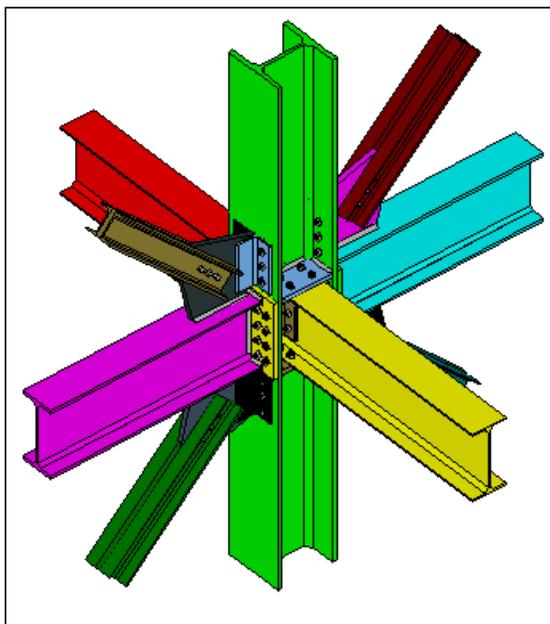




Introduzione ai report di CSE

Versione 1.0



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 2000-2013 - Castalia srl

Revisione 1.0 del 29-10-2012

Premessa

C.S.E. è un vasto ed ambizioso programma di calcolo dedicato ai collegamenti delle strutture in acciaio. Il progetto è incominciato verso la fine degli anni '90 e dura ancora oggi: molte migliaia di ore di lavoro, studio e ricerca sono state dedicate a questo progetto.

*Oltre dalla guida, qui presente, il programma è illustrato da numerosi filmati e lezioni reperibili all'indirizzo web:
www.castaliaweb.com/CSE*

Vi preghiamo di segnalare eventuali inesattezze o parti che richiedano miglior approfondimento scrivendoci a staff@castaliaweb.com.

Grazie

Paolo Rugarli

Introduzione ai report di CSE

© 2014 Castalia srl

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questo lavoro può essere riprodotta in qualsiasi forma o mediante qualsiasi mezzo - grafico, elettronico - o meccanico inclusa la fotocopiatura, la registrazione - senza il consenso scritto del produttore. Fa eccezione l'uso interno alle loro strutture dei licenziatari del prodotto.

I prodotti a cui ci si riferisce in questo documento possono essere marchi commerciali e/o marchi commerciali registrati dei rispettivi proprietari. Il produttore e gli autori non hanno alcun diritto su questi marchi commerciali.

Sebbene ogni precauzione sia stata esercitata nella preparazione di questo documento, il produttore e gli autori non si assumono alcuna responsabilità per gli eventuali errori od omissioni, o per i danni derivanti dall'uso delle informazioni contenute in questo documento o dall'uso del programma che lo accompagna. In nessun caso il produttore e gli autori saranno perseguibili per qualsiasi perdita di profitto o ogni altro danno commerciale causato o sostenuto esser stato causato direttamente o indirettamente da questo documento

Creato: 10/01/2014 in Milano

All rights reserved. No parts of this work may be reproduced in any form or by any means - graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems - without the written permission of the publisher.

Registered user can freely copy this document for internal use only.

Products that are referred to in this document may be either trademarks and/or registered trademarks of the respective owners. The publisher and the author make no claim to these trademarks.

While every precaution has been taken in the preparation of this document, the publisher and the author assume no responsibility for errors or omissions, or for damages resulting from the use of information contained in this document or from the use of programs and source code that may accompany it. In no event shall the publisher and the author be liable for any loss of profit or any other commercial damage caused or alleged to have been caused directly or indirectly by this document.

