

Ai miei genitori

 Legislazione Tecnica

Luca Sportelli

La saldatura di elementi in acciaio strutturale

Il dimensionamento delle giunzioni, applicazioni pratiche e limiti in accordo a
Eurocodici, NTC e relativa Circolare applicativa

Luca Sportelli

La saldatura di elementi in acciaio strutturale

Il dimensionamento delle giunzioni, applicazioni pratiche e limiti in accordo a Eurocodici, NTC e relativa Circolare applicativa

Edizione I - Marzo 2026

ISBN: 978-88-6219-391-7

Finito di stampare nel mese di marzo 2026 da

LOGO SRL

Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

© Copyright Legislazione Tecnica 2026

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

Indice

Prefazione	vii
Introduzione	ix
I Progettazione dei cordoni di saldatura	1
1 Metodi di calcolo	3
1.1 Unioni saldate	5
1.1.1 Tipologia	5
1.1.2 Geometria e dimensioni	8
1.2 Progettazione delle saldature	12
1.2.1 Criteri generali	12
1.2.2 Saldature a cordone d'angolo	14
1.2.2.1 Cenni storici sul dominio di resistenza	17
1.2.2.2 Verifica di resistenza	23
1.2.2.3 Saldature entro fori circolari e asole	28
1.2.2.4 Saldature a cordone d'angolo a "piena resistenza" (full strength)	29
1.2.2.5 Ulteriori considerazioni per il dimensionamento	34
1.2.2.6 Stati di sollecitazione	37
1.2.3 Saldature di testa	117
1.2.4 Tensioni residue	126
1.2.5 Distorsioni	128
II Analisi delle configurazioni	131
2 Casi particolari	133
2.1 Caratteristiche delle saldature in giunti specifici	136
2.1.1 Saldature a cordone d'angolo intermittenti (o a tratti)	136
2.1.2 Saldature in profilati cavi	140
2.1.3 Saldature in flange non irrigidite	166
2.1.4 Saldature caricate eccentricamente	172
2.1.5 Piastre di rinforzo	172

2.1.6	Profili aperti ad angolo collegati su un solo lato	172
2.1.7	Saldature a punti	173
2.1.8	Saldature a bottoni realizzate ad arco	178
2.1.9	Saldature a sovrapposizione	184
2.1.10	Unioni saldate lunghe	190
2.1.11	Strappi lamellari	196
2.1.12	Saldature “undermatching”	198
III	Fatica nei giunti saldati	205
3	Verifica della resistenza	207
3.1	Considerazioni preliminari	208
3.1.1	Cricche da fatica	208
3.1.2	Applicabilità e metodi adottati	210
3.2	Calcolo delle sollecitazioni	215
3.2.1	Intervalli di variazione della tensione e resistenza a fatica	219
3.2.2	Verifica a fatica	228
3.3	Prevenzione delle cricche da fatica	262
3.3.1	Tecniche di miglioramento dei giunti saldati	265
3.3.1.1	Miglioramento della geometria della saldatura	266
3.3.1.2	Riduzione della tensione residua	268
	Bibliografia	271



**Pagine non disponibili
in anteprima**



In particolare, lo schema contrassegnato con [a] della Figura 1.11 precedente, illustra il caso di saldatura in presenza di guarnizione (indicata con il numero 1) avente uno spessore t_p non superiore alla dimensione del lato del cordone di saldatura z_{req} , mentre lo schema [b], il caso di saldatura in presenza di guarnizione (indicata con il numero 1) avente uno spessore t_p pari o superiore alla dimensione del lato del cordone di saldatura z_{req} .

Infine, le *saldature in zone deformate a freddo*²⁴ possono essere effettuate a una distanza massima di $5t$ (dove t è lo spessore del materiale base)²⁵ su entrambi i lati dell'area di giunzione di una zona formata a freddo (Figura 1.12), a condizione che venga soddisfatta una delle seguenti condizioni:

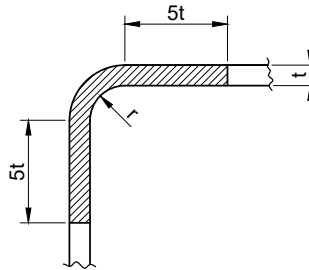


Figura 1.12: Geometria delle saldature in zone deformate a freddo

- le zone formate a freddo soggette a saldatura siano state normalizzate prima dell'esecuzione della stessa;
- il rapporto r/t soddisfi il relativo valore corrispondente specificato nella Tabella 4.2 della EN 1993-1-8.

