



DARIO PAGNI

ELEMENTI IN ACCIAIO

LE VERIFICHE LOCALI

CALCOLO E VERIFICA DI TRAVE IN ACCIAIO,
GIUNTO BULLONATO A SQUADRETTA, GIUNTO FLANGIATO,
PILASTRO IN ACCIAIO E GIUNTO DI BASE



WEBAPP INCLUSE
STRUTTURE IN ACCIAIO



Dario Pagni

ELEMENTI IN ACCIAIO – LE VERIFICHE LOCALI

Ed. I (09-2020)

ISBN 13 978-88-277-0158-4

EAN 9 788827 701584

Collana **Software** (133), versione eBook



Prima di attivare Software o WebApp inclusi
prendere visione della licenza d'uso.

Inquadrare con un reader il QR Code a fianco
oppure collegarsi al link <https://grafill.it/licenza>

© **GRAFILL S.r.l.** Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313 – Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

CONTATTI IMMEDIATI



Pronto GRAFILL
Tel. 091 226679



Chiamami
chiamami.grafill.it



Whatsapp
grafill.it/whatsapp



Messenger
grafill.it/messenger



Telegram
grafill.it/telegram

Edizione destinata in via prioritaria ad essere ceduta nell'ambito di rapporti associativi.

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

INTRODUZIONE	p.	7
1. ASPETTI GENERALI		
DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO	"	9
1.1. Il materiale acciaio.....	"	9
1.2. La classificazione degli acciai	"	10
1.2.1. La classificazione dei bulloni	"	11
1.3. Le strutture in acciaio	"	12
1.4. Gli elementi strutturali.....	"	13
1.5. I prodotti in acciaio.....	"	13
2. ASPETTI NORMATIVI		
DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO	"	15
2.1. Norma UNI EN 1090 per le componenti in acciaio	"	16
3. VERIFICHE LOCALI		
DEGLI ELEMENTI IN ACCIAIO	"	18
3.1. Classificazione delle sezioni.....	"	18
3.2. Imperfezioni locali.....	"	19
3.3. Resistenze di progetto e fattori parziali di sicurezza	"	20
4. VERIFICA TRAVI IN ACCIAIO	"	21
4.1. Aspetti importanti e peculiarità	"	21
4.2. Dettagli normativi.....	"	22
4.3. Procedimento di calcolo	"	24
4.4. Esempio svolto	"	30
5. CALCOLO DI GIUNTI		
A SQUADRETTA SULL'ANIMA	"	38
5.1. Aspetti importanti e peculiarità	"	38
5.2. Dettagli normativi.....	"	39
5.3. Procedimento di calcolo	"	41

5.3.1.	Verifiche lato squadretta	p.	42
5.3.2.	Verifiche lato anima	"	43
5.3.3.	Verifiche bullonatura d'anima	"	44
5.3.4.	Verifiche bullonatura lato ortogonale alla trave	"	45
5.4.	Esempio svolto	"	46
6.	CALCOLO GIUNTO FLANGIATO TRAVE-COLONNA	"	56
6.1.	Aspetti importanti e peculiarità	"	56
6.2.	Dettagli normativi	"	57
6.3.	Procedimento di calcolo	"	60
6.3.1.	Metodo con flangia infinitamente rigida	"	61
6.3.2.	Metodo con flangia deformabile	"	64
6.4.	Esempio svolto	"	74
6.4.1.	Metodo con flangia infinitamente rigida	"	74
6.4.2.	Metodo con flangia deformabile	"	83
6.4.3.	Confronto tra i due metodi	"	102
7.	VERIFICA PILASTRI IN ACCIAIO	"	103
7.1.	Aspetti importanti e peculiarità	"	103
7.2.	Dettagli normativi	"	104
7.3.	Procedimento di calcolo	"	106
7.4.	Esempio svolto	"	112
8.	VERIFICA PIASTRE DI BASE	"	121
8.1.	Aspetti importanti e peculiarità	"	122
8.2.	Dettagli normativi	"	122
8.3.	Procedimento di calcolo	"	124
8.3.1.	Resistenza zona compressa	"	124
8.3.2.	Resistenza zona tesa	"	125
8.3.3.	Determinazione del momento resistente	"	126
8.3.4.	Verifiche lato acciaio	"	127
8.3.4.1.	Verifica a trazione dei tirafondi e punzonamento della piastra	"	127
8.3.4.2.	Verifica a taglio dei tirafondi e rifollamento della piastra	"	128
8.3.4.3.	Verifica a flessione della piastra	"	128
8.4.	Esempio svolto	"	129
9.	SEZIONI IN CLASSE 4	"	141
9.1.	Esempio svolto	"	141

10. INSTALLAZIONE E ATTIVAZIONE

DEL PACCHETTO DI WEBAPP “STRUTTURE IN ACCIAIO”	p. 148
10.1. Requisiti hardware e software	” 149
10.2. Attivazione del pacchetto STRUTTURE IN ACCIAIO.....	” 149
 BIBLIOGRAFIA.....	 ” 150

INTRODUZIONE

Questo testo rappresenta un utile manuale tecnico inerente le strutture metalliche, con un approfondimento sulle verifiche locali delle membrature e dei collegamenti.

Partendo da alcuni aspetti generali che caratterizzano le costruzioni in acciaio, l'elaborato ha l'obiettivo di analizzare le principali verifiche da svolgere per singoli elementi strutturali e per le relative connessioni, il tutto basato sulle vigenti normative tecniche italiane, NTC2018, e sugli Eurocodici, per quanto non presente nella norma nazionale.

La trattazione di tutti gli argomenti è di tipo pratico, partendo dalla teoria come fondamento, ma andando ad analizzare direttamente le problematiche di verifica e le relative formulazioni di calcolo.

Gli argomenti trattati sono rivolti a:

- la verifica di travi in acciaio;
- la verifica di pilastri in acciaio;
- il calcolo di giunti flangiati trave-colonna;
- il calcolo di giunti a squadretta sull'anima;
- la verifica di piastre di base;
- una breve trattazione con un esempio svolto del calcolo di una sezione in classe 4.

Per ciascun argomento principale è presente una approfondita descrizione del procedimento di calcolo, ed un esempio numerico svolto in maniera analitica ed attraverso l'*App* di calcolo del portale *Ingegnerone.com*. In tal modo è possibile fornire una guida passo per passo, favorendo una miglior comprensione delle procedure da utilizzare, ed individuando così i concetti della progettazione. Questo aspetto fondamentale permette di ottimizzare le dimensioni dei vari elementi costituenti le strutture metalliche e favorire, quindi, la competitività tecnico-economica con strutture realizzate con altri materiali.

Le verifiche locali, sia di membrature, sia dei relativi collegamenti sono fondamentali per il predimensionamento di una struttura e quindi per l'impostazione di un modello di calcolo più complesso, in quanto un corretto predimensionamento permette di non dover procedere per tentativi nella progettazione. Tali verifiche sono altrettanto importanti relativamente alla validazione del codice di calcolo ed un controllo dei risultati ottenuti con software complessi di modellazione globale, aspetto tra l'altro obbligatorio per le vigenti norme tecniche.