Created: 10/01/2014 in Milan

Produttore:

Castalia srl

Web:

www.castaliaweb.com

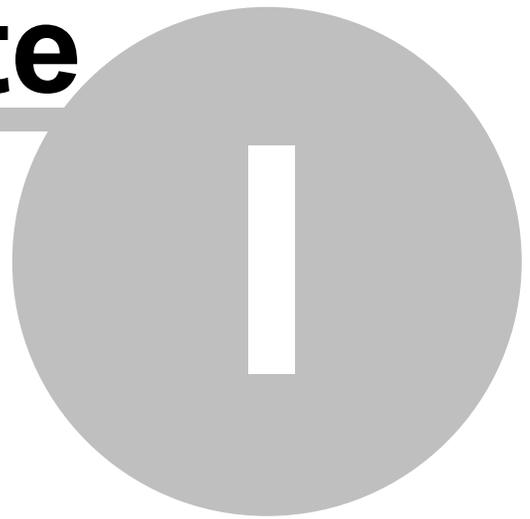
Assistenza:

staff@castaliaweb.com

Sommario

Premessa	5
Parte I Background del programma di calcolo	7
1 Principali regole adottate dal programma per le varie verifiche.....	11
Determinazione delle forze negli unitori	11
Determinazione negli sforzi nei sottocomponenti degli unitori	13
Verifiche dei bulloni	16
Verifiche dei cordoni di saldatura	51
Verifiche dei componenti	56
Verifiche utente	58
2 Ulteriori riferimenti.....	59
3 Simboli.....	59
4 Riferimenti di normativa.....	62
Indice	0

Parte



1 Background del programma di calcolo

Una spiegazione dettagliata di CSE è necessaria per mettere il lettore nelle condizioni di comprendere le informazioni e i risultati forniti in questo report.

Poiché il programma è basato su regole generali (quelle della meccanica razionale) e non su schemi strutturali fissi e predefiniti, il lettore può aver bisogno di comprendere la terminologia usata e le principali ipotesi assunte, innanzitutto. Quindi è fornita una descrizione del calcolo dei collegamenti, partendo dalle forze applicate agli estremi delle membrature fino ad arrivare al calcolo dei livelli di sforzo nei vari componenti.

Introduzione

C.S.E. (Connection Study Environment) è un importante e ambizioso progetto software interessato da un continuo sviluppo da parte Castalia s.r.l. L'obiettivo del programma è quello di fornire un ambiente di lavoro adatto al progetto, alla verifica e al disegno dei collegamenti nelle strutture in acciaio.

Lo studio di tali collegamenti implica dei problemi formidabilmente complessi, e può essere a oggi considerato uno dei principali ambiti di sfida da affrontare nel campo dell'automazione del progetto.

Il problema dei collegamenti ha due facce: il disegno e il calcolo. Se il disegno dei collegamenti è un tema complesso, il loro calcolo lo è ancora di più, per varie ragioni:

1. Non ci sono regole universali per calcolare una connessione semplice, ma ci sono vari modelli che possono essere considerati accettabili se sono bilanciati;
2. Non ci sono regole generali per calcolare la distribuzione delle azioni trasferite a un collegamento semplice in presenza di altri collegamenti strutturali semplici;
3. L'aggiunta o la rimozione di un componente può comportare considerevoli differenze nella ripartizione delle sollecitazioni;
4. Un dato componente può funzionare in modi completamente diversi in funzione del contesto in cui è utilizzato.

L'analizzare e calcolare i collegamenti è uno degli aspetti che rende le strutture in acciaio più complesse, a livello computazionale, di quelle in calcestruzzo armato. L'attuale stato dell'arte si basa su un approccio principalmente di tipo estensivo (un certo numero di collegamenti tipici disponibili, con limitata validità), ma manca un approccio sufficientemente generale di tipo intensivo. Il problema principale di un approccio estensivo al calcolo automatico è la mancanza di flessibilità, che impedisce agli utenti del programma di aggiungere nuovi collegamenti o di modificare quelli esistenti.

