

Parte 22: giunzioni

Indice

Unioni bullonate	2
Metodo delle tensioni ammissibili	4
Verifica a taglio	7
Verifica delle piastre	9
Verifica a rifollamento	10
Disposizioni costruttive	11
Metodo degli stati limite	12
Disposizioni costruttive	13
Verifica a taglio	13
Verifica a trazione degli elementi connessi	14
Verifica a rifollamento	14
Verifica a trazione dei bulloni	15
Verifica a punzonamento degli elementi connessi	15
Verifica dei bulloni con stato di sollecitazione composto	16
Unioni a taglio con bulloni ad alta resistenza	16
Saldature	18
Saldature a completa compenetrazione	18
Saldature d'angolo	20
Calcolo delle tensioni	23
Aggiunte dell'Eurocodice	23
Serie di esempi sulle slide: pp. 32-36	25
Fatica	25

Unioni bullonate

In generale si può parlare di giunti smontabili o fissi a seconda che la giunzione preveda una disassemblaggio debba essere fissa.

Esempi più classici sono rispettivamente le unioni bullonate e le saldature.

Un bullone è l'insieme di vite e dado.

La vite è un elemento dotato di testa e gambo sul quale viene realizzata una filettatura che renda possibile il modo d'avanzamento della vite stessa, questa filettatura non fa altro che indebolire il gambo: rimuovendo materiale la sezione resistente si riduce e si producono concentrazioni di tensione dovute alle forme acute degli scavi.

Nell'oggetto vite l'analisi della tensione può essere effettuata in maniera nominale, andando a considerare quindi l'assenza della variazione di forma, oppure localmente andando ad effettuare una valutazione delle concentrazioni di tensione effettive.

Il dimensionamento di un'unione bullonata, a seconda delle normative seguite, può avvenire sul piano delle tensioni ammissibili oppure spostando l'attenzione sui carichi transitanti attraverso lo studio degli stati limite.

In entrambi in casi, in condizioni di dimensionamento statico, si perde qualunque informazione sullo stato tensionale locale di una vite.

La normativa storica italiana sulle giunzioni bullonate è la UNI10011 che analizza lo stato tensionale sul bullone per via deterministica, confrontando lo stato tensionale effettivo con quello ammissibile introducendo una serie di fattori di sicurezza.

Le normative più recenti così come gli EUROCODICE introducono come metro di giudizio il carico transitante sul bullone, questo dovrà stare al di sotto di un limite di resistenza.

Con questo approccio il carico limite viene commisurato alla probabilità che l'evento accada utilizzando dei coefficienti parziali di sicurezza sul carico limite che descrivono questo approccio probabilistico.

A seconda del tipo di analisi che si vuole fare si parlerà di analisi lineari, a snervamento oppure a snervamento superato, si procederà con un'analisi non lineare che preveda una redistribuzione dei carichi.

UNIONI BULLONATE: CLASSIFICAZIONE BULLONI

Normativa Tecnica DM 14/01/08						
Vite Dado	Normali			Ad alta resistenza		
	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9	
[UNI EN ISO 898-1:2001]						
Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9	
f_u (N/mm ²)	240	300	480	649	900	
f_b (N/mm ²)	400	500	600	800	1000	
CNR-UNI 10011						
Vite	4.6	5.6	6.6	8.8	10.9	12.9
Dado	4 D	5 D	6 D	6 S	8 G	10 K
[UNI 3740]						
Tensione ammissibile						
Classe Vite	f_u Normali	f_u Normali	f_u Normali	f_u Normali	$\sigma_{s,am}$ Normali	$\tau_{s,am}$ Normali
4.6	400	540	840	1160	1113	
5.6	600	800	1200	1600	1411	
6.8	800	1000	1500	2000	1700	
8.8	900	1200	1800	2273	2044	
10.9	1000	1300	2000	2467	2300	
<small>f_u è calcolato per il minore dei due valori: $f_u = 0.7 \cdot f_u^*$ e f_u^* essendo f_u^* ed f_u tensioni di rottura e di snervamento</small>						
<small>$\sigma_{s,am}$ e $\tau_{s,am}$ tensioni ammissibili a trazione ed a taglio;</small>						

L'accoppiamento vite-dado prevederà anche l'utilizzo di rosette.

Quelle classiche aiutano a redistribuire la pressione: siccome la rigidezza di contatto è proporzionale alla superficie di contatto tra le piastre e tra testa-piastra, allora ingrandire la superficie di contatto sulla piastra attraverso la rosetta permette di accrescere le prestazioni della giunzione.

In alcuni casi la rosetta è elastica, utile ad avere una spinta sul dado e diminuire le probabilità di auto svitamento.

Un altro sistema anti-svitamento può essere il controdado: la pressione che si instaura tra i filetti quando si va ad includere il secondo dado, permette di avere una configurazione più salda.

Il classico bullone è un sistema che viene montato senza interferenza né contatto con le piastre: il foro realizzato sulle piastre è di dimensioni maggiori rispetto alla dimensione massima d'ingombro con la vite, questo perché nelle condizioni ideali la vite deve lavorare esclusivamente a trazione.

La classificazione delle viti segue uno standard costante all'interno delle normative vigenti: questa viene infatti classificata con due numeri

1. Il primo numero rappresenta la classe di resistenza a rottura.
2. Il secondo numero rappresenta il rapporto percentuale tra snervamento e rottura.

Ad esempio per una vite classe 8.8, la resistenza a rottura è

$$R_m = 8 \times 100 = 800 \text{ MPa}$$

Mentre il rapporto percentuale sarà pari all'80% della rottura ovvero

$$R_s = 640 \text{ MPa}$$

Avere un secondo numero basso significa avere un'elevata riserva plastica ma una bassa resistenza elastica, al contrario si avrà una ridottissima riserva plastica e un elevatissima resistenza a snervamento.

Sopra la classe 8.8 le viti sono alto-resistenziali: rottura e snervamento sono molto elevati.

I dadi invece hanno una numerazione che tiene conto esclusivamente della classe di resistenza a rottura.

Le normative danno anche i valori di riferimento per i laminati che debbano essere collegati tramite giunzioni bullonate

ACCIAI PER STRUTTURE METALLICHE: Normativa Tecnica DM 14.01.2008

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{vk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{lk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{vk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{lk} [\text{N/mm}^2]$
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Figura 1: Resistenze minime da garantire

Se il materiale è meno resistente da quello indicato in normativa allora non può essere utilizzato.

f_y è il limite di snervamento mentre f_g è quello di rottura.

Ovviamente le tensioni ammissibili dei materiali non sono assolute e dipendono molto da come è stato realizzato l'oggetto base.

Se viene fornito in laminato, ha già subito delle lavorazioni che hanno fatto variare le dimensioni dei grani, avendo una struttura che da prestazioni differenti rispetto al materiale bulk da fonderia.

Proprio per questo la normativa fornisce le caratteristiche in funzione dello spessore del materiale.

Metodo delle tensioni ammissibili

Per motivi di brevità non si affronterà la caratterizzazione del bullone in termini di rigidezza.

Per valutare il sistema di carichi transitanti sul giunto bullonato si dovrà valutare la rigidezza assiale del bullo alla quale si sommano le rigidezze delle piastre: per valutare il sistema di rigidezze fornito dalla piastra si deve valutare la superficie di contatto effettivo tra le piastre magari considerando dei coni di influenza sulla piastra e considerando le rigidezze della piastra in parallelo a quelle della vite.