La vigente normativa tecnica, NTC2018, al capitolo 10.2, chiede espressamente che il professionista esegua, in caso di utilizzo di software automatizzato, una attenta verifica preliminare dei codici di calcolo, della teoria utilizzata e dei procedimenti utilizzati.

L'aspetto fondamentale, che ogni professionista deve aver sempre bene in mente, è che la responsabilità dell'utilizzo di un software, piuttosto che un altro, è solamente sua; è infatti espressamente citato al paragrafo 10.2.1 della stessa normativa che:

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.

Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l'attendibilità. Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con riferimento a schemi o soluzioni noti e adottati, ad esempio, in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, valuterà la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, come ad esempio le verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc..

È quindi chiaro che a questo punto entra in gioco la «*professionalità*» del singolo. La conoscenza della materia e le capacità personali aiutano a capire se e dove possiamo aver sbagliato.

È necessario quindi eseguire alcuni calcoli manuali; quindi armarsi di carta e penna serve per verificare la correttezza dei risultati del software di calcolo.

Ovviamente è impensabile eseguire a mano calcoli complessi o risolvere modelli globali, ma analizzare una piccola parte di una struttura, una trave o un pilastro, permette di verificare se i risultati a mano e quelli del software sono equiparabili e quindi accettabili.

Le verifiche locali, trattate nel presente testo, possono essere sicuramente fondamentali per una conoscenza dei procedimenti di calcolo e delle prescrizioni normative, ma anche in caso di validazione del codice, per verificare quindi l'assenza di errori grossolani.

Software incluso

L'acquisto della presente pubblicazione include un abbonamento annuale al pacchetto di WebApp **STRUTTURE IN ACCIAIO** della piattaforma **ingegnerone.com**.

Le WebApp, che sono sviluppate con tecnologia *cloud* e quindi accessibili da qualsiasi dispositivo, permettono l'automatizzazione di procedimenti spesso complessi o iterativi e sono quindi un ottimo strumento di sussidio alla progettazione strutturale. Permettono di eseguire un innumerevole quantitativo di processi di calcolo in pochi secondi, lasciando tuttavia al professionista la possibilità di modificare i metodi di calcolo e garantire una personalizzazione della verifica da svolgere.

Nel corso del libro si vedrà come il corretto procedimento di calcolo, con tutte le dovute considerazioni e controlli, sia complesso e richieda una importante mole di calcoli.

ASPETTI GENERALI DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

1.1. Il materiale acciaio

L'acciaio è un materiale molto utilizzato dalla società moderna, basti pensare alle costruzioni di veicoli terrestri, degli aerei e delle navi, oltre ad essere il principale materiale per la costruzione di macchinari industriali.

È altresì sviluppato nell'ambito delle costruzioni, in particolar modo dei ponti e di strutture particolarmente snelle, come gli edifici alti, oltre alle strutture industriali

Negli ultimi anni capita sempre più frequentemente di vedere anche piccoli edifici civili realizzati con struttura portante in acciaio.

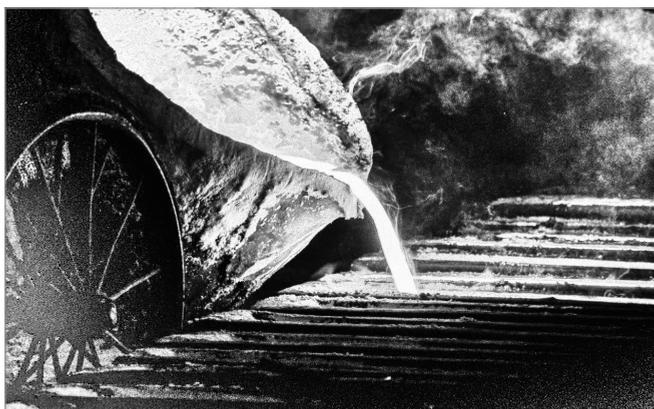


Figura 1.1. *Colata di acciaio fuso*

L'acciaio offre alcune caratteristiche che altri materiali comuni da costruzione non hanno.

Infatti, al contrario del cemento armato, l'acciaio è un materiale isotropo ed omogeneo e permette di raggiungere elevati livelli di duttilità.

La prima caratteristica, l'isotropia, è la proprietà del materiale di rispondere ad una grandezza esterna, ad esempio una sollecitazione, indipendentemente dalla direzione in cui è applicata. Questo aspetto risulta molto importante nel caso di sollecitazioni variabili nello spazio, come le azioni sismiche.

La seconda caratteristica dell'acciaio, l'omogeneità, garantisce una uniformità di proprietà caratteristiche indipendente dalla posizione, quindi se prendiamo un elemento in acciaio, questo avrà le stesse caratteristiche meccanico-fisiche in qualsiasi punto si andrà a considerare.

Infine la duttilità del materiale è la capacità che esso ha di deformarsi in campo plastico prima di giungere a rottura. Nel caso dell'acciaio il legame costitutivo ha un tratto plastico esteso, per cui riesce a deformarsi molto di più rispetto ad altri materiali comuni da costruzione prima di giungere alla rottura.

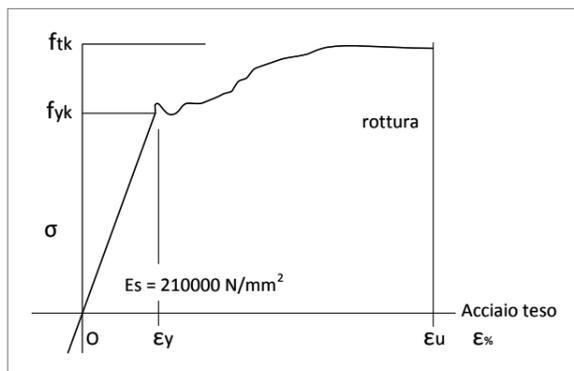


Figura 1.2. Grafico 1 – Legame costitutivo acciaio

1.2. La classificazione degli acciai

Dati i numerosi ambiti di applicazione si identificano altrettante tipologie di acciaio.

Questo materiale, ottenuto dal ferro con aggiunta di carbonio, la cui quantità è definita *tenore di carbonio*, può contenere molti altri elementi per ottenere caratteristiche diverse.

Si hanno così gli acciai legati, bassolegati o altolegati relativamente se nessun elemento aggiuntivo supera il 5%, o almeno uno supera tale percentuale. Gli acciai legati offrono caratteristiche diverse in funzione di quale elemento viene aggiunto, ad esempio l'aggiunta di cromo aumenta la resistenza alla trazione ed all'ossidazione, l'aggiunta di silicio permette di avere una buona resistenza agli acidi oppure l'aggiunta di molibdeno che permette di migliorare la resistenza all'usura.

Tutti gli acciai presenti sul mercato sono caratterizzati da una nomenclatura alfanumerica che permette di conoscere l'impiego e le principali caratteristiche.

Esaminando gli acciai di tipo strutturale, per carpenterie metalliche, troveremo la lettera S (uso strutturale, appunto) seguito da un numero che ne definisce la tensione di snervamento, una lettera per la resilienza (*J, K, L*) ed una lettera o numero per la temperatura della prova di resilienza.

Ad esempio:

S235J0

- **S** = acciaio da costruzione, uso strutturale;
- **235** = tensione di snervamento espressa in N/mm^2 ;
- **J0** = resilienza minima 27J provata a 0° .