1.2 Progettazione delle saldature

1.2.1 Criteri generali

In riferimento alle regole relative alla verifica di resistenza di giunti saldati in accordo alla EN 1993-1-8, bisogna considerare, come premessa, che l'utilizzo previsto riguarda gli acciai strutturali saldabili con grado S235, S275, S355 e S460, aventi le seguenti caratteristiche:

- prodotti piani e profili aperti laminati a caldo, designazione in accordo alla EN 10025 (da parte 2 a 6) [17–21], secondo quanto riportato nella EN 1993-1-1 [35], con spessore del materiale pari o superiore a 4 mm²⁶;

²⁴Ulteriori requisiti e specifiche sono citati nella EN 1993-1-3 [39]; la EN 1993-1-8 (2024) rimanda direttamente, invece, ai contenuti della EN 1993-1-10 (2025) [34] che ingloba quanto indicato nella EN 1993-1-8 con l'aggiunta di ulteriori dettagli come, ad esempio, i requisiti inerenti al grado di acciaio in tale contesto.

²⁵La Tabella 4.2 della EN 1993-1-8 dettaglia i requisiti, anche dimensionali, per la saldatura in zone formate a freddo.

²⁶ ≥ 3 mm in accordo a quanto previsto sia nella EN 1993-1-8 (2024) che al punto 4.2.9. delle NTC 2018 “per opere sicuramente protette contro la corrosione od opere non esposte agli agenti atmosferici”.

- profilati cavi finiti a caldo, designazione in accordo alla EN 10210-1²⁷ [27], e profilati cavi formati a freddo, designazione secondo quanto riportato nella EN 10219-1 [28], con spessore del materiale pari o superiore a 2,5 mm²⁸.

✎ **Nota.** La EN 1993-1-8 (2024) estende la relativa applicabilità agli acciai strutturali saldabili con grado fino a S700 compreso, salvo diversa indicazione fornita nei singoli paragrafi della stessa. ◀

Vengono poi assunti i seguenti tre presupposti fondamentali per la progettazione delle unioni saldate:

- le saldature sono considerate omogenee e isotrope;
- gli elementi collegati si reputano rigidi e le loro deformazioni trascurabili;
- vengono esaminate solo le sollecitazioni nominali dovute ai carichi esterni mentre sono ignorati gli effetti derivanti da tensioni residue, picchi di sollecitazione, sforzi concentrati e geometria delle saldature.

Inoltre, nella EN 1993-1-8²⁹ sono anche citate le seguenti disposizioni:

- i metodi di progettazione indicati presuppongono sia l'impiego degli standard di costruzione elencati nel relativo paragrafo 1.2 “Riferimenti normativi” che l'utilizzo dei materiali da costruzione e dei prodotti come definiti nella EN 1993 o nelle relative specifiche di materiali e prodotti³⁰;
- tutti i giunti devono avere caratteristiche meccaniche tali da permettere alla struttura di soddisfare i requisiti di progettazione illustrati nella norma stessa e nella EN 1993-1-1³¹;
- i criteri in essa contenuti sono validi per carichi prevalentemente statici;
- i requisiti inerenti alle saldature soggette a fatica (inclusi i livelli di qualità delle imperfezioni nei giunti saldati per fusione realizzati in tali strutture) sono descritti nella EN 1993-1-9 [44];
- le proprietà meccaniche del materiale d'apporto devono essere equivalenti a quelle del materiale base (“matching”) o aventi migliori caratteristiche³² (medesimo

²⁷Si veda la nota a piè di pagina numero 26 (pag. 12).

²⁸I requisiti da adottare per tale tipologia e spessore di profilati sono indicati nel capitolo 7 della EN 1993-1-8; la EN 1993-1-8 (2024) riduce a 1,5 mm lo spessore minimo del materiale per tali profilati riportando le relative specifiche nel capitolo 9. Inoltre, la Circolare applicativa delle NTC 2018 [8] elenca, al punto C4.2.12.1.7, particolari adattamenti per spessori inferiori a 4 mm relativamente ad alcune tipologie di saldature (si vedano i paragrafi 2.1.7 “Saldature a punti”, pag. 173 e 2.1.8 “Saldature a bottoni realizzate ad arco”, pag. 178).