Ciò che interessa in questa parte di corso è come si verificano i bulloni, come si scelgono secondo la classica UNI10011.

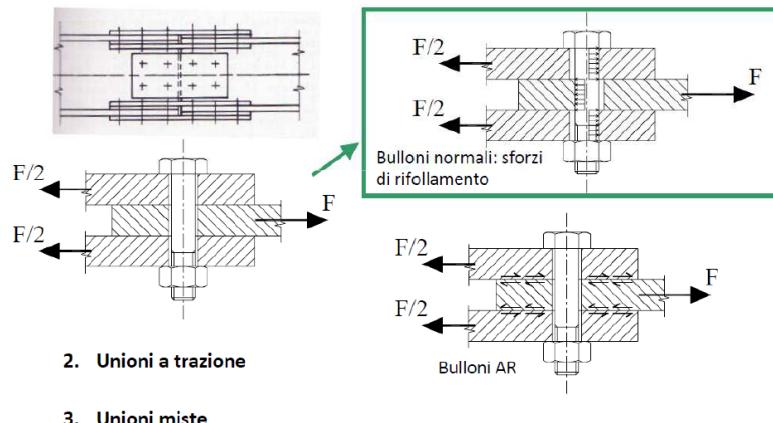
Si fa il dimensionamento della giunzione esclusivamente a taglio, indipendentemente dai carichi transitanti sul bullone.

Questo è il caso in cui un giunto bullonato venga sollecitato nella direzione della piastra e vi sia uno scorrimento delle piastre tale da portare a contatto dei semicilindri di ciascun foro.

UNIONI BULLONATE: CALCOLO

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

1. Unioni a taglio (forze parallele al piano di giunzione)



2. Unioni a trazione

3. Unioni miste

Questa è una tipologia di fenomeno che accade per bulloni non montati con precarico, ovvero bulloni che sono stati serrati esclusivamente per portare a contatto le parti tra loro, senza realizzare una compressione preliminare delle piastre dettata da un serraggio del dado oltre la condizione di semplice contatto fra le parti.

Il precarico si applica soltanto alle viti alto-resistenziali.

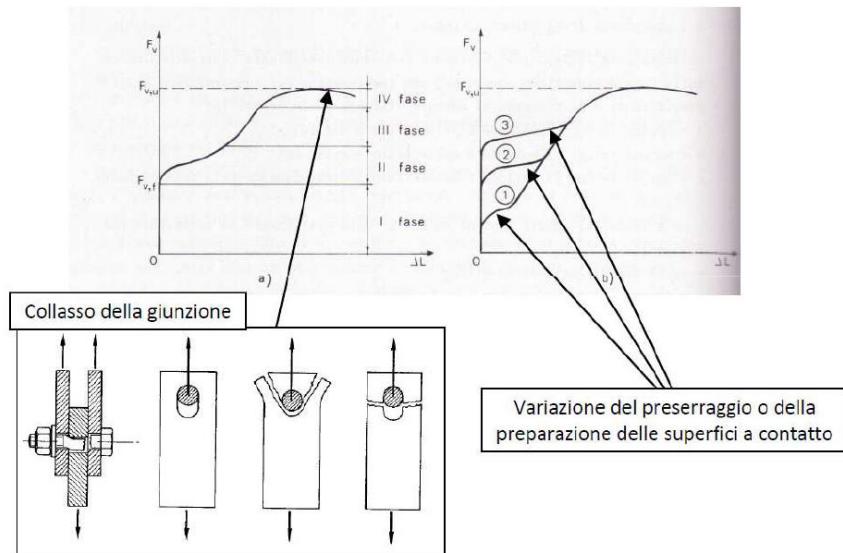
Questa verifica deterministica si applica perciò soltanto ai bulloni normali. A seguito di un carico in una direzione, le piastre collegate mediante il bullone risponderanno con una resistenza nella direzione opposta.

Il comportamento della giunzione è ovviamente non lineare perché si instaurano a seguito di questa applicazione del carico delle possibili non linearità dovute allo scorrimento delle parti in contatto.

La giunzione arriverà al collasso secondo 3 tipologie di danneggiamento.

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

UNIONI BULLONATE A TAGLIO: COMPORTAMENTO

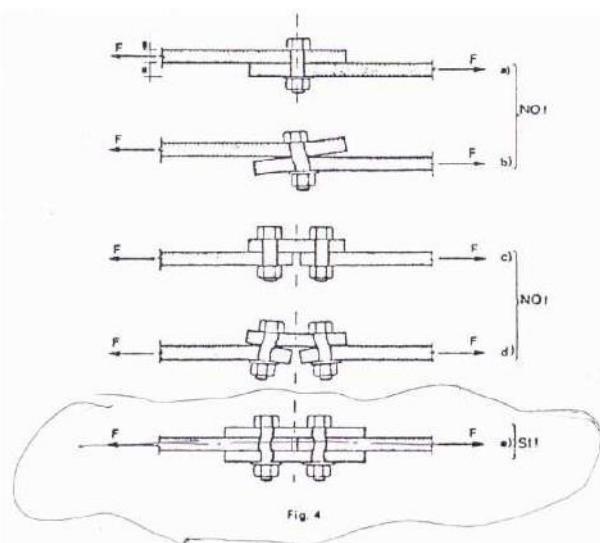


1. Cedimento della vite a taglio;
2. Rifollamento della piastra: le pressioni di contatto sulla piastra nel generano un cedimento locale;
3. Cedimento della sezione resistente rimasta della piastra.

Nel parlare dell'approccio deterministico alla resistenza di un bullone si introducono una serie di ipotesi semplificative come

1. Comportamento perfettamente elastico di bulloni e lamiere.
2. Non c'è trasferimento di carico per attrito: il bullone è collegato senza applicare un'eccessiva pressione tra le parti.
3. Il gambo è sottoposto a sole azioni di taglio.

Al fine di evitare la flessione secondaria del giunto, è buona norma verificare che il carico sul bullone sia simmetrico lungo l'asse.



Per non indurre momenti flettenti nei bulloni e provocare eccessive deformazioni locali, è bene realizzare il giunto simmetricamente.

Figura 2: Buone pratiche di dimensionamento

Verifica a taglio

Lavorando esclusivamente in ambito statico, si ipotizza che il carico della lamiera venga ripartito in modo uniforme su tutti i bulloni presenti nel giunto

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

I) VERIFICA DELLE VITI A TAGLIO

- Si considera un uguale impegno statico dei bulloni (forza ripartita equamente tra i bulloni) se la forza è applicata nel baricentro della bullonatura

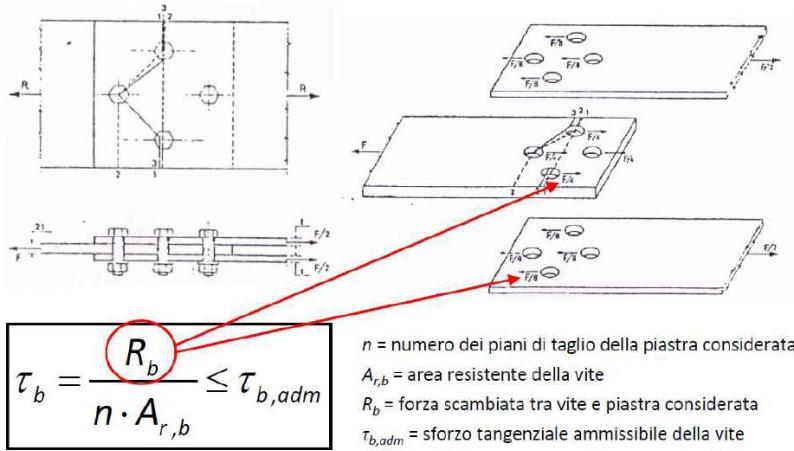


Figura 3: Giunto a 4 bulloni

Il carico F è trasferito sui bulloni con una forza pari ad $\frac{F}{4}$, mentre sulle altre lamiere viene ripartito in $\frac{F}{2}$ e quindi in $\frac{F}{8}$ sui fori corrispondenti.