Un programma per il calcolo delle connessioni basato su un approccio intensivo dovrebbe consentire:

- una facilità generale nella definizione delle connessioni tra n membrature (generalità)
- la capacità di creare collegamenti aggiungendo o rimuovendo liberamente componenti elementari (flessibilità)
- la capacità di definire le regole di verifica dei singoli componenti in modo veloce e agevole, in modo tale che il codice possa "imparare" come eseguire le verifiche (estendibilità e personalizzabilità)
- la capacità di eseguire verifiche di coerenza al fine di prevenire la creazione di collegamenti inefficienti o di evidenziarne l'inefficienza in fase di verifica (sicurezza e solidità).

CSE è stato sviluppato con lo scopo di fornire uno strumento che includa questi requisiti il più possibile, semplificando così in modo considerevole la progettazione.

CSE sgrava enormemente il progettista da una mole di calcoli, che sarebbero altamente soggetti a errori, grazie all'automazione dei calcoli necessari a trasferire correttamente le azioni dagli estremi delle membrature a tutti i componenti del collegamento (con una distribuzione equilibrata delle forze tra i vari

componenti), considerando tutti i momenti di trasporto necessari, senza "buttar via" nessuna componente di sforzo. Chiunque si sia cimentato manualmente con questi calcoli almeno una volta può testimoniare l'estrema laboriosità e complessità del lavoro, nonché la sua esposizione al rischio di errori. CSE esegue questa operazione in modo completamente automatico, è questo è un vantaggio altamente significativo.

CSE è un passo importante verso una soluzione ingegneristicamente accettabile dei problemi associati al calcolo dei collegamenti delle strutture in acciaio. E' un progetto strategicamente importante che continuerà certamente a essere ampliato e arricchito negli anni a venire.

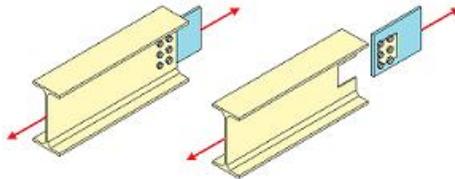
Per maggiori informazioni si rimanda al sito web <http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/home.asp>.

<h2>Terminologia</h2>

Assi principali di un unitore: CSE calcola automaticamente gli assi principali d'inerzia di un layout di cordoni o di bulloni in base alla posizione dei vari elementi del layout e, nel caso dei cordoni, anche del loro spessore; i bulloni di uno stesso layout hanno invece sempre lo stesso diametro.

Attacco: c'è un attacco qualora ci sia un vincolo o un altro tipo di ritegno nel modello FEM. Se nel nodo considerato c'è un vincolo nodale con gradi di libertà impediti l'attacco è rigido. Se il ritegno è invece costituito da altri elementi non modellati in CSE (piastre, membrane o solidi) l'attacco è elastico.

Block tearing: è una modalità di rottura in cui una porzione di un pezzo viene strappata via dal resto. È causata, in generale, dalla presenza contemporanea di sforzi normali e sforzi di taglio lungo la superficie di rottura. I percorsi di rottura possono essere diversi, e devono essere analizzati tutti; il collasso avviene lungo quello più critico in funzione delle forze applicate.



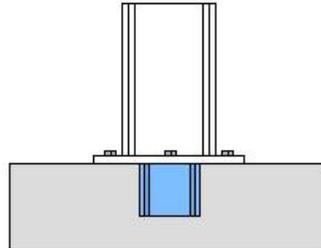
Bullonatura (layout di bulloni): è un layout (un insieme) di bulloni che hanno tutti le stesse caratteristiche (diametro, classe del materiale, area resistente, ecc.) e collegano gli stessi pezzi, nello stesso ordine. Mediante una scelta opportuna del bullone una bullonatura può degenerare in perno.