ASPETTI NORMATIVI DELLE STRUTTURE IN ACCIAIO

L'acciaio è soggetto a numerose norme tecniche, sia in riferimento alla situazione normativa italiana sia a quella europea. Sotto l'aspetto delle strutture si differenziano le normative tecniche di prodotto e quelle di costruzione.

Le norme di prodotto riguardano principalmente i processi produttivi, le condizioni tecniche di fornitura e le caratteristiche dimensionali degli elementi, siano essi profili a sezione aperta, profili a sezione cava o laminati.

Queste sono norme europee recepite a livello nazionale tramite l'ente nazionale italiano di unificazione (UNI), tra le quali troviamo le già citate UNI EN 10025, UNI EN 10210, UNI EN 10219, etc.

Altre norme di prodotto sono relative ai collegamenti meccanici, come ad esempio la UNI EN ISO 898, e alle saldature come la UNI EN 9692.

Per quanto riguarda le normative da costruzione si trovano gli Eurocodici, norme europee, e la normativa tecnica italiana.

La normativa tecnica attualmente in vigore in Italia, è il D.M. 17 gennaio 2018 e la relativa circolare del CSLLPP n. 7 del 21 gennaio 2019. Tale normativa, definita NTC2018, consiste in un aggiornamento delle precedenti NTC2008, in cui sono stati aggiornati e rivisti i vari capitoli. Questa norma, di tipo prestazionale, definisce i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e di stabilità, sia in condizioni standard, sia in caso di incendio, e in termini di durabilità.

Le disposizioni contenute nei vari capitoli delle NTC consentono di eseguire le verifiche necessarie, proponendo formulazioni e procedimenti in grado di soddisfare tali prestazioni.

Oltre a tali procedimenti di calcolo, le NTC prevedono una serie di accorgimenti e dettagli da rispettare per prevenire problematiche strutturali e per garantire prestazioni migliori. Quindi è possibile, seguendo le formulazioni proposte dalle NTC, svolgere le verifiche locali dei vari elementi metallici in maniera esauriente.

Per tutto ciò che non si trova nelle pagine delle NTC, le stesse prevedono l'applicazione e quindi l'utilizzo di altre norme di comprovata validità. Ovviamente tra queste si trovano gli Eurocodici strutturali, con le eventuali appendici nazionali, le norme armonizzate UNI EN e le norme dei materiali e di prodotto pubblicate da UNI.

Ad ulteriore integrazione, e per quanto non in contrasto con le NTC2018, è possibile prendere a riferimento le istruzioni del CSLLPP, le linee guida del STC del CSLLPP, le linee guida del MIBACT e le istruzioni e documenti tecnici del CNR.

Un aspetto importante, riportato nel paragrafo 4.2 delle NTC2018, relativo alle costruzioni in acciaio, è la necessità del rispetto dei requisiti per l'esecuzione delle strutture in conformità alla norma europea UNI EN 1090-2. Quindi viene resa cogente anche la parte 2 della suddetta norma, oltre alla parte 1 richiamata nel capitolo 11 in merito all'identificazione e qualificazione di elementi strutturali in acciaio.

Tale norma relativa a «*Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio – Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio*» prevede una serie di requisiti di tolleranza e di assemblaggio, oltre che di preparazione e di esecuzione.

2.1. Norma UNI EN 1090 per le componenti in acciaio

La norma UNI EN 1090 è relativa a componenti sia in acciaio, sia in alluminio; per l'argomento trattato nel presente testo si analizzano solamente le parti relative al materiale acciaio ed alle sue componenti.

La parte 1:2012 «*requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali*», definisce i requisiti di ordine generale che il materiale deve offrire in termini di resistenza e di deformazione, rimandando per i dettagli alla parte 2:2018 «*Requisiti tecnici per strutture di acciaio*».

Quindi la prima parte della norma prevede principalmente indicazioni per i produttori di componenti in acciaio e per i controlli da eseguire durante i processi di produzione in fabbrica.

Un aspetto importante, contenuto nella parte 1, che il professionista deve conoscere, è relativo alla marcatura delle componenti, e la dichiarazione di conformità.

Il materiale conforme e rispondente ai requisiti della norma UNI EN 1090, è accompagnato da una etichetta contenente il marchio CE ed alcuni dati indispensabili per la sua classificazione e certificazione.

- marchio di conformità CE, come da direttiva 93/68/CEE;
- numero di identificazione dell'ente notificato;
- nome o marchio di identificazione e indirizzo registrato del produttore;
- ultime due cifre dell'anno in cui la marcatura è stata applicata;
- numero del certificato;
- numero e riferimento della norma europea;
- descrizione del prodotto;
- informazioni sulle caratteristiche del prodotto, tra cui:
 - dati geometrici (tolleranze dimensionali e di forma);
 - saldabilità (se non richiesta si può trovare NPD);
 - resistenza alla rottura;
 - reazione al fuoco;
 - rilascio di cadmio (deve essere indicato NPD);
 - emissione di radioattività (deve essere indicato NPD);
 - durabilità del componente;
 - classe di esecuzione EXC;

VERIFICHE LOCALI DEGLI ELEMENTI IN ACCIAIO

Le verifiche locali degli elementi in acciaio riguardano:

- verifiche di resistenza;
- verifiche di stabilità;
- verifiche di deformabilità o di spostamenti;
- verifiche dei nodi e collegamenti.

Le verifiche di resistenza e di stabilità sono eseguite agli stati limite ultimi, mentre quelle di deformabilità sono svolte agli stati limite di esercizio.

Le verifiche locali sono eseguite rispetto alle sollecitazioni derivanti da una analisi globale oppure attraverso l'applicazione di azioni di carico, opportunamente amplificate e combinate tra loro, in accordo con le NTC o altra normativa di riferimento. La compresenza di una o più azioni sollecitanti deve essere valutata in sede di verifica, al fine di dimensionare adeguatamente le sezioni resistenti.

3.1. Classificazione delle sezioni

Il primo passo da compiere è l'identificazione della classe della sezione, in conformità alla normativa vigente, NTC2018 §4.2.3.1, in funzione della propria capacità rotazionale.

$$C_{\theta} = \theta_r / \theta_y - 1$$

in cui:

- θ_r = curvatura in corrispondenza della deformazione ultima;
- θ_y = curvatura in corrispondenza della deformazione di snervamento.

La sezione può quindi essere di:

- classe 1;
- classe 2;
- classe 3;
- classe 4.

La classe 1 è definita duttile e consente la formazione di una cerniera plastica con una elevata capacità rotazionale, senza subire riduzioni di resistenza.

In classe 2 è sempre possibile l'analisi plastica e quindi la formazione della cerniera plastica, ma offre una capacità rotazionale inferiore alla classe 1.

La classe 3 non riesce a garantire la plasticizzazione della sezione, e quindi l'analisi deve essere svolta esclusivamente in campo elastico.

La classe 4, invece, è definita snella, e la sua resistenza è ridotta per effetto di fenomeni di instabilità locale di alcune parti della sezione. Si procede pertanto a considerare una sezione efficace, che porta quindi ad una resistenza inferiore.