La tensione di taglio sarà data, secondo normativa UNI, come il rapporto tra il carico transitante sul bullone ed il prodotto tra il numero di piani di taglio della piastra considerata e l'area resistente del bullone.

$$\tau_b = \frac{R_b}{nA_{r,b}}$$

Quindi se si considera la piastra centrale si avranno due piani di carico, lavorando con la lamiera superiore si avrebbe un piano di carico.

Il calcolo a resistenza della vite è identico se si usa la lamiera centrale o quelle superiori.

Ciò che è importante sottolineare è il denominatore.

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

I) VERIFICA DELLE VITI A TAGLIO (2)

$$\tau_b = \frac{R_b}{n \cdot A_{r,b}} \leq \tau_{b,adm}$$

dove:

n = numero dei piani di taglio della piastra considerata

$A_{r,b}$ = area resistente della vite

R_b = forza scambiata tra vite e piastra considerata

$\tau_{b,adm}$ = sforzo tangenziale ammissibile della vite

$$A_{r,b} = \begin{cases} \frac{\pi \cdot d^2}{4} & \text{se la sezione resistente è la parte non filettata del gambo} \\ \frac{\pi \cdot d_{res}^2}{4} & \text{se la sezione resistente è la parte filettata del gambo} \end{cases}$$

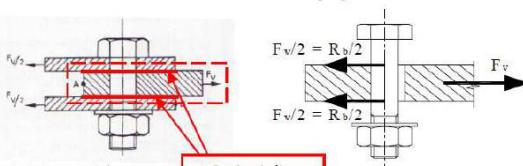
d = diametro nominale della vite

d_n = diametro di nocciolo della vite

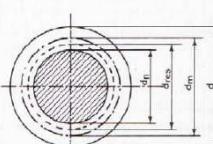
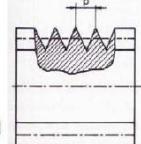
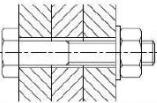
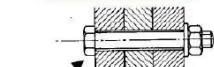
d_m = diametro medio della vite

$d_{res} = (d_n + d_m) / 2$ = diametro della sezione resistente

[BALLIO G., MAZZOLANIF.M., STRUTTURE IN ACCIAIO, HOEPLI]



n. 2 piani di taglio $\Rightarrow n = 2$



L'area resistente del bullone, in condizioni statiche per materiale duttile, si trascura qualunque concentrazione di tensione, tuttavia si considera una differente area resistente in funzione di quale sia la sezione di contatto tra la piastra la vite.

Se si sta valutando una piastra che tocca la vite nella parte non filettata, allora la sezione resistente sarà

$$\frac{\pi d^2}{4}$$

Se invece il bullone è tutto filettato, il contatto si avrà gioco forza sulla parte filettata e l'area resistente sarà pari a

$$\frac{\pi d_{res}^2}{4}$$

In cui il diametro resistente, secondo normativa, è pari alla media tra il diametro di nocciolo ed il diametro medio della vite.

Questo fornisce un approccio equivalente per valutare il rapporto tra la riduzione di sezione ed il materiale resistente della vite.

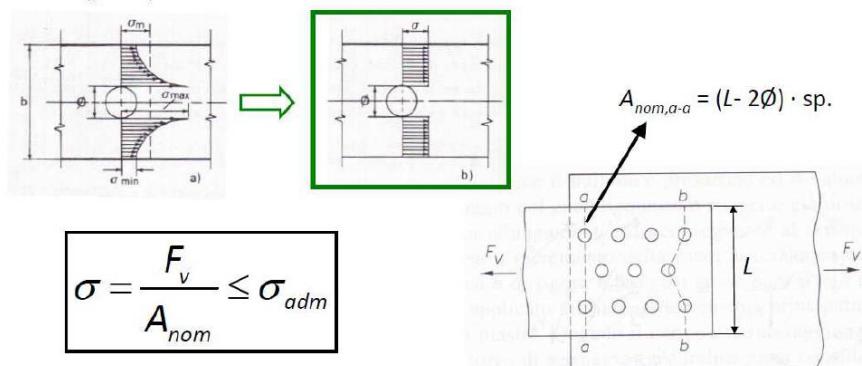
Verifica delle piastre

In realtà non si valuta esclusivamente la resistenza della vite per garantire la resistenza del giunto, infatti interessa il sistema nella sua interezza, il giunto compreso delle flange e dei bulloni, si dovrà verificare anche la resistenza dell'oggetto collegato mediante bullone, il quale risulterà indebolito dalla presenza del foro.

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

II) VERIFICA ELEMENTI INDEBOLITI DAI FORI

- Si considera una distribuzione uniforme delle tensioni nelle sezioni degli elementi connessi (piastre)



dove:

F_v = risultante dei carichi applicato nella sezione di verifica considerata

A_{nom} = area della sezione resistente depurata dai fori

($\emptyset = d + 1$ mm per $d \leq 20$ mm; $\emptyset = d + 1.5$ mm per $d > 20$ mm)

Nell'approccio deterministico per materiale duttile e sollecitazione statica prevede sostanzialmente si utilizzare la tensione nominale.

Quindi considerando il rapporto tra carico transitante sulla PIASTRA e la minima sezione resistente.

$$\sigma = \frac{F_v}{A_{nom}}$$

Dove l'area nominale è data da

$$A_{nom} = (L - n\Phi) \cdot sp$$

Il diametro del foro è sempre maggiore del diametro della vite: si deve permettere il passaggio senza danneggiare la filettatura.

Per piccoli diametri della vite il foro è semplicemente è pari ad 1 mm in più rispetto al diametro della vite.

Per diametri superiori ai 20 mm il diametro del foro è pari al diametro della vite più 1.5 mm.

Manca ogni riferimento alle concentrazioni di tensioni locali, il calcolo viene fatto solamente per via nominale eventuali plasticizzazioni locali di un materiale duttile non danno troppi problemi di resistenza.

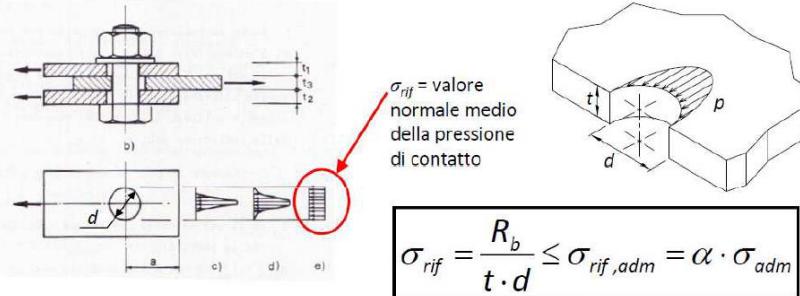
Verifica a rifollamento

Il rifollamento è quel fenomeno - che interessa le piastre - generato dalle pressioni di contatto tra il gambo della vite ed il foro della piastra: è necessario verificare che la piastra non si deformi localmente in maniera eccessiva.