²⁹Nella premessa della EN 1993-1-8 (2024) sono illustrati meglio gli standard da considerare correlandoli a quelli elencati nelle rispettive sezioni della EN 1990 ed EN 1993-1-1.

³⁰La EN 1993-1-8 (2004) riferisce (in modo migliore, per la prima parte) che i metodi di progettazione specificati sono applicabili nel caso in cui la qualità delle strutture sia quella riportata nella EN 1090-2 o EN 1090-4 [30], e i materiali da costruzione e i prodotti utilizzati siano quelli citati nelle sezioni pertinenti della EN 1993, o nelle caratteristiche relative ai materiali e ai prodotti.

³¹Il medesimo concetto è dettagliato nella EN 1993-1-8 (2024) nella parte introduttiva del capitolo inerente alla progettazione dei giunti.

³²La EN 1993-1-8 descrive nelle note che risulta generalmente sicuro utilizzare elettrodi aventi proprietà meccaniche superiori rispetto a quelle del materiale base utilizzato (“overmatching”).

requisito riportato anche al punto 11.3.4.5 delle NTC 2018). Da notare che la EN 1993-1-12 [37] permette l'utilizzo di materiale d'apporto con resistenza inferiore rispetto a quello del materiale base (“undermatching”) in caso di impiego di acciaio strutturale saldabile ad alta resistenza con grado superiore a S460 fino al grado S700^{33,34};

- le specifiche relative alla selezione degli elementi di unione al fine di prevenire il difetto inerente agli strappi lamellari³⁵ durante la saldatura sono contenute nella EN 1993-1-10 [33] (e al punto C4.2.4.1.4.3 “Curve S-N” e relative Tabelle della Circolare applicativa delle NTC 2018);
- i criteri da seguire per saldature in prodotti e profili sottili formati a freddo (aventi grado S235, S275, S355 e S460) sono citati nella EN 1993-1-3 (e al punto C4.2.12.1.7 della Circolare applicativa delle NTC 2018³⁶);
- le disposizioni inerenti alla saldatura di perni sono elencate nella EN 1994-1-1³⁷ [46];
- il livello di qualità delle imperfezioni nei giunti saldati per fusione delle saldature sono definiti nella EN ISO 5817 [65] (di norma viene richiesto, se non diversamente riferito, il livello di qualità C). Inoltre, i criteri per determinare la frequenza di ispezione delle saldature sono dettagliati nella EN 1090-2.

A differenza dell'edizione in vigore, la EN 1993-1-8 (2024) riporta, anche nella parte introduttiva del capitolo inerente alla progettazione dei giunti, richiami inerenti a:

- progettazione delle strutture in acciaio, che deve essere conforme alle regole generali fornite nella EN 1990 (2023) [32] e alle relative disposizioni specifiche per le strutture in acciaio definite nella EN 1993-1-1 (2022) [36];
- strutture in acciaio progettate secondo la EN 1993, che devono essere eseguite in accordo alla EN 1090-2 e/o EN 1090-4;
- giunti soggetti a fatica, che devono soddisfare anche i principi indicati nella EN 1993-1-9 (2025) [45].

1.2.2 Saldature a cordone d'angolo

Questa tipologia di unione è caratterizzata da due proprietà geometriche principali, *altezza efficace di gola* (a) e *lunghezza efficace* (l_{eff})³⁸, e la resistenza di progetto relativa deriva dai due valori sopraindicati, dal grado del materiale base e di quello d'apporto utilizzati.

L'*altezza efficace* di gola, la cui dimensione non deve essere inferiore a 3 mm, è rappresentata dall'altezza minore del triangolo rettangolo più grande (avente vertice nella radice della saldatura) inscritto nella sezione trasversale teorica (quella ottenuta senza considerare l'aumento delle dimensioni relative dovute alla penetrazione nel materiale base e al sovrametallo) del cordone d'angolo (Figura 1.13).