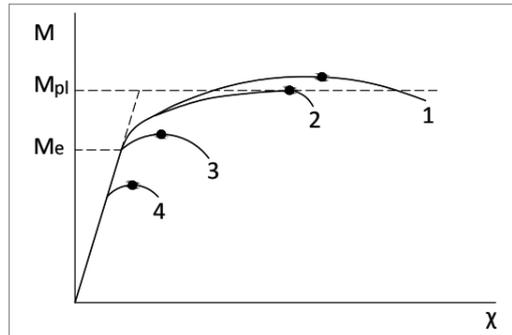


Figura 3.1. Grafico 2 – Momento curvatura sezioni in acciaio in funzione della classe

Per tutte le sezioni è sempre possibile la verifica in campo elastico, quindi sino al raggiungimento del limite di snervamento del materiale, considerando, in caso di sezione in classe 4, la sezione efficace.

Per le sole sezioni di classe 1 e 2, è possibile una analisi plastica, assumendo quindi la completa plasticizzazione della sezione.

La classificazione ai sensi della vigente normativa è determinata in funzione del rapporto tra larghezza e spessore delle parti della sezione soggette a compressione, quindi per analizzare la sezione si devono considerare sia le parti puramente compresse sia le parti compresse per flessione.

Per ciascuna tipologia di sezione e per le varie condizioni di compressione o flessione sono definiti dei limiti per l'appartenenza delle sezioni alle classi 1, 2 e 3, se il valore eccede il limite della classe 3 si definisce in classe 4.

Ciascuna sezione può avere parti appartenenti a classi diverse, ma la classe della sezione è relativa alla classe più alta di ciascuna sua parte.

Ad esempio un profilato ad I potrebbe avere la piattabanda compressa in classe 1 e l'anima inflessa in classe 3. La sezione risulta quindi appartenere alla classe 3.

3.2. Imperfezioni locali

Nelle strutture in acciaio, essendo queste costituite da elementi collegati tra loro meccanicamente, possono verificarsi delle imperfezioni locali, legate alla non perfetta rettilineità o verticalità degli elementi, al non perfetto accoppiamento oppure a piccole eccentricità accidentali dei giunti.

VERIFICA TRAVI IN ACCIAIO

Le travi in acciaio sono elementi posti generalmente in orizzontale oppure inclinati e sono prevalentemente soggetti ad azione flettente.

Il campo di applicazione di tali elementi è molto vasto viste le qualità di resistenza e leggerezza che riescono ad offrire.

Le travi sono quindi membrature inflesse oppure tenso o presso inflesse, caratterizzate spesso da una flessione retta. Capita però di avere travi con sezione ruotata, ad esempio come orditura secondaria di una copertura, che genera una flessione deviata.

Nei casi in cui la sollecitazione predominante è la flessione retta non si distinguono particolari problemi di sezione, per cui le travi possono essere realizzate con qualsiasi sezione tra quelle precedentemente descritte, verificando le caratteristiche geometriche nella sola direzione principale.

Invece nei casi di presso-flessione si deve garantire anche una buona resistenza all'instabilità laterale della trave, per cui si dovrà scegliere una sezione con buone caratteristiche geometriche nelle due direzioni, sia quella in cui agisce il carico, sia quella ortogonale.

4.1. Aspetti importanti e peculiarità

Le travi in acciaio sono generalmente impiegate nella realizzazione degli orizzontamenti di piano o di copertura e soggette prevalentemente a flessione.

La tipologia di sezione di una trave deve quindi essere scelta in funzione delle caratteristiche necessarie e dello schema statico.

Ad esempio per elementi di orditura secondari o altri elementi soggetti a sola flessione retta si possono utilizzare qualsiasi tipologia di sezione, sia a profilo aperto sia a profilo chiuso. Tra queste possiamo trovare anche sezioni sagomate a freddo da lamiere sottili.

Per elementi trave maggiormente caricati, magari soggetti a flessione deviata o presso flessione si dovranno utilizzare sezioni aventi un modulo di resistenza equiparabile in entrambe le direzioni e spessori maggiori per evitare di ricadere nella classe 4.

In generale vengono utilizzati elementi ad I o H, come i profili IPE o HE, i quali garantiscono una notevole resistenza flessionale e spessori maggiori che consentono di avere sezioni in classe 1 o 2, permettendo quindi una completa plasticizzazione della sezione.

Infatti, come descritto in precedenza, le classi 1 e 2 permettono di spingere la sezione fino in campo plastico, mentre la classe 3 non è in grado di sviluppare una resistenza plastica ed è necessario far lavorare la sezione fino al limite elastico.

Per quanto riguarda le sezioni in classe 4, il comportamento è sicuramente di tipo elastico, ma la sezione resistente è inferiore alla sezione lorda, in quanto alcune parti raggiungono un limite di instabilità locale che impediscono una completa utilizzazione del profilo.

Per questo motivo generalmente non si utilizzano i profili in classe 4 per travi principali di solaio o travi appartenenti ai telai portanti di un edificio, ma al più possono essere utilizzati come orditura secondaria. Infatti un utilizzo frequente di profili sottili, che a volte possono ricadere in classe 4, sono i profili ad omega, utilizzati per l'orditura secondaria di tettoie, pensiline o di altre strutture di tipo industriale.

Un aspetto importante da tenere in considerazione per tutte le tipologie di membrature inflesse è legato all'instabilità flessione-torsionale, che comporta una notevole riduzione dell'effettiva resistenza a flessione. Ovviamente questo aspetto è aggravato in caso di elementi soggetti anche a compressione.

4.2. Dettagli normativi

Nel rispetto della vigente normativa, NTC2018, le verifiche sono svolte in termini di stati limite, eseguendo il rapporto tra l'azione sollecitante e quella resistente.

Per quanto riguarda la flessione retta la verifica si esegue ponendo:

$$\frac{M_{ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Il valore del momento resistente, $M_{c,Rd}$ deve tener conto di eventuali fori presenti nella zona tesa della sezione nel caso in cui:

$$\frac{0.9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} < \frac{A_f \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

in cui:

- A_f = area lorda zona tesa;
- $A_{f,net}$ = area zona tesa al netto dei fori;

altrimenti la presenza dei fori non incide nel valore di $M_{c,Rd}$ e può essere trascurata.

Più in generale il valore del momento resistente è calcolato come il prodotto tra il modulo di resistenza W e la tensione di progetto, ottenuta quest'ultima dalla tensione di snervamento dell'acciaio ridotta da un coefficiente di sicurezza.

Questo coefficiente di sicurezza, γ_{M0} , è pari a 1,05.

Come già accennato, a seconda della classe della sezione si potrà fare affidamento alla resistenza plastica del profilo, per le classi 1 e 2, oppure solamente al limite elastico per la classe 3. In caso di sezione in classe 4 si dovrà ridurre la sezione resistente calcolando la zona che raggiunge l'instabilità locale.

CALCOLO DI GIUNTI A SQUADRETTA SULL'ANIMA

Un possibile collegamento tra travi in acciaio è realizzato mediante squadrette e bullonature. Questa tipologia di giunto è schematizzato generalmente come una cerniera consentendo quindi una rotazione, ed è definito come *giunto a parziale ripristino*. Consente infatti di trasferire azioni taglianti e assiali ma non le azioni flettenti.