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

III) VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEGLI ELEMENTI CONNESSI (PIASTRE)

- Si considera una distribuzione uniforme della pressione di contatto tra il gambo della vite e la superficie di contorno foro



dove:

$\alpha = a/d$ e comunque non maggiore di 2.5 (se i piatti lavorano a trazione); tipicamente $\alpha = 2$

R_b = forza scambiata tra vite e piastra considerata

$t \cdot d$ = area della proiezione diametrale della superficie cilindrica del gambo della vite per un tratto pari allo spessore della piastra considerata

d = diametro nominale del bullone

La pressione che si instaura è una pressione hertziana la cui distribuzione è parabolica dove il valore di massimo dipende dalle curvature dei materiali.

Sempre in modo conservativo la normativa propone un calcolo semplificato

$$\sigma_{rif} = \frac{R_b}{td}$$

Ovvero il rapporto tra il carico transitante sulla piastra e la sezione normale alla piastra: prodotto tra diametro e spessore.

Questa pressione così determinata dev'essere inferiore ad una tensione di riferimento, questa dipendente dalle dimensioni della piastra, dal diametro del foro e dalla distanza del foro dal bordo della piastra nella direzione del carico, dipende ovvero dal rapporto

$$\alpha = \frac{a}{d} \approx 2$$

Dove a è la distanza dal bordo della piastra al centro foro nella direzione di transito del carico e d è in diametro del foro.

L'ammissibile del materiale diventa così il doppio di quella utilizzata per la verifica a trazione della piastra.

Disposizioni costruttive

I calcoli finora effettuati riguardano il singolo bullone.

È vero che vale la sovrapposizione degli effetti - campo elastico - per cui la resistenza di un bullone può influenzare la resistenza del bullone affianco oppure l'indebolimento della piastra a seguito di un foro possa influenzare anche la sezione del bullone successivo.

Le formule finora utilizzate sono ancora validi finché esista una giusta spaziatura tra i fori dei bulloni.

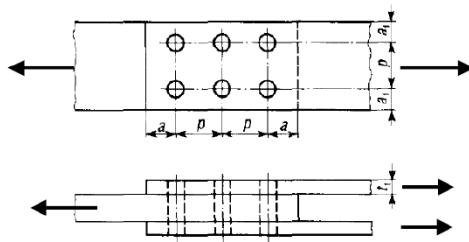
I casi di non rispetto di tali indicazioni, si dovranno prevedere dei calcoli di dettaglio attraverso simulazioni FEM.

1. METODO DELLE TENSIONI AMMISSIBILI (SOLO A TAGLIO)

IV) DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

- Perché siano applicabili i criteri di verifica precedenti e per garantire, nel contempo, compattezza della bullonatura e facilità per le operazioni di serraggio è necessario rispettare le seguenti limitazioni:

- interasse fori in direzione della forza
 - elementi compresi $15 t_{min} \geq p \geq 3 d$
 - elementi tesi $25 t_{min} \geq p \geq 3 d$
- distanza fori dal bordo libero in
 - direzione della forza $a \geq 2 d$
 - bordo non irrigidito $a \leq 6 t_{min}$
 - bordo irrigidito $a \leq 9 t_{min}$
- distanza fori dal bordo libero in
 - direzione perpendicolare alla forza $a_1 \geq 1.5 d$
 - bordo non irrigidito $a_1 \leq 6 t_{min}$
 - bordo irrigidito $a_1 \leq 9 t_{min}$



dove:

t_{min} = minore tra gli spessori degli elementi collegati

La spaziatura è dettata sia da motivi di resistenza che funzionali al fine di garantire la presa con gli utensili.

Metodo degli stati limite

Le recenti normative ricalcano sostanzialmente la normativa europea di riferimento UNIEN1993/EUROCODICE3.

Secondo queste normativi ci sono perciò due tipi di bullone, quelli che vanno precaricati e quelli che non vanno precaricati.

I primi sono esclusivamente bulloni alto-resistenziali, mentre i secondi possono essere tutti, anche i suddetti.

Nel caso di bullone non precaricato l'azione di taglio sulle piastre è nulla: in presenza di un carico nella direzione della piastra, queste scorrono liberamente fino a trovare l'ostruzione del gambo della vite dimensionando quest'ultima solamente a taglio.

Il precarico invece garantisce un comportamento completamente diverso del bullone: inserire un bullone significa avvitare intorno al suo asse un dado per farlo scorrere assialmente, se il bullone non è precaricato quest'azione porta al semplice contatto fra le parti, se invece si continua a serrare si va a creare una sorta di interferenza con la piastra andando a creare una forte compressione tra le parti.

Durante il montaggio il bullone è in contatto con le piastre soltanto mediante la testa del dado e se il precarico è avvenuto correttamente, il bullone manterrà le posizioni qualsiasi sia la forza applicata alla piastra, questo perché il carico generato dal precaricato ha sviluppato una forte forza normale tra le superfici di contatto con relativa azione di attrito, questa sarà la forza resistente che si oppone al carico della giunzione.

In pratica sulla vite esiste esclusivamente un carico di trazione derivante dal serraggio del dado.

Perché preferire un sistema precaricato ad uno non precaricato (entrambi opportunamente verificati)?

Una vite post sollecitazione a taglia una forma irregolare, segno del fatto che il materiale ha scorso in una direzione. Se l'entità dello scorrimento è minore del gioco del foro, allora si riesce a smontare, altrimenti sarà complicato e difficile un suo possibile recupero, il vero sistema smontabile prevederà un precarico adeguato che mantenga in posizione le piastre senza che avvenga scorrimento.

Quant'è il precarico adeguato? Il limite al precarico sarà quello sullo snervamento e sulla rottura del gambo della vite, la normativa corre in soccorso dicendo che un precarico adeguato è tra il 70÷80% dello snervamento.

Per quanto riguarda poi la manutenzione, questa sarà stagionale perché in dipendenza della temperatura: se il bullone avesse un α maggiore di quello delle piastre questo si allungherebbe e si perderebbe precarico; se invece il bullone avesse un α minore di quello delle piastre, durante la dilatazione termica aggiungerebbe precarico.

Disposizioni costruttive

L'eurocodice prende in considerazioni molti più aspetti delle uni già viste, come ad esempio per i bulloni disallineati.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE SECONDO LE NORME TECNICHE (DM 14.01.2008)

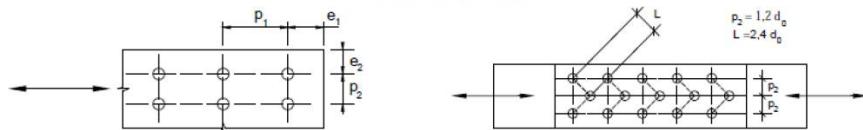


Figura 4.2.3 - Disposizione dei fori per le realizzazioni di unioni bullonate

Distanze e interassi (Fig. 4.2.3)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (EN10025-5)
e ₁	1,2 d ₀	4t+40mm	-	max(8t;125mm)
e ₂	1,2 d ₀	4t+40mm	-	max(8t;125mm)
p ₁	2,2 d ₀	min(14t;200mm)	min(14t;200mm)	min(14t;175mm)
p _{1,0}	-	min(14t;200mm)	-	-
p _{1,1}	-	min(28t;400mm)	-	-
p ₂	2,4 d ₀	min(14t;200mm)	min(14t;200mm)	min(14t;175mm)

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se $(p_i/t) < [9(235/f_y)]^{0.5}$; in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a $0.6 \cdot p_i$.
t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