³³Il punto 4.2.1 delle NTC 2018 limita l'utilizzo del materiale base fino al grado S460.

³⁴Si veda il paragrafo 2.1.12 “Saldature undermatching” (pag. 198).

³⁵Si veda il paragrafo 2.1.11 “Strappi lamellari” (pag. 196).

³⁶Si veda la nota a piè di pagina numero 28 (pag. 13).

³⁷Ulteriori indicazioni sono reperibili nelle norme EN ISO 14555 [49] e EN ISO 13918 [47].

³⁸Indicata con $l_{eff,w}$ nella EN 1993-1-8 (2024).



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Capitolo 2

Casi particolari

La progettazione delle connessioni saldate può, come per qualsiasi altra sezione trasversale, essere eseguita presupponendo un comportamento elastico o plastico (la EN 1993-1-8, specificando tale requisito al comma 1 del paragrafo 4.9, rimanda ai contenuti dei paragrafi 2.4 e 2.5 per la relativa determinazione della distribuzione delle forze specificando che, nel paragrafo 2.3, queste ultime e i momenti applicati ai giunti allo stato limite ultimo dovrebbero essere determinati secondo i principi della EN 1993-1-1).

✍ **Nota.** La EN 1993-1-8 (2024) riporta, nel capitolo 4, gli stessi requisiti di cui alla EN 1993-1-8 aggiungendo che nella progettazione dei collegamenti strutturali è possibile utilizzare l'analisi elastica lineare o elasto-plastica, e che in caso di acciaio con grado superiore a S460 si dovrebbe assumere una distribuzione elastica delle forze all'interno dei giunti. Inoltre, definisce che le regole inerenti sia all'analisi elasto-plastica (per la progettazione delle connessioni) che a quella strutturale globale plastica (per quanto riguarda l'acciaio con grado superiore a S460) possano essere stabilite dagli "Annessi Tecnici Nazionali"; in tale evenienza, le clausole applicabili in caso di impiego di acciaio con grado superiore a S460 inerenti ai punti 8.1(5) (connessioni strutturali che collegano profili a sezione a I o H) e B.5.1(2) (capacità rotazionale) possono essere modificate di conseguenza.<

In un approccio puramente elastico, la progettazione dei giunti dovrebbe essere condotta in modo tale che la sollecitazione (in accordo al criterio di von Mises) non superi la resistenza elastica dei materiali utilizzati. A tale scopo, a causa della complessità geometrica degli elementi di connessione, è necessaria un'analisi tensionale approfondita che spesso richiede approcci numerici mediante l'utilizzo, ad esempio, del metodo degli elementi finiti (e in questo processo la presenza di tensioni residue viene solitamente trascurata). Inoltre, la capacità dell'acciaio di deformarsi plasticamente può essere utilizzata in fase di progettazione con lo sviluppo di procedure che consentono ridistribuzioni plastiche delle tensioni locali negli elementi di unione (e l'impiego di acciai normalizzati in accordo agli standard europei, come già visto nei precedenti paragrafi, garantisce una sufficiente duttilità del materiale base).

È importante rimarcare che il comma 1 del paragrafo 2.5 della EN 1993-1-8¹ illustra, di fatto, il cosiddetto “teorema statico dell’analisi limite” che richiede:

- la determinazione di una distribuzione interna staticamente ammissibile delle tensioni (per le sezioni trasversali) o delle forze (per i giunti), cioè di un insieme di tensioni o forze in equilibrio con le forze esterne agenti sulla sezione trasversale o connessione e risultante dall’analisi strutturale globale;
- il soddisfacimento dei criteri di resistenza plastica e duttilità nelle sezioni trasversali o nei giunti.

Le distribuzioni staticamente e plasticamente ammissibili possono anche essere in gran numero ma, nella maggior parte dei casi, non in accordo al criterio del “cinematicamente ammissibile” (cioè in grado di soddisfare i requisiti di equilibrio, plasticità e compatibilità degli spostamenti). In realtà tale situazione non costituisce un problema fino a quando è presente una “sufficiente capacità” di deformazione locale (duttilità) nei punti delle sezioni trasversali o delle unioni in cui si sviluppa la plasticità (in tal caso il “teorema statico dell’analisi limite” garantisce che la resistenza prevista delle sezioni trasversali o delle connessioni sarà inferiore a quella effettiva). Da considerare, infine, che quanto più la distribuzione ipotizzata si avvicinerà a quella effettiva, tanto più il valore della resistenza stimata tenderà a quello reale.

