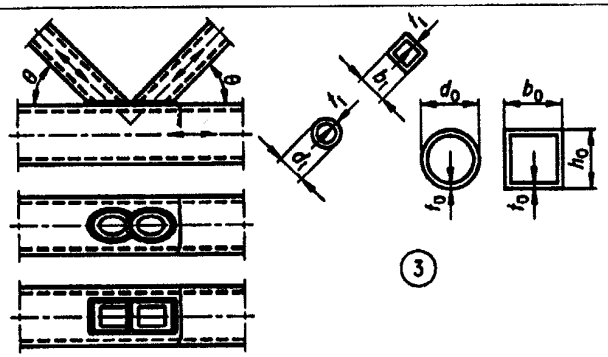
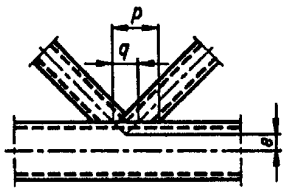
*) ($t \leq 12{,}5$ mm).

Prospetto 9.8.6 - Profilati cavi - Foglio 2 di 2

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi	Descrizione	Requisiti
50	 ⑥	<u>Giunti saldati</u> 6 - Saldatura di testa di profilati cavi a sezione circolare su flangia intermedia di collegamento	6 e 7: - Saldature soggette a carichi - Saldature ispezionate e trovate esenti da difetti al di fuori delle tolleranze della norma di riferimento n. 9 - Livello di qualità 3 - Elementi con spessore di parete maggiore di 8 mm possono essere classificati in una categoria superiore
45	 ⑦	7 - Saldatura di testa di profilati cavi a sezione rettangolare su flangia intermedia di collegamento	
40	 ⑧	8 - Saldatura a cordoni d'angolo di profilati cavi a sezione circolare testa a testa su flangia intermedia di collegamento	8 e 9: - Saldature soggette a carichi - Spessore di parete minore di 8 mm
36	 ⑨	9 - Saldatura a cordoni d'angolo di profilati cavi a sezione rettangolare con flangia intermedia di collegamento	

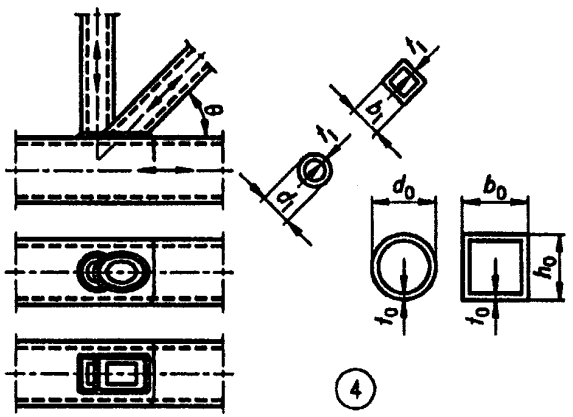
*) ($t \leq 12{,}5$ mm).

Prospetto 9.8.7 - Giunzioni di travi reticolari - Foglio 1 dl 2 (m = 5)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi		Descrizione	Requisiti
90	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$		Giunti con elementi diagonali distanziati all'estremità (*) 1 - Profilati cavi a sezione circolare, giunzioni a K ed a N	
45	$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$			
71	$\frac{t_0}{t_i} \geq 2,0$		2 - Profilati cavi a sezione rettangolare, giunzioni a K ed a N	2 : - $0,5\,(b_0 - b_i) \leq g \leq 1,1\,(b_0 - b_i)$ - $g \geq 2\ t_0$ - g: distacco - e: eccentricità positiva
36	$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$			
71	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1,4$		Giunti con elementi diagonali parzialmente sovrapposti (*) 3 - Collegamenti a K	3 e 4: - Sovrapposizione compresa fra il 30% ed il 100%  $q/p \cdot 100$: sovrapposizione; e: eccentricità negativa.
56	$\frac{t_0}{t_i} = 1,0$			

- *) Per valori intermedi di t_0 / t_i, usare l'interpolazione lineare fra le categorie di elementi più vicini.
- Notare che i controventi ed i correnti richiedono una valutazione a parte della resistenza a fatica .

Prospetto 9.8.7 - Giunzioni dl travi reticolari - Foglio 2 di 2 (m = 5)

Categoria dei particolari	Particolari costruttivi		Descrizione	Requisiti
71	$\frac{t_0}{t_i} \geq 1{,}4$		Giunti con elementi diagonali parzialmente sovrapposti (*) 4 - Collegamenti ad N	Da 1 a 4: - t_0, $t_i \leq 12{,}5$ mm - $35° \leq \theta \leq 50°$ - $b_0 / t_0 \leq 25$ - $d_0 / t_0 \leq 25$ - $0{,}4 \leq b_i / b_0 \leq 1{,}0$ - $0{,}25 \leq d_i / d_0 \leq 1{,}0$ - $b_0 \leq 200$ mm - $d_0 \leq 300$ mm - - $0{,}5\, h_0 \leq e \leq 0{,}25\, h_0$ - - $0{,}5\, d_0 \leq e \leq 0{,}25\, d_0$ - Eccentricità fuori piano: $\leq 0{,}02\, b_0$ oppure $\leq 0{,}02\, d_0$ - Saldature a cordoni d'angolo sono consentite nei controventi con pareti di spessore ≤ 8 mm - Per pareti di spessore maggiore di 12,5 mm vedere 9.6.3
50	$\frac{t_0}{t_i} = 1{,}0$			

- *) Per valori intermedi di t_0 / t_i, usare l'interpolazione lineare fra le categorie di elementi più vicini.
- Notare che i controventi ed i correnti richiedono una valutazione a parte della resistenza a fatica .