Per tale motivo è molto utilizzato per il collegamento di travi secondarie, generalmente meno caricate, alle travi principali. Spesso la scelta di questo tipo di giunto deriva dalla ridotta resistenza a torsione delle travi principali, per cui si preferisce operare con un tipo di collegamento che non trasmetta dei momenti torcenti alla trave a cui è collegato.

In generale se una trave viene schematizzata come semplicemente appoggiata si studierà e realizzerà un collegamento a squadretta.

Il collegamento a squadretta è realizzato mediante dei profili angolari bullonati all'anima della trave ed all'elemento a cui è collegato.

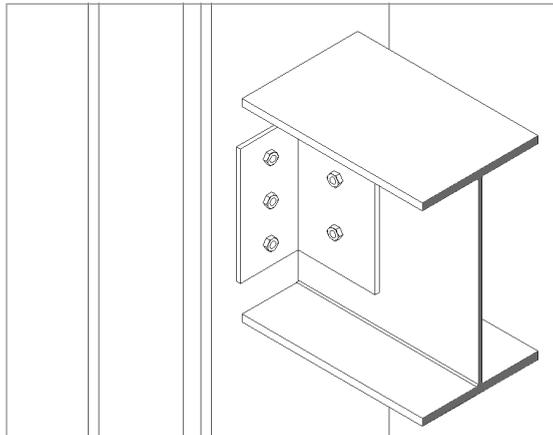


Figura 5.1. Esempio di giunto a squadretta

5.1. Aspetti importanti e peculiarità

Il collegamento a squadretta prende il nome dall'elemento utilizzato per completare l'unione. Si utilizza infatti una porzione di profilato angolare (squadretta) collegato da un lato alla trave principale e dall'altro a quella secondaria.

Questa tipologia di collegamento può essere utilizzata anche per collegamenti trave colonna o per fissaggi di travi in acciaio a strutture in c.a. L'unico aspetto importante è la trasmissione del solo taglio, con l'annullamento del momento.

Per garantire il funzionamento a cerniera il giunto deve essere in grado di consentire una rotazione, senza appunto trasmettere la sollecitazione flettente. A tale scopo la trave è generalmente distanziata, dalla colonna o altro elemento a cui è fissata, della misura dello spessore dell'angolare di collegamento.

Quindi la rotazione ammissibile è determinata dal rapporto tra lo spazio libero concesso alla trave e la distanza tra la piattabanda inferiore e lo spigolo inferiore della squadretta.

$$\tan \varphi \cong \varphi = \frac{t_p}{h_e}$$

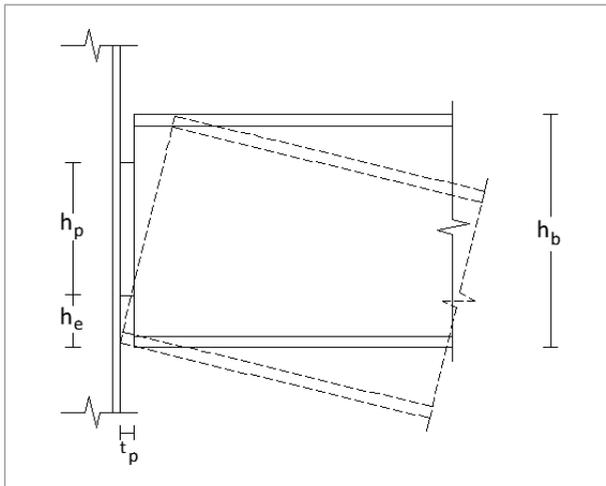


Figura 5.2. Rotazioni consentite in un giunto a squadretta

Per garantire che il collegamento con angolari d'anima trasmetta la sollecitazione di taglio alla colonna o altro elemento di supporto, si deve accertare che:

- la resistenza a taglio di progetto dei bulloni che connettono la squadretta d'anima sia maggiore della sollecitazione di taglio;
- l'anima della trave, al netto dei fori, sia in grado di resistere alla sollecitazione di taglio;
- la resistenza a rifollamento dell'anima e della squadretta siano maggiori della sollecitazione di taglio.

5.2. Dettagli normativi

Le unioni delle membrature in acciaio sono normate dalle NTC2018 al § 4.2.8. Le indicazioni normative impongono che ciascun collegamento sia in grado di soddisfare le con-

CALCOLO GIUNTO FLANGIATO TRAVE-COLONNA

Un'altra tipologia di collegamento bullonato è il giunto flangiato, utilizzato frequentemente nel collegamento trave-colonna. Il giunto è caratterizzato da una piastra saldata in tesa alla trave e collegata mediante bullonatura alla colonna o ad altro elemento. Tale piastra denominata appunto *flangia* di estremità può avere dimensioni pari alla trave, e ricadere quindi nell'ingombro della sezione della trave oppure avere dimensioni maggiori.

Questa tipologia di collegamento fornisce un comportamento del nodo di tipo semi-rigido oppure rigido, e consente spesso un collegamento a completo ripristino di resistenza. Per incrementare la rigidità del nodo si dovranno prevedere irrigidimenti trasversali, oltre che per la flangia, anche per la colonna.

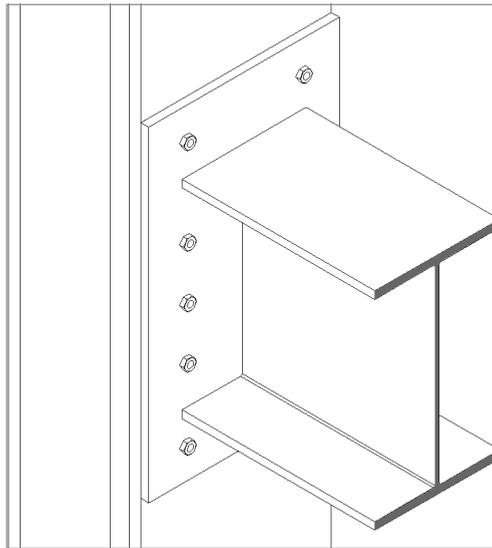


Figura 6.1. Esempio di giunto flangiato

6.1. Aspetti importanti e peculiarità

Il collegamento flangiato permette di trasmettere le sollecitazioni dalla trave all'elemento a cui è collegato, compresa anche l'azione flettente. Quindi è fondamentale che il collegamento riesca a garantire resistenze e deformazioni congrue con la modellazione esegui-

ta. Per permettere questo, ciascun componente facente parte del collegamento deve resistere alle sollecitazioni esterne con adeguato margine di sicurezza.

Oltre alle azioni esterne, per un collegamento, è importante tenere di conto delle eccentricità nelle intersezioni o nelle applicazioni dei carichi, che portano a sollecitazioni parassite. Il collegamento nel suo complesso deve essere in grado di resistere anche a queste sollecitazioni in aggiunta a quelle trasmesse dalla trave.

Il collegamento in questione è di tipo bullonato, per cui devono essere rispettate tutte le indicazioni sulle distanze e interassi tra i fori riportate in normativa.

Generalmente i giunti flangiati sono sottoposti ad azioni di taglio e flessione. Quindi si individuano connessioni di taglio e connessioni di trazione. Nel caso di coesistenza delle due sollecitazioni è opportuno combinare i risultati delle verifiche, come di seguito indicato.