Per quanto riguarda i giunti saldati, la contenuta duttilità delle saldature potrebbe portare a una limitazione nell’utilizzo dell’analisi statica lineare. In realtà:

- le saldature sono caratterizzate dall’azione di tensioni residue nonché di imperfezioni geometriche (causa di concentrazioni locali di tensione); pertanto, anche prima dell’applicazione di un carico, lungo il cordone di saldatura sono già presenti variazioni di tensione e deformazioni interne. Inoltre, le tensioni residue potrebbero essere, localmente, anche superiori alla resistenza del materiale e provocare rotture ma per la scarsa duttilità del materiale d’apporto avviene una redistribuzione plastica e le tensioni sono solo limitate, su base locale e in aree definite, al carico di snervamento del materiale base;
- nuove redistribuzioni plastiche occorrono quando le saldature vengono sottoposte a carichi esterni (al fine di consentire il raggiungimento di una distribuzione uniforme delle tensioni pari al valore del carico di snervamento lungo la sezione di gola di progetto); per conseguire una tale redistribuzione plastica delle tensioni interne è, ovviamente, necessaria una adeguata duttilità locale².

Come già specificato nel paragrafo 1.2.1 “Criteri generali” (pag. 12), vengono assunti tre presupposti fondamentali al fine della progettazione statica delle unioni saldate (omogeneità e isotropia delle saldature, rigidità dei componenti collegati tralasciando le relative deformazioni, e applicabilità delle sole tensioni nominali dovute

¹Medesimi concetti, anche se ampliati, sono indicati nella EN 1993-1-8 (2024) al comma 2 del paragrafo 4.2.

²La EN 1993-1-8 (2004) riporta, inoltre, che qualora si voglia evitare la rottura di una saldatura per motivi di duttilità, la stessa deve avere una resistenza sufficiente a non rompersi prima di cedere nel materiale base adiacente (dato che i giunti saldati devono essere progettati per avere un’adeguata capacità di deformazione ma non facendo affidamento sulla duttilità dei cordoni) e pari a $1,1(f_y/f_u)$ moltiplicata per la resistenza di progetto della parte più debole delle parti collegate, ma non superiore alla tensione caratteristica di rottura ultima nominale dell’elemento meno resistente dell’unione.

ai carichi esterni ignorando tutti gli altri effetti); in ogni caso, tali considerazioni non convalidano il fatto che la duttilità delle saldature sia sempre sufficiente per poter contare su una completa redistribuzione plastica delle forze interne lungo i cordoni stessi. La EN 1993-1-8, infatti, non definisce esplicitamente cosa sia accettabile, anche se alcune clausole possono essere interpretate come una soluzione per limitare le ridistribuzioni plastiche. Quando una saldatura è sottoposta solamente a forze di taglio, o forze assiali, si assume che la duttilità della stessa sia sufficiente a raggiungere una completa redistribuzione plastica delle tensioni lungo il cordone, ma solo a condizione che alcuni requisiti geometrici o di configurazione siano rigorosamente soddisfatti (si veda il paragrafo 2.1.10 “Unioni saldate lunghe”, pag. 190). Negli altri casi, in linea generale, si consiglia di adottare una distribuzione elastica delle forze in caso di utilizzo di saldature a parziale penetrazione (Figura 2.1, [a]); in questo modo si riduce il rischio di rottura fragile derivante dallo snervamento locale di un tratto del relativo cordone. Di conseguenza, si ritiene che una distribuzione plastica delle forze (Figura 2.1, [b]) sia sostanzialmente limitata ai casi in cui vengono adottate saldature a completa penetrazione (dove la duttilità locale viene così fornita dal materiale base).