Verifica a taglio

Si inizia coi bulloni non precaricati, ossia solo quei bulloni che per garantire la resistenza della giunzione devono resistere a taglio.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

I) VERIFICA DELLE VITI A TAGLIO

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$F_{v,Ed}$ = forza scambiata tra vite e piastra sul piano di taglio considerato

$F_{v,Rd}$ = resistenza di calcolo al taglio per la vite considerata

$$F_{v,Rd} = \begin{cases} \frac{0.6 \cdot f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}} & (\text{bulloni classi 4.6, 5.6, 8.8}) \\ \frac{0.5 \cdot f_{tb} A_{res}}{\gamma_{M2}} & (\text{bulloni classi 6.8, 10.9}) \\ \frac{0.6 \cdot f_{tb} A}{\gamma_{M2}} & (\text{se il piano di taglio interessa la parte non filettata della vite}) \end{cases}$$

f_{tb} = resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone

γ_{M2} = coefficiente di sicurezza = 1,25

A_{res} = sezione resistente della parte filettata della vite

A = sezione resistente della parte non filettata della vite

L'approccio semi-probablistico ora impone una disuguaglianza tra carichi transitanti e non più tra tensioni locali.

A sinistra c'è la forza scambiata tra vite e singola piastra, mentre a destra vi sarà la resistenza a taglio della vite.

Tutti i fattori correttivi sono transitanti attraverso il solo termine a destra, è corretta coi fattori di sicurezza e quelli probabilistici.

Tant'è che si hanno tre possibilità di calcolo a seconda della classe del bullone.

Verifica a trazione degli elementi connessi

Il carico a trazione sull'elemento dev'essere inferiore al carico limite.

Questo è preso come il minimo tra la resistenza plastica della sezione linda (senza considerare la presenza dei fori) e la resistenza a rottura della sezione nette, considerando una sezione ridotta dai fori.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

II) VERIFICA A TRAZIONE DEGLI ELEMENTI CONNESSI (PIASTRE)

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = \min\left(\frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}; \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}\right)$$

N_{Ed} = forza di trazione agente sull'elemento strutturale (azione assiale di calcolo)

$N_{t,Rd}$ = resistenza di calcolo a trazione dell'elemento

$N_{pl,Rd}$ = resistenza plastica della sezione linda dell'elemento (senza depurarla dai fori)

$N_{u,Rd}$ = resistenza a rottura della sezione netta dell'elemento (depurandola dai fori)

A = area della sezione resistente linda dell'elemento

A_{net} = area della sezione resistente netta dell'elemento

f_{yk} = carico di snervamento del materiale di cui è costituito l'elemento

f_{tk} = resistenza a rottura del materiale di cui è costituito l'elemento

γ_{M0} = coefficiente di sicurezza = 1.05

γ_{M2} = coefficiente di sicurezza = 1.25

Verifica a rifollamento

Con la normativa precedente si era vista una sezione netta moltiplicata per un carico di rottura del materiale ed un fattore α . Ora si aggiunge un fattore k che tiene conto del bordo in direzione perpendicolare al carico,

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

III) VERIFICA A RIFOLLAMENTO DEGLI ELEMENTI CONNESSI

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

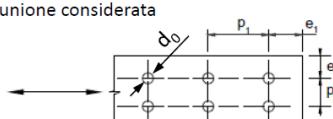
$F_{v,Ed}$ = forza scambiata tra vite e piastra considerata

$F_{b,Rd}$ = resistenza di calcolo a rifollamento della piastra dell'unione considerata

f_{tk} = resistenza a rottura del materiale della piastra

γ_{M2} = coefficiente di sicurezza = 1.25

t = spessore della piastra; d = diametro nominale della vite



$\alpha = \min\{e_1/(3d_0); f_{tb}/f_{tk}; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato

$\alpha = \min\{p_1/(3d_0) - 0.25; f_{tb}/f_{tk}; 1\}$ per bulloni interni nella direzione del carico applicato

$k = \min\{2.8 e_2/d_0 - 1.7; 2.5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico

$k = \min\{1.4 p_2/d_0 - 1.7; 2.5\}$ per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico

$d_0 = d+1 \text{ mm con } d \leq 14 \text{ mm; } d+2 \text{ mm con } 16 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm; } d+3 \text{ mm con } d \geq 27 \text{ mm}$

Verifica a trazione dei bulloni

Questa normativa introduce infine un altro concetto.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

IV) VERIFICA A TRAZIONE DEI BULLONI

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}}$$

$F_{t,Ed}$ = forza di trazione agente sul bullone

$F_{t,Rd}$ = resistenza di calcolo a trazione del bullone

A_{res} = area della sezione di nocciola della vite

f_{tb} = resistenza a rottura del materiale della vite

γ_{M2} = coefficiente di sicurezza = 1.25

Anche un bullone non precaricato potrebbe essere soggetto a trazione perché se il componente specifico viene trazionato, il carico si trasferisce anche sui bulloni.

Con questa verifica si deve garantire semplicemente di non arrivare alla rottura del materiale.

Verifica a punzonamento degli elementi connessi

C'è un'altra eventualità da valutare: se si ammette la trazione tra le viti, può accadere un altro fenomeno che accade.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

IV) VERIFICA A PUNZONAMENTO DEGLI ELEMENTI CONNESSI (PIASTRE)

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

$F_{t,Ed}$ = forza di trazione applicata alla vite

$B_{p,Rd}$ = resistenza a punzonamento del piatto collegato

f_{tk} = resistenza a rottura del materiale della piastra

γ_{M2} = coefficiente di sicurezza = 1.25

t_p = spessore della piastra

d_m = minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone

Se si mette in trazione il sistema, la superficie della piastra può subire una flessione importante.

Nelle superfici di contatto si creano delle forti concentrazioni di tensione che portano a deformare localmente la piastra, dato che la testa è molto più ampia rispetto al foro, questa lascia un'impronta sulla piastra che tende a danneggiarsi, provocando il punzonamento della piastra.

Nella relazione proposta a sinistra c'è il carico di trazione della vite mentre a destra c'è la resistenza a funzionamento del piatto

Verifica dei bulloni con stato di sollecitazione composto

Con una situazione composta (come avviene nella quasi totalità dei bulloni) allora la verifica sarà "mischiata" applicando una combinazione lineare delle verifiche.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI NON PRECARICATI

V) VERIFICA DEI BULLONI CON STATO DI SOLLECITAZIONE COMPOSTO

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

con $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$

$F_{t,Ed}$ = forza di trazione agente sulla vite

$F_{v,Ed}$ = forza di taglio agente sulla vite

$F_{t,Rd}$ = resistenza a trazione della vite

$F_{v,Rd}$ = resistenza a taglio della vite

Naturalmente, la singola resistenza deve essere rispettata.

Unioni a taglio con bulloni ad alta resistenza

Il bullone precaricato, come già più volte detto, si distingue da quello normale per le condizioni di serraggio iniziale.

Esisterà per ciò una relazione che leggi la resistenza del giunto, con il carico transitante, ovvero una condizione di non-scorrimento del giunto precaricato. Qualora questa condizione sia rispettata, non transita per il bullone altro carico se non il precarico.

Se invece avviene lo scorrimento o è stato scelto male il precarico oppure da quel momento in poi i calcoli dovranno essere effettuati esattamente come un bullone non precaricato.

2. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE: BULLONI PRECARICATI

UNIONI A TAGLIO PER ATTRITO CON BULLONI AD ALTA RESISTENZA: RESISTENZA DI CALCOLO ALLO SCORRIMENTO

$$F_{s,Sd} \leq F_{s,Rd} = \frac{n \cdot \mu \cdot F_{p,Cd}}{\gamma_{M3}}$$

n = numero delle superfici di attrito

μ = coefficiente di attrito tra le piastre a contatto nelle unioni precaricate: pari a 0.45 quando le giunzioni sono sabbiate al metallo bianco e protette sino al serraggio dei bulloni, pari a 0.30 in tutti gli altri casi

$F_{p,Cd}$ = forza di precarico del bullone: pari a $0.7 f_{tb} A_{res}$ in caso di serraggio controllato, altrimenti pari a $0.7 f_{tb} A_{res}/\gamma_{M7}$

γ_{M3} = coefficiente di sicurezza = 1.25 (stati limite ultimi)

γ_{M7} = coefficiente di sicurezza = 1.10

La verifica non è complessa, il carico effettivamente transitante sul bullone deve essere inferiore a quello di resistenza, quest'ultima sarà data dal prodotto del numero di superfici di attrito per un coefficiente di attrito per il carico d'attrito (valore del precarico).

Questo è il carico che genera sul gambo una trazione pari al 70% dell'UTS.

Come si fa a sapere se è stato generato esattamente quel carico sul bullone? Si deve tradurre il carico in una coppia di serraggio, cioè un momento torcente ad applicare al dado che porti ad avere quel carico assiale: chiave dinamometrica.

Se invece il sistema non è controllato si dovrà applicare un fattore di sicurezza aggiuntivo.

La normativa - che non è un manuale da officina - non fornisce la relazione tra precarico e coppia di serraggio: è un sistema complesso di molle in parallelo, gambo della vite, piastre serrate... All'avanzamento del dado resiste sia la compressione delle piastre che la trazione del bullone, senza considerare le rigidezze ed i cedimenti locali dei punti di contatto testa-dado-piastre.

Tuttavia questa normativa non tiene in considerazione il sovraccarico di trazione: lo stato di trazione non rimane lo stesso ma si somma uno stato tensionale aggiuntivo, per cui se si era già sfruttato il 70% della rottura, la tensione aggiuntiva (in elasticità lineare si può fare sovrapposizione degli effetti) va sommato al 70% per non raggiungere la rottura.

Saldature

Le tecniche di saldatura prevedono sempre una variazione locale delle caratteristiche meccaniche del materiale, questo perché viene portato a temperature prossime a quelle di fusione ed è costretto a solidificare in una posizione introducendo delle discontinuità di materiale, di caratteristiche meccaniche e delle concentrazioni di tensione, oltre alla presenza di intagli, porosità...

In generale la saldatura è un punto di debolezza e di possibile cedimento.

Un componente meccanico ha un buon design se è in grado di minimizzare le saldature presenti.

Il processo di saldatura è tecnologicamente molto semplice, tuttavia l'esito della saldatura è legato all'esperienza dell'operatore e al livello tecnologico delle attrezzature.

Il cordone di saldatura può essere composto di solo materiale d'apporto, di una legna tra materiale d'apporto e quello di base o di solo materiale di base e non è il solo ad avere caratteristiche meccaniche variabili, anche nella zona d'intorno, (ZTA) ci saranno tensioni residue indotte dal raffreddamento locale non controllato.

Se poi il cordone viene lavorato alle macchine utensili per rientrare nelle tolleranze geometriche, ecco che si verranno ad aggiungere tensioni residue dovute alle lavorazioni.

la valutazione delle tensioni residue in un cordone di saldatura è un discorso complesso e sperimentale.

Un progettista meccanico allora come si muove in questo senso?

Si utilizzano approcci semplificati che abbiano una buona dose di conservatività si valuteranno nominalmente le tensioni.

La normativa di riferimento è la UNI10011 e valuta il cordone come una parte di struttura perfettamente continua con la lamiera e priva di qualsivoglia concentrazione di tensione e valuta esclusivamente le sollecitazioni statiche.

Le classi di saldatura vengono valutate in funzione del tipo di controllo che viene fatto sulla saldatura (visivo - classe2, strumentato - classe1).

Saldature a completa compenetrazione

Il materiale d'apporto è inserito per tutta la profondità della lamiera, sia che la saldatura sia di testa che a T.





A seconda della classe di saldatura, l'ammissibile da utilizzare sarà tal quale (C1) o ridotto di un fattore 0.85 (C2).

La normativa prevede tre tipologie di tensioni transitanti sulla saldatura:, due tensioni nominali normali

- σ_{\perp} Tensione ortogonale al cordone di saldatura
- σ_{\parallel} Tensione parallela a cordone di saldatura

In più valuta delle τ_{\parallel} parallele al cordone di saldatura.

Nel caso del cordone a T, la σ_{\perp} è sempre perpendicolare al cordone ma in direzione della lamiera che viene completamente compenetrata dalla saldatura mentre le σ_{\parallel} e τ_{\parallel} non variano.

Per valutare queste tensioni è necessario considerare una sezione resistente della lamiera, per cui per le τ_{\parallel} e le σ_{\perp} la sezione resistente sarà pari a

$$A_{res} = a \cdot L$$

Con a minimo degli spessori delle due lamiere per saldature di testa, mentre per quelle a T è lo spessore della lamiera che è stata completamente compenetrata dalla saldatura.

Per quanto riguarda la σ_{\parallel} , la sezione resistente sarà

$$A_{res} = a \cdot h$$

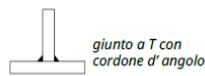
Dove h dev'essere di volta in volta valutata è la larghezza data dalla somma di quella del materiale di base e quello d'apporto.

Una volta ricavate queste tensioni, la tensione equivalente si comporrà esattamente con Von Mises

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2 - \sigma_{\perp}\sigma_{\parallel} + 3(\tau_{\perp} + \tau_{\parallel})} \leq k_{1,2}\sigma_{amm}$$

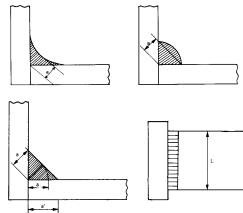
Saldature d'angolo

In un giunto a T con cordone d'angolo la saldatura è perfettamente esterna alle due lamiere.



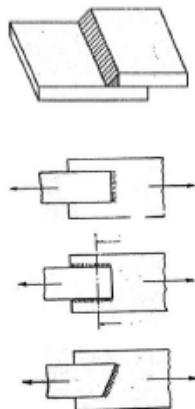
Il coefficiente riduttivo $k_{1,2}$ della tensione ammissibile dipende in questo caso esclusivamente dal materiale.

Si possono avere vari tipi di cordoni d'angolo .



La forma del cordone può dipendere sia dall'abilità dell'operatore, sia dalle caratteristiche del materiale d'apporto in base alla sua capillarità e alla sua aderenza.

Si possono realizzare cordoni d'angolo per connettere lamiere parallele.



Per garantire la resistenza, è buona norma realizzare il cordone non solo sopra come da immagine, ma anche sotto.

Il cordone di saldatura può essere posto ortogonale o parallelo alla direzione del carico.