Per lo studio di questo collegamento si possono seguire due metodologie di calcolo che si distinguono in funzione della rigidità della flangia. Infatti è possibile considerare una flangia infinitamente rigida, quindi affidando la trazione a tutti o parte dei bulloni e la compressione ad una porzione di flangia rimanendo in campo elastico, oppure deformabile, quindi analizzando un collasso dovuto a tutti i possibili meccanismi di rottura della flangia e della bullonatura, analizzandola fila per fila.

Come detto in precedenza tutti gli elementi devono garantire la resistenza necessaria, pertanto seguendo le indicazioni riportate nell'Eurocodice 3 parte 1-8, si devono analizzare:

- flangia;
- bulloni;
- ala della colonna;
- anima della colonna;
- ala della trave;
- anima della trave;

verificando che nessun elemento offra una resistenza minore a quella di calcolo.

6.2. Dettagli normativi

La vigente normativa di calcolo, NTC2018, per i collegamenti bullonati riporta alcune indicazioni e limitazioni geometriche sulla distanza ed interasse tra i fori, oltre ad indicare le formule per la determinazione dei valori di resistenza delle singole componenti il giunto.

Trattandosi di un collegamento bullonato si deve porre attenzione al gioco foro-bullone, all'interasse dei fori ed alle distanze degli stessi fori dai lati liberi degli angolari.

Si definisce gioco *foro-bullone* lo spazio interposto tra il foro ed il bullone.

Questo in alcuni casi può generare assestamenti che comportano eccessive deformazioni e spostamenti della struttura che possono causare il superamento del limite di deformabilità.

Come già descritto in precedenza, questo tipo di collegamento deve essere in grado di consentire le necessarie rotazioni, il gioco foro-bullone consentirebbe una rotazione che però si verificherebbe al momento del montaggio, quindi prima del sopraggiungere delle deformazioni dovute ai carichi, incrementando così lo stato deformativo della trave.

VERIFICA PILASTRI IN ACCIAIO

I pilastri in acciaio sono elementi strutturali posti generalmente con asse verticale aventi la funzione di trasmettere tutti i carichi, agenti su di essi, verso la struttura di fondazione. Sono soggetti a carichi sia verticali che orizzontali, e sono generalmente sollecitati a pressoflessione retta o deviata. Questi elementi strutturali caratterizzano le strutture a telaio, insieme alle travi ed ai collegamenti tra i vari elementi.

L'utilizzo di telai in acciaio è abbastanza diffuso per la realizzazione di strutture con grandi luci, in cui si richiedono ingombri ridotti e spessori contenuti degli elementi portanti. Grazie alle caratteristiche dell'acciaio, a parità di resistenza, un pilastro metallico avrà una ridotta sezione rispetto ad esempio ad un pilastro in c.a..

7.1. Aspetti importanti e peculiarità

I pilastri in acciaio costituiscono la struttura verticale portante di un edificio o di una costruzione in generale, e come visto sono soggetti generalmente a pressoflessione.

Spesso la flessione in una direzione è prevalente sull'altra, grazie ad esempio all'inserimento di controventature, ma talvolta si hanno colonne in cui le sollecitazioni flettenti nelle due direzioni sono equiparabili. È quindi fondamentale analizzare questi aspetti in fase progettuale ed utilizzare idonee sezioni, anche con l'inserimento di irrigidimenti, al fine di garantire la giusta resistenza a presso-flessione deviata.

Le sezioni metalliche più utilizzate in campo strutturale sono generalmente i profilati a caldo a sezione ad I o ad H; questi hanno però l'inconveniente di avere una forte discrepanza tra le resistenze flessionali nella direzione principale rispetto a quella secondaria. È infatti molto diverso il modulo di resistenza nella direzione dell'anima, detto appunto asse forte, e quella ortogonale, asse debole.

Per utilizzare questi elementi si deve quindi ricorrere all'inserimento di piatti di irrigidimento nella direzione più debole al fine di incrementarne la resistenza flessionale.

I pilastri sono elementi che devono offrire una elevata resistenza, in particolare, per la progettazione in capacità, devono offrire una resistenza superiore a quella delle travi, in modo che sia evitata una prematura formazione di cerniere plastiche

Per questo motivo è preferibile utilizzare sezioni appartenenti alla classe 1 o 2, che garantiscono una resistenza in campo plastico.

Sicuramente devono essere evitati i profili in classe 4, caratterizzati da fenomeni di instabilità locale, che ne determinano una notevole riduzione di resistenza.

Proprio per la loro caratteristica di sollecitazione principale, i pilastri, sono soggetti a fenomeni di instabilità, spesso anche molto importanti. Infatti oltre all'instabilità dovuta ai momenti flettenti nelle due direzioni troviamo spesso un aggravio causato dall'elevato sforzo normale di compressione.

7.2. Dettagli normativi

Nel rispetto della vigente normativa, NTC2018, le verifiche sono svolte in termini di stati limite, eseguendo il rapporto tra l'azione sollecitante e quella resistente.

In generale per sollecitazioni di presso-flessione deviata si deve rispettare:

$$\left(\frac{M_{y,ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

in cui:

- $M_{N,Rd}$ è il momento resistente della sezione in condizioni di sforzo normale, per le quali le NTC2018 forniscono delle formule di calcolo ma esclusivamente per sezioni ad I o H.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0.5 \cdot a} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad \text{per } n \leq a$$

oppure

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad \text{per } n > a$$

in cui:

- $M_{pl,y,Rd}$ = momento resistente plastico per flessione retta nel piano dell'anima;
- $M_{pl,z,Rd}$ = momento resistente plastico per flessione retta nel piano delle ali.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$a = \frac{(A - 2 \cdot b \cdot t_f)}{A} \leq 0.5$$

Se invece la sezione non è doppiamente simmetrica ad I o H, si deve utilizzare un metodo di comprovata validità, riducendo il momento resistente per effetto dello sforzo normale di progetto.

Possiamo quindi utilizzare la UNI EN 1993-1-1 in cui sono esplicitate formule anche per le sezioni cave ed i tubolari.

L'Eurocodice 3 prevede diverse casistiche e permette pertanto l'impiego anche di sezioni diverse.

VERIFICA PIASTRE DI BASE

Nella progettazione di strutture in acciaio una particolare attenzione deve essere affidata al collegamento di base, che può essere schematizzato come una cerniera oppure come un incastro. La scelta dell'una o dell'altra schematizzazione è effettuata dal progettista in funzione del comportamento strutturale ricercato.

A seguito della scelta è importante verificare adeguatamente la connessione e gli elementi che costituiscono la connessione stessa. Generalmente il vincolo di base è ottenuto mediante una piastra saldata al piede della colonna in acciaio e fissata mediante tirafondi alla struttura di fondazione in cemento armato.

La verifica di questo importante nodo strutturale, viene eseguita comunemente per presflessione. L'ipotesi di base è quella per cui si prevedono due file di bulloni, una sicuramente compressa e l'altra probabilmente tesa.

Quindi la determinazione del momento resistente avviene tramite una sezione in c.a. in cui si affida la compressione all'area del supporto compressa, la trazione ai tirafondi.