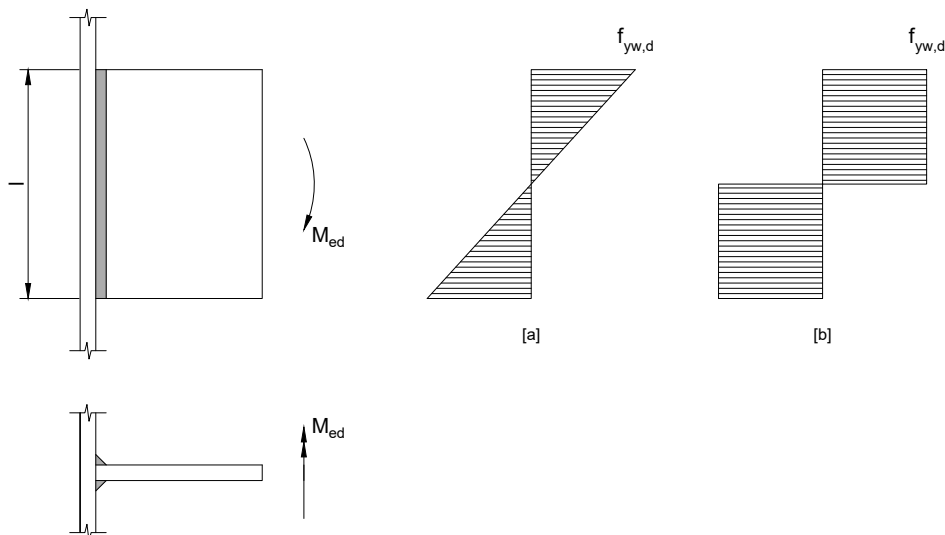


Figura 2.1: Distribuzione elastica e plastica delle forze

Alcune eccezioni possono essere ovviamente previste dato che la redistribuzione plastica delle forze richiede una capacità di deformazione della saldatura piuttosto limitata. Facendo riferimento alla Figura 2.2, supponendo $F_{Rd,lat} < F_{Rd,trasv}$ così come uguali rigidezze per le corrispondenti saldature (laterali e trasversale), si ottiene:

$$F_{el,Rd} = 3F_{Rd,lat} \quad e \quad F_{pl,Rd} = 2F_{Rd,lat} + F_{Rd,trasv}$$

dove

- $F_{pl,Rd}$ risulta verificata tenendo conto della relativa duttilità delle saldature laterali rispetto a quella trasversale.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3.2 Calcolo delle sollecitazioni

A differenza della progettazione statica, quella a fatica nei giunti saldati comporta alcune implicazioni pratiche dato che, ad esempio, quest'ultima dipende dalla sequenza di carico relativa all'intera vita utile di una struttura piuttosto che da una sola condizione di carico critico e, pertanto, richiede una previsione abbastanza accurata dei carichi e delle conseguenti sollecitazioni elastiche. Da notare che i dettagli geometrici piuttosto che le proprietà meccaniche svolgono un ruolo importante nella corretta progettazione di giunti saldati; infatti, la geometria e gli effetti derivanti dalla concentrazione delle sollecitazioni risultanti sono gli aspetti più importanti che influenzano la resistenza a fatica di qualsiasi giunto saldato. Inoltre, accurate metodologie di realizzazione delle saldature così come la conduzione di ispezioni approfondite inerenti al controllo qualità delle stesse durante il processo di fabbricazione delle strutture risultano essere di fondamentale importanza per la durata della vita a fatica di opere in carpenteria metallica strutturale.

La EN 1993-1-9 specifica che le sollecitazioni da azioni di fatica devono essere calcolate (mediante il metodo delle tensioni nominali) in accordo allo stato limite di servizio (SLS)⁴⁰ nel punto di potenziale innesco dei relativi effetti tenendo conto che questi ultimi, nel caso in cui producano una concentrazione di sollecitazioni in corrispondenza di categorie di dettaglio diverse da quelle incluse nelle Tabelle da 8.1 a 8.10 della EN 1993-1-9, dovranno essere tenuti in considerazione, utilizzando un "fattore di concentrazione della tensione (SCF)"⁴¹ secondo il punto 6.3 dello standard, per ottenere una tensione nominale modificata.