La sezione resistente per questo tipo di saldature è pari a

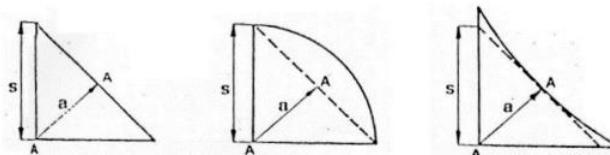
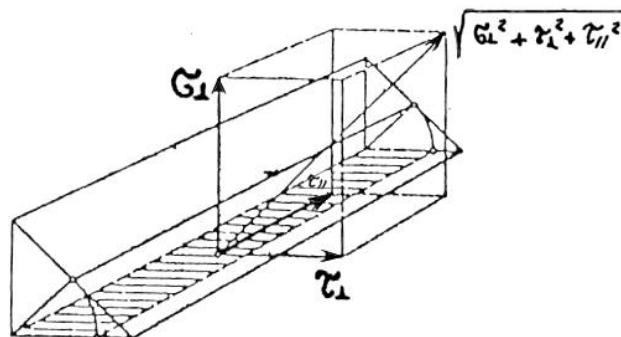
$$A_{res} = a \cdot L$$

Con L lunghezza del cordone ed a minima sezione della gola: è l'altezza del triangolo inscrivibile nella sezione del cordone.

La normativa dice che le tensioni da prendere in considerazione sono sempre 3, questa volta una normale e due tangenziali.

la σ_{\parallel} nella direzione del cordone non è da prendere in considerazione perché in quella direzione le forze sono scambiate soltanto per taglio, essendo il cordone sovrapposto alle lamiere, un carico sulla lamiera viene trasferito sull'altra attraverso l'azione di taglio del cordone, non attraverso la trazione/compressione del cordone.

Si avranno perciò una σ_{\perp} una τ_{\perp} ed una τ_{\parallel} tutte rispetto alla sezione resistente ribaltata su una lamiera o sull'altra.



Qualora il cordone non abbia una buona finitura alle estremità del cordone, è buona norma ridurre la sezione resistente di una quantità a all'inizio e alla fine del cordone.

In funzione del tipo di acciaio si avrà un fattore correttivo sull'ammissibile. La tensione ideale viene trattata attraverso una formulazione simil-Von Mises, deve sempre essere confrontata con la tensione ammissibile opportunamente scalata.

$$\text{Acciai tipo 1} \quad \begin{cases} 1) & \sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq k_1' \cdot \sigma_{amm} = 0.85 \cdot \sigma_{amm} \\ 2) & |\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq k_1'' \cdot \sigma_{amm} = 1.00 \cdot \sigma_{amm} \end{cases}$$

tipo Fe360	σ_{amm}	= 160 MPa (spessore $\leq 40\text{mm}$)
		= 140MPa (spessore $> 40\text{mm}$)

$$\text{Acciai tipo 2} \quad \begin{cases} 1) & \sigma_{id} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq k_2' \cdot \sigma_{amm} = 0.70 \cdot \sigma_{amm} \\ 2) & |\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq k_2'' \cdot \sigma_{amm} = 0.85 \cdot \sigma_{amm} \end{cases}$$

tipo Fe430	σ_{amm}	= 190 MPa (spessore $\leq 40\text{mm}$)
		= 170MPa (spessore $> 40\text{mm}$)
tipo Fe510	σ_{amm}	= 240 MPa (spessore $\leq 40\text{mm}$)
		= 210MPa (spessore $> 40\text{mm}$)

Figura 4: Acciai basso-resistenziali

Figura 5: Acciai alto-resistenziali

I minori coefficienti k_i per acciai più resistenti sono dovuti al fatto che questi hanno maggiore sensibilità all'intaglio.

Nel caso in cui si avesse almeno una delle tre tensioni nulle, il set di verifiche varia leggermente.

$$\sigma_1 \neq 0 \quad \tau_{12} \neq 0 \quad \tau_{13} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} |\sigma_1| \leq 0,85 \text{ Gcm} \\ |\tau_{12}| \leq 0,85 \text{ Gcm} \\ |\sigma_1| + |\tau_{12}| \leq 0,85 \text{ Gcm} \end{array} \right.$$

acciai di tipo 1:

$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} \neq 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$\sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2} \leq 0,85 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 \neq 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$\sqrt{\sigma_1^2 + \tau_{13}^2} \leq 0,85 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 \neq 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} = 0$	\longrightarrow	$ \sigma_1 \leq 0,85 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} \neq 0$	$\tau_{13} = 0$	\longrightarrow	$ \tau_{12} \leq 0,85 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$ \tau_{13} \leq 0,85 \text{ Gcm}$

$$\sigma_1 \neq 0 \quad \tau_{12} \neq 0 \quad \tau_{13} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} |\sigma_1| \leq 0,70 \text{ Gcm} \\ |\tau_{12}| \leq 0,70 \text{ Gcm} \\ |\sigma_1| + |\tau_{12}| \leq 0,85 \text{ Gcm} \end{array} \right.$$

acciai di tipo 2:

$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} \neq 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$\sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2} \leq 0,70 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 \neq 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$\sqrt{\sigma_1^2 + \tau_{13}^2} \leq 0,70 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 \neq 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} = 0$	\longrightarrow	$ \sigma_1 \leq 0,70 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} \neq 0$	$\tau_{13} = 0$	\longrightarrow	$ \tau_{12} \leq 0,70 \text{ Gcm}$
$\sigma_1 = 0$	$\tau_{12} = 0$	$\tau_{13} \neq 0$	\longrightarrow	$ \tau_{13} \leq 0,70 \text{ Gcm}$

Calcolo delle tensioni

Quelle finora trattate sono tensioni nominali svolte attraverso un calcolo semplificato.

Si valutano tutte le parti presenti come rigide: le lamiere non hanno deformabilità, la sezione resistente è elusivamente quella del cordone di saldatura.

Si valuta il baricentro del cordone di saldatura e si valutano i carichi equivalenti che agiscono sul baricentro del cordone: è un trasferimento di carico attraverso un modello a parametri concentrati.

Dopodiché si calcoleranno tutte quelle grandezze utili al calcolo con DSV sul cordone di saldatura: area resistente, inerzia rispetto all'asse baricentrico ortogonale, inerzia polare.

Si è in grado a questo punto di costruirsi le caratteristiche della sollecitazione sul cordone e passare alla valutazione delle tensioni

$$\sigma_{traz} = \frac{P}{A} \quad \tau_{taglio} = \frac{T}{A} \quad \sigma_{fless \ x,y} = \frac{M}{I_{x,y}} h_{\max \ x,y} \quad \tau_{tors} = \frac{M_{tors}}{J_p} h_{\max}$$

Questi valori devono essere studiati lungo tutte le sezioni del cordone che si ritengono critiche.

Aggiunte dell'Eurocodice

L'eurocodice 3 si occupa del design delle strutture metalliche.

Attuale normativa di riferimento resistenza statica e a fatica del giunto

UNI EN 1993 1-8 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints, 2005

UNI EN 1993 1-9 Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-9: Fatigue, 2005

NORMA UNI EN 1993 1-8 Eurocode 3 – Design of steel structures Part 1-8: Design of joints

Si riferisce alle costruzioni in acciaio da carpenteria
Si riferisce agli acciai S235, S275, S355, S420, S460

Definisce la procedura per la verifica statica per i giunti saldati testa a testa (butt welds) e per i giunti con cordone d'angolo (fillet weld)

per i giunti saldati testa a testa (butt welds) Stessa logica della CNR UNI 10011

Per quanto riguarda le saldature a cordone d'angolo sussistono delle differenze rispetto alla normativa italiana.

La verifica a resistenza si approccia in due modi diversi.