Il metodo di calcolo utilizzato è definito dall'Eurocodice 3 come «*Equivalent T-Stub*».

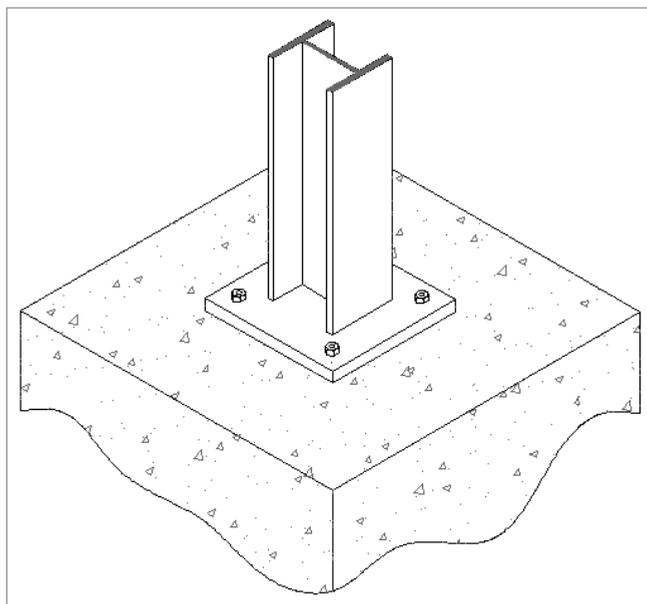


Figura 8.1. Esempio di giunto di base

8.1. Aspetti importanti e peculiarità

Il vincolo di base è fondamentale nell'analisi globale di una struttura, ne determina il comportamento e quindi le sollecitazioni risultanti.

Questo vincolo può essere del tipo *a cerniera* oppure *ad incastro*:

- nel primo caso le sollecitazioni saranno assiali, generalmente di compressione e più raramente di trazione, e trasversali, di taglio;
- nel secondo caso si avrà anche una sollecitazione di tipo flettente.

Ai sensi delle vigenti normative le strutture devono essere studiate oltre che in condizioni statiche anche in condizioni sismiche, garantendo il requisito di duttilità, e rispettando la gerarchia delle resistenze.

Per tale principio, i collegamenti di base, devono risultare sovraresistenti rispetto alle relative colonne, anche in virtù dell'ipotesi di formazione di una cerniera plastica al piede della colonna.

La sovraresistenza del giunto è espressamente richiesta dalla normativa tecnica vigente in caso di progettazione in capacità, quindi progettando il comportamento della struttura di tipo dissipativo, con formazione di cerniere plastiche.

Le stesse NTC2018 prevedono anche la possibilità di progettare una struttura con comportamento non dissipativo.

Questo comporta una minor riduzione delle azioni sismiche, per effetto di un fattore di struttura inferiore, e quindi sollecitazioni maggiori, ma permette di trascurare il principio della gerarchia delle resistenze ed il requisito di duttilità.

8.2. Dettagli normativi

Come scritto in precedenza, le NTC2018 consentono la scelta della progettazione di una struttura dissipativa o non dissipativa:

- nel primo caso la struttura deve possedere capacità di formazione di cerniere plastiche e rispettare tutti i requisiti di gerarchia delle resistenze riportati al capitolo 7 della vigente norma nazionale;
- nel secondo caso invece le strutture non devono necessariamente rispettare tali requisiti e possono attenersi alle sole indicazioni riportate nel capitolo 4.

Nello specifico dei collegamenti di base, la sostanziale differenza tra la progettazione in capacità o meno è legata al valore minimo del momento resistente che l'elemento di base deve rispettare secondo il principio della sovraresistenza:

$$M_{j,Rd} \geq 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot M_{cpl,RD}(N_{ed})$$

in cui:

- $M_{cpl,RD}(N_{ed})$ = momento resistente a flessione della colonna, in condizioni di sforzo normale più gravoso per il giunto di base;
- γ_{ov} = coefficiente di sovraresistenza, per acciai S235, S275 e S355 = 1,25.

SEZIONI IN CLASSE 4

Nel corso di questo testo, più volte sono stati menzionati i profili in classe 4 e la loro ridotta resistenza per effetto di fenomeni di instabilità locale. I profili classificati in questa classe sono infatti caratterizzati da sezioni con spessori ridotti e quindi molto snelle.

Personalmente cerco di non impiegare questi elementi come membratura principale, al fine di evitare i tanto dannosi effetti di instabilità. Talvolta però, come già detto nel capitolo 4, è frequente l'impiego di profili ad omega come orditura secondaria di coperture metalliche. Questi profili, formati a freddo mediante piegatura di lamiere sottili, spesso possono ricadere in classe 4. In questo ultimo capitolo non si ripeteranno tutte le nozioni teoriche già presenti nei precedenti capitoli, ma si procederà ad analizzare un profilo ad omega, in classe 4, soggetto a flessione retta, al fine di determinare le caratteristiche geometriche efficaci.

9.1. Esempio svolto

Per l'esempio si considera un profilo formato a freddo sagomato ad Omega di 40x300x100x2 in acciaio S355.

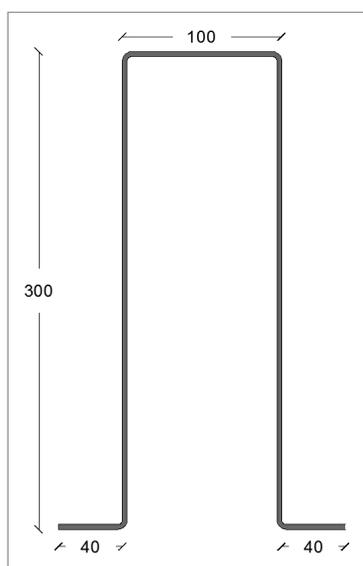


Figura 9.1. *Rappresentazione grafica del profilo sagomato ad omega*

Le dimensioni del profilo in esame sono state scelte per analizzare la sezione interamente in classe 4, sia per la parte compressa, sia per quella tesa.

Trattandosi di una sezione sottile formata a freddo, come riportato nella Circolare n. 7/2019, per la classificazione della sezione, la larghezza degli elementi piani deve essere misurata dai punti medi di raccordo di due lati adiacenti.

Quindi si considera il valore del raggio medio pari a:

$$r_m = r + 0.5 \cdot s$$

La proiezione del segmento PX è pari a:

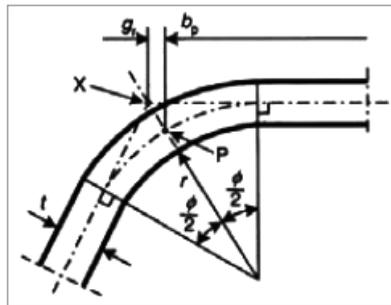


Figura 9.2. Rappresentazione grafica della piegatura del profilo per la determinazione delle larghezze degli elementi piani

$$g_r = r_m \cdot \left[\tan\left(\frac{\varphi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right]$$

con φ = angolo di inclinazione delle anime, quindi 90° , nel caso in esame.

$$r_m = 2 + 0.5 \cdot 2 = 3.00 \text{ mm}$$

$$g_r = 3.00 \cdot \left[1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \right] = 0.8787 \text{ mm}$$

La classe viene determinata sia per l'anima verticale inflessa, sia per la piastrina superiore compressa.