La prima suddivisione possibile nel calcolo delle tensioni nominali è tra quelle presenti nel materiale base e nelle saldature. Per quanto riguarda le prime, devono essere calcolate utilizzando la teoria elastica e tenendo conto di tutte le tensioni assiali, di flessione e taglio che si verificano per effetto del carico di progetto. Non è consentita alcuna redistribuzione di carichi o sollecitazioni, come quella derivante dalla teoria dell'instabilità delle piastre per la verifica della resistenza statica allo stato limite ultimo, inclusa la tolleranza implicita per la redistribuzione nelle regole semplificate per la progettazione elastica o per le procedure di progettazione plastica. La EN 1993-1-9 definisce la tipologia delle tensioni nominali⁴² inerenti al materiale base (in relazione alle pertinenti categorie di dettaglio) come:

- dirette (normali) e indicate con σ ;
- di taglio (tangenziali) e indicate con τ .

Per quanto riguarda le saldature, è possibile distinguere tra giunti saldati soggetti a carichi e altre tipologie come, ad esempio, travi in composizione saldata o saldature

⁴⁰Per quanto riguarda le sezioni trasversali di Classe 4 (che sono quelle in cui si verifica un'instabilità locale prima del raggiungimento della tensione di snervamento in una o più parti della sezione trasversale stessa, come definite nella EN 1993-1-1), il calcolo di tali tensioni deve essere effettuato in accordo alla resistenza ultima del materiale a fatica come specificato nella EN 1993-1-5; oltre a ciò, la EN 1993-1-9 rimanda alla serie dalla EN 1993-2 alla EN 1993-6 da utilizzare come guida per l'applicazione in tale ambito e allo specifico "Allegato o Annesso Nazionale (National Annex)" che può definire limitazioni per tali sezioni.

⁴¹Si veda il paragrafo 3.2.1 "Intervalli di variazione della tensione e resistenza a fatica", pag. 219.

⁴²Le formule da adottare relativamente agli effetti apportati dalle tensioni nominali combinate sono specificate nel paragrafo 3.2.2 "Verifica a fatica", pag. 228.

di testa trasversali (elementi riportati nelle Tabelle da 8.1 a 8.10 della EN 1993-1-9). Per queste ultime, devono essere calcolate le tensioni nominali rilevanti nel materiale base o nella sezione in corrispondenza del cordone come, ad esempio, per le saldature longitudinali. È da evidenziare che, per le unioni saldate soggette a carichi, la procedura per il calcolo delle tensioni a fatica differisce da quella specificata nella EN 1993-1-8 per la verifica statica, allo stato limite ultimo, della resistenza di progetto delle saldature a cordone d'angolo e a parziale penetrazione, e si riferisce al piano della sezione di gola ribaltato su uno dei due lati della saldatura a cordone d'angolo (Figura 3.2).

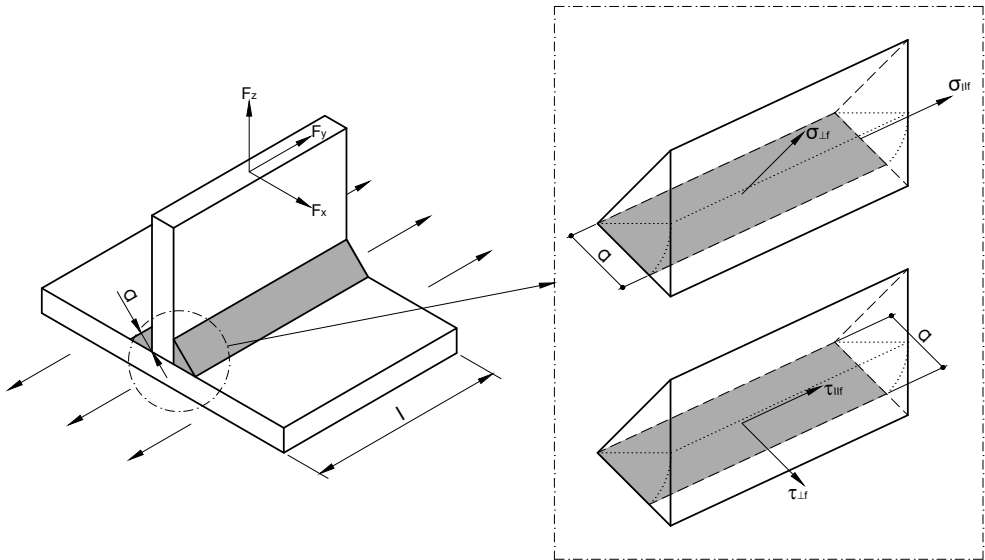


Figura 3.2: Sollecitazioni da azioni di fatica sulla sezione di gola di saldatura a cordone d'angolo