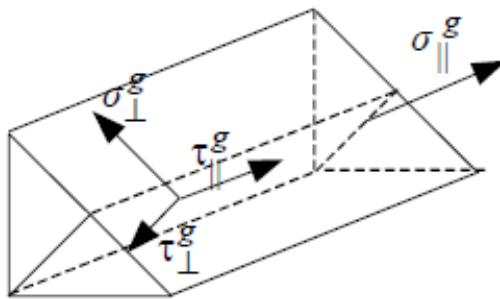
1. Metodo direzionale: approccio deterministico alle tensioni

Si considera come sezione resistente la minima sezione della gola, su cui agisce una terna di tensioni come in figura.

In questo caso la composizione delle tensioni prevede l'applicazione esatta di Von Mises

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_M 2}$$

Con β_W fattore di correlazione tra materiale d'apporto e materiale di base.



β_w			
S235	S275	S355	Acciai di resistenza superiore
0.80	0.85	0.90	1.00

La più pericolosa delle tensioni, la σ_{\perp} deve essere verificata singolarmente

$$\sigma_{\perp} = 0.9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

2. Approccio semi-probabilistico

Si valuta in questo vaso una forza risultante per unità di lunghezza sul cordone di saldatura, che debba essere confrontata con una forza resistente sempre per unità di lunghezza del cordone di saldatura.

Questa forza resistente è data dalla resistenza a taglio della saldatura moltiplicata per una dimensione a , sezione minima della gola

$$F_{W,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}}}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

In questo modo però l'azione viene valutata come se fosse esclusivamente tagliente.

Per il calcolo delle saldature:

- Il cordone di saldatura può essere pensato, in prima approssimazione, come un “vincolo” che impedisce al pezzo saldato di muoversi sotto l'applicazione dei carichi esterni
- Le forze (e gli eventuali momenti) che sollecitano il cordone si determinano equilibrando l'azione dei carichi esterni
- Calcolate tali forze (e gli eventuali momenti) si possono determinare le corrispondenti componenti di tensione σ_{\perp}^g , τ_{\perp}^g , τ_{\parallel}^g da utilizzare nella verifica statica del giunto più sollecitato

Fatica

La fatica nell'eurocodice 3 vede un approccio notevolmente semplificato.

Si fa riferimento ad una variazione di tensione alternata intesa come $\Delta\sigma$, $\Delta\tau$ e anziché fare tutte quelle considerazioni sul ginocchio della curva, su cause, concuse, parametri ed effetti della tensione media, si divide semplicemente i componenti meccanici per categorie.

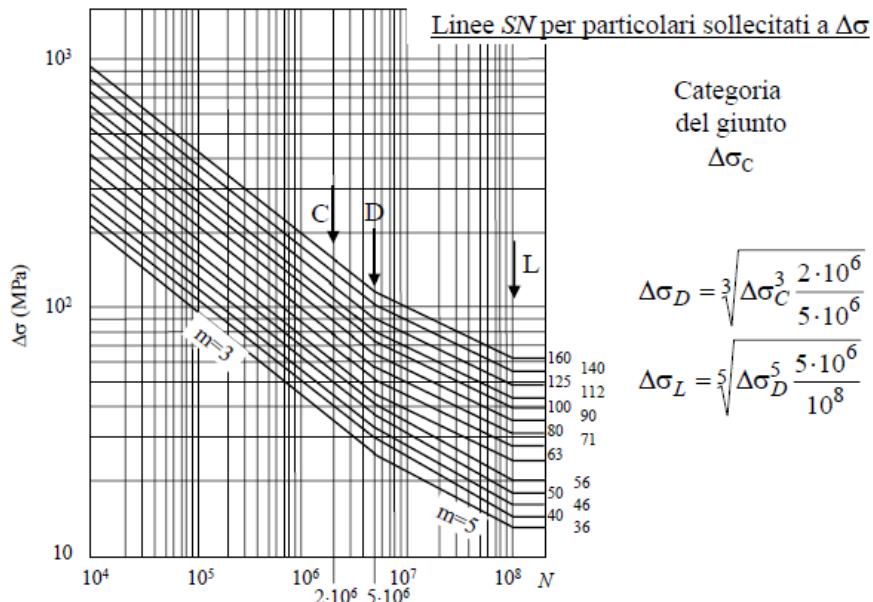
- Giunti saldati di testa.
- Giunti saldati per cordone d'angolo
- Giunti bullonati
- Profilati scanalati

A ciascun componente viene così assegnata una categoria di tensione $\Delta\Sigma_C$, cioè l'ammisibile - ad ampiezza costante - per un numero di cicli pari a 2×10^6 : fissa il ginocchio non più in funzione del materiale ma per quel determinato componente.

Con la presenza di oscillazioni variabili si ammette l'utilizzo del metodo del serbatoio per valutare la tensione equivalente.

Il calcolo delle tensioni sulla la saldatura è analogo a quello delle sezioni statiche: si ribaltano le tensioni dov'è più comodo e si valutano le tensioni σ, τ parallele e perpendicolari.

Queste tensioni dovranno essere confrontate con un diagramma di fatica simile.



Le pendenze sono dettate da due coefficienti m sempre uguali, dopo 10×10^8 cicli la vita a fatica è infinita.

La verifica si farà sempre con dei fattori di sicurezza attraverso gli approccio *safe life* e *damage tolerant*.

Resistenza a fatica – Metodi di verifica

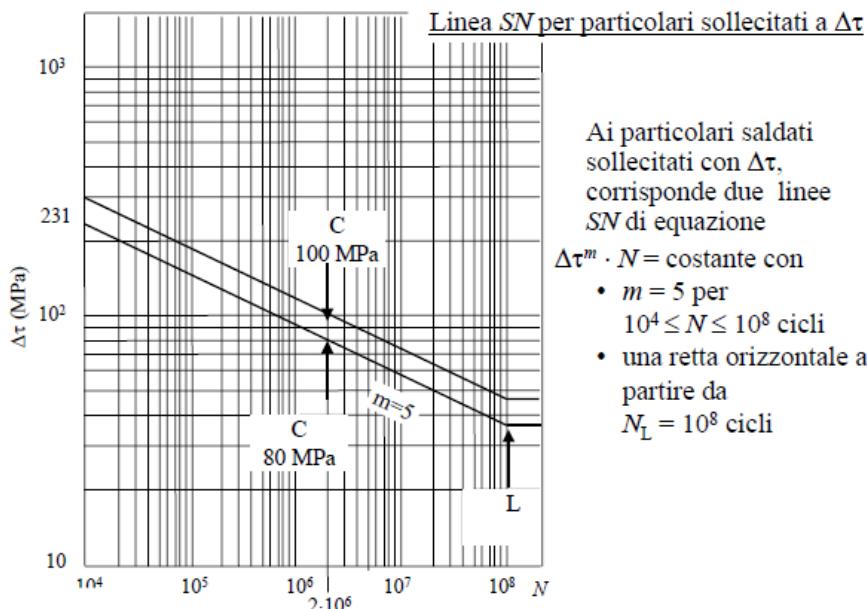
- Le curve SN vanno correte del coefficiente γ_{Mf} per esempio $\Delta\sigma_C$ diventa $\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$

Metodo di verifica	γ_{Mf}	
	Conseguenze del cedimento	
	Lievi	Gravi
<i>Damage tolerant</i>	1.00	1.15
<i>Safe life</i>	1.15	1.25

Damage tolerant presuppone la struttura sottoposta a ispezioni periodiche con individuazione danno e riparazioni

Safe life presuppone che la struttura non si danneggi per tutta la durata richiesta

Spostando il ginocchio della curva di Wöhler per la determinata categoria.



NOTE