Il valore di $\varepsilon = 0.8136$.

– *Anima inflessa:*

$$c = h_{prof} - s_{prof} - (2 \cdot g_r)$$

$$c = 300 \text{ mm} - 2 \text{ mm} - (2 \cdot 0.8787 \text{ mm}) = 296.2426 \text{ mm}$$

$$c/s_{prof} = 296.2426 \text{ mm} / 2 \text{ mm} = 148.1213$$

tale valore ricade nella classe 4, in quanto maggiore a $124 \cdot \varepsilon = 100,886$

INSTALLAZIONE E ATTIVAZIONE DEL PACCHETTO DI WEBAPP “STRUTTURE IN ACCIAIO”

L’acquisto della presente pubblicazione include un abbonamento annuale al pacchetto di WebApp **STRUTTURE IN ACCIAIO** della piattaforma **ingegnerone.com**.

Le WebApp, che sono sviluppate con tecnologia *cloud* e quindi accessibili da qualsiasi dispositivo, permettono l’automatizzazione di procedimenti spesso complessi o iterativi e sono quindi un ottimo strumento di sussidio alla progettazione strutturale. Permettono di eseguire un innumerevole quantitativo di processi di calcolo in pochi secondi, lasciando tuttavia al professionista la possibilità di modificare i metodi di calcolo e garantire una personalizzazione della verifica da svolgere.

Le WebApp del pacchetto **STRUTTURE IN ACCIAIO** consentono la verifica di elementi in acciaio e dei collegamenti relativi alle seguenti tipologie:

- **Trave in acciaio** – Verifica di elementi inflessi con possibilità di calcolo secondo schema o secondo sollecitazioni, utilizzo di molteplici tipologie di profilo, anche in classe 4, verifiche a SLU, a SLE, compresa la verifica di instabilità flesso-torsionale.
- **Giunto bullonato a squadretta** – Calcolo del collegamento bullonato a squadretta d’anima, verifiche di tutti gli elementi costituenti il giunto, scelta del numero dei bulloni, e degli angolari.
- **Giunto flangiato** – Calcolo del collegamento bullonato con flangia d’estremità, possibilità di scelta del metodo di calcolo (flangia infinitamente rigida, o flangia flessibile), disposizione libera della bullonatura, con restituzione grafica del giunto.
- **Pilastro in acciaio** – Verifica di elementi presso-inflessi, soggetti a compressione e flessione deviata, con possibilità di scelta tra numerose tipologie di profilo, verifiche a SLU, a SLE, compresa la verifica di instabilità flesso-torsionale.
- **Giunto di base** – Calcolo del collegamento al piede dei pilastri in acciaio, realizzato con una piastra di base fissata mediante tirafondi alla fondazione in c.a.

Il pacchetto **STRUTTURE IN ACCIAIO** è concesso in abbonamento gratuito per 12 mesi dall’attivazione. Allo scadere dell’abbonamento gratuito il portale proporrà automaticamente il rinnovo e la scelta delle modalità per addebito del pagamento. I prezzi dei piani di abbonamento sono consultabili sul sito **www.ingegnerone.com**.

Nessun pagamento verrà richiesto fino al termine del periodo gratuito.

Il codice di attivazione del pacchetto **STRUTTURE IN ACCIAIO** in abbinamento all’acquisto della presente pubblicazione è utilizzabile una sola volta.

10.1. Requisiti hardware e software

- Accesso ad internet e browser web;
- Software per la gestione di documenti Office e PDF.

10.2. Attivazione del pacchetto STRUTTURE IN ACCIAIO

- 1) Collegarsi al seguente indirizzo internet:

https://www.grafill.it/pass/0157_7.php

- 2) Inserire i codici “A” e “B” (vedi ultima pagina del volume) e cliccare [**Continua**];
- 3) **Utenti già registrati su www.grafill.it**: inserire i dati di accesso e cliccare [**Accedi**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**];
- 4) **Utenti non ancora registrati su www.grafill.it**: cliccare [**Iscriviti**], compilare il form di registrazione e cliccare [**Iscriviti**], accettare la licenza d’uso e cliccare [**Continua**];
- 5) Un codice per l’attivazione del pacchetto di WebApp **STRUTTURE IN ACCIAIO** della piattaforma **ingegnerone.com** sarà inviato all’indirizzo e-mail inserito nel form di registrazione.



Manuale teorico-pratico rivolto a tutti i professionisti che si trovano a progettare costruzioni in acciaio, oltre a quelli che si affacciano a questo tema per la prima volta con procedimenti di calcolo di alcune tra le più importanti verifiche da svolgere in una struttura metallica.

Sono trattate le verifiche locali degli elementi in acciaio, le analisi e le verifiche di travi e pilastri in acciaio ed i collegamenti bullonati.

Il testo è strutturato in nove capitoli, tra i quali i primi tre forniscono nozioni generali. I successivi cinque capitoli affrontano specifici argomenti, analizzando prima gli aspetti peculiari e le normative, successivamente il procedimento di calcolo con spiegazioni dettagliate ed esempi svolti.

L'ultimo capitolo analizza un esempio di calcolo delle caratteristiche geometriche di un profilo piegato ad omega in classe 4, per determinare il modulo di resistenza effettivo, necessario per la determinazione della resistenza flessionale.

L'acquisto della presente pubblicazione include un abbonamento annuale al pacchetto di **WebApp STRUTTURE IN ACCIAIO** della piattaforma **ingegnerone.com**, che consentono la verifica di elementi in acciaio e dei collegamenti relativi alle seguenti tipologie:

- **Trave in acciaio** – Verifica di elementi inflessi con calcolo secondo schema o sollecitazioni, utilizzo di molteplici tipologie di profilo, anche in classe 4, verifiche a SLU, a SLE, compresa la verifica di instabilità flesso-torsionale.
- **Giunto bullonato a squadretta** – Calcolo del collegamento bullonato a squadretta d'anima, verifiche degli elementi costituenti il giunto, scelta del numero dei bulloni e degli angolari.
- **Giunto flangiato** – Calcolo del collegamento bullonato con flangia d'estremità, scelta del metodo di calcolo (flangia infinitamente rigida, o flangia flessibile), disposizione libera della bullonatura e restituzione grafica del giunto.
- **Pilastro in acciaio** – Verifica di elementi presso-inflessi, soggetti a compressione e flessione deviata, con scelta tra numerose tipologie di profilo, verifiche a SLU, a SLE, compresa la verifica di instabilità flesso-torsionale.
- **Giunto di base** – Calcolo del collegamento al piede dei pilastri in acciaio, realizzato con una piastra di base fissata mediante tirafondi alla fondazione in c.a..

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Accesso ad internet, browser web e software per la gestione di documenti Office e PDF.

Dario Pagni, Ingegnere Civile strutturista, svolge prevalentemente attività di progettazione e direzione dei lavori strutturali. Sviluppa da oltre dieci anni software di calcolo strutturale, ed è fondatore della piattaforma di calcolo online "Ingegnere.com".



Assistenza
tecnica

ISBN 13 978-88-277-0157-7



9 788827 701331 >

Euro 35,00