A seconda del dettaglio corrispondente, le tensioni nominali necessarie (Figura 3.2) sono definite⁴³ come:

- normali e agenti perpendicolarmente all'asse del cordone di saldatura

$$\sigma_{wf} = \sqrt{\sigma_{\perp f}^2 + \tau_{\perp f}^2} \quad \text{con} \quad \sigma_{\perp f} = \frac{F_z}{2al} \quad (3.1)$$

- tangenziali e agenti parallelamente all'asse del cordone di saldatura

$$\tau_{wf} = \tau_{\parallel f} = \frac{F_y}{2al} \quad \text{e} \quad \tau_{wf} = \tau_{\perp f} = \frac{F_x}{2al} \quad (3.2)$$

dove F_x , F_y e F_z ⁴⁴ sono, rispettivamente, le componenti (normale, di taglio e assiale) della forza applicata, l è la lunghezza del cordone di saldatura e a è l'altezza efficace di gola [75].

⁴³Da notare, come specificato nella EN 1993-1-9, che le espressioni (3.1) e (3.2) richiedono due controlli separati.

⁴⁴Tali risultanti sono definite in modo che i momenti causati da F_x e F_y non debbano essere considerati (ovvero trascurati).

✎ **Nota.** La EN 1993-1-9 (2025) introduce procedure di calcolo e tabelle aggiornate (basate su dati scientifici e tecnici più recenti che riflettono i progressi nella comprensione del comportamento a fatica nelle strutture in acciaio) ampliando le regole al fine di trattare meglio metodi avanzati come l'approccio geometrico alle sollecitazioni; inoltre, espande la trattazione del calcolo delle tensioni, rispetto a quanto presentato nella EN 1993-1-9, specificando chiaramente come le sollecitazioni nominali derivanti dalle azioni di fatica debbano essere calcolate utilizzando l'analisi elastica lineare secondo la EN 1993-1-1 (2022). In particolare, è stata anche introdotta la seguente formula per il calcolo delle tensioni nominali nelle saldature a cordone d'angolo contrapposte (come, ad esempio, nei giunti a T) dovute alla flessione trasversale del materiale base:

$$\sigma_{wf} = \frac{M}{aL_w(a+t)}$$

dove

- M è il momento flettente;
- a è l'altezza efficace di gola;
- L_w è la lunghezza del cordone di saldatura, definito nella Figura 7.3 della EN 1993-1-9 (2025), a cui si rimanda;
- t è lo spessore del materiale base sotto flessione.◁

Al fine, invece, della determinazione delle tensioni da azioni di fatica in riferimento alle categorie di dettaglio di cui alla Tabella B.1⁴⁵ della EN 1993-1-9, può essere utilizzato il metodo delle tensioni di “hot spot” (si veda di seguito) dove il valore di progetto del relativo intervallo di variazione della sollecitazione geometrica $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}$ ⁴⁶ viene definito mediante la seguente formula (riportata al punto 6.5 della norma):

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2} = k_f (\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^*) \quad (3.3)$$

essendo

- $\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}^*$ il valore di progetto dell'intervallo di variazione della sollecitazione calcolato assumendo un modello semplificato con aste incernierate ai nodi;
- k_f il fattore di concentrazione della tensione (SCF).

⁴⁵Dove sono illustrate le categorie di dettaglio in caso di cricche che si originano dalle linee di attacco di saldature: di testa, a cordone d'angolo in giunti a T e a croce (mentre non è trattato il contesto inerente alla formazione di cricche da fatica nella radice di cordoni di saldatura e propagazione attraverso la relativa gola). Inoltre, tale tabella non contempla gli effetti del disallineamento che devono essere considerati esplicitamente nel calcolo delle tensioni.

⁴⁶La definizione di tali simboli è inserita nel paragrafo 3.2.1 “Intervalli di variazione della tensione e resistenza a fatica”, pag. 219.