Bullonatura solo a taglio: sono bullonature con rigidità flessionale e assiale trascurabili, così che i bulloni portino solo azioni taglianti (e non azioni assiali). Se in un collegamento vi sono più bullonature e le azioni applicate produrrebbero flessioni in alcune di esse, qualora tali bullonature siano solo a taglio non potranno portare queste azioni, che fluiranno in altre bullonature (o saldature). Solitamente le bullonature solo a taglio sono disposte in modo che una o più di esse portino delle azioni, mentre altre portino le altre azioni. Si tratta quindi di un'ipotesi di calcolo stabilita dall'utente e che influenza la ripartizione delle azioni tra i vari componenti.

Bulloni compressi: l'ipotesi di funzionamento di default di CSE prevede che i bulloni non vengano verificati a compressione, ma l'utente può richiedere che vengano verificati anche sotto tale sollecitazione, eventualmente collaborando con un contrasto.

Catena: è il percorso che bisogna idealmente seguire per andare da una membratura slave al master (membratura o tramite) oppure da una membratura all'attacco (vincolo). Generalmente ci sono n percorsi possibili, in funzione della complessità del collegamento. A esempio, un percorso può essere: membratura slave $m2$ > saldatura $W1$ > piastra $P1$ > bullonatura $B1$ > membratura master $m1$.

Chiave di taglio: è un oggetto annesso nel getto di un blocco vincolo al fine di assorbire prevalentemente azioni di taglio e torsione, lasciando pressoché non modificata l'azione assiale e i momenti flettenti.



Componente: Per componente si intende qualsiasi solido tridimensionale facente parte del collegamento: i componenti possono quindi essere *membrature*, *tramite* o *unitori*.

Connettore: è una *catena* di componenti costituita solo da *tramite* e *unitori*. Il primo e l'ultimo componente della catena devono essere degli unitori. Un connettore è quindi di questo tipo: unitore 1 - tramite 1 - ... - unitore n

Eccentricità gli estremi di un elemento finito possono non coincidere con i nodi: in questo caso si hanno quindi delle eccentricità (offset rigidi).

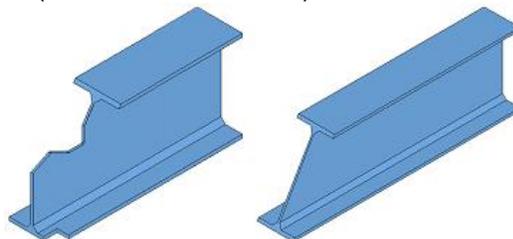
Estremi di un unitore (bullonatura): coincidono con i punti medi dei piatti coinvolti, lungo l'asse passante per il baricentro della bullonatura e perpendicolare al piano della stessa.

Estremi di un unitore (saldatura): un estremo del layout di cordoni di saldatura giace nel piano della faccia che riceve i cordoni; l'altro, lungo un segmento normale a tale faccia, a una distanza dal primo estremo pari a una frazione della sezione di gola dei cordoni.

Indice di flessibilità: questo parametro è stato introdotto in CSE in associazione a una bullonatura o a una saldatura, con lo scopo di modificare la loro rigidità traslazionale, che è inversamente proporzionale al cubo dell'indice di flessibilità.

Istanza di un collegamento: è la ripetizione dello stesso identico collegamento in punti diversi della struttura, generalmente con orientazioni diverse.

Lavorazioni: sono modifiche quali smussi, tagli, rotazioni o traslazioni di facce, ecc. fatte agli oggetti tridimensionali del collegamento (*membrature* e *tramite*).



Master: è il componente di un collegamento a cui tutte le membrature si attaccano. Solitamente il master è una *membratura* ininterrotta, ma può essere anche un *tramite* (o un insieme di tramite).

Membratura: Una membratura è un elemento solido rettilineo o curvilineo costituito da un unico pezzo con le sue lavorazioni.

Membratura (tipi di): una membratura può essere interrotta o ininterrotta nel nodo. Se è ininterrotta,

può essere cuspidale (cioè termina nel nodo) o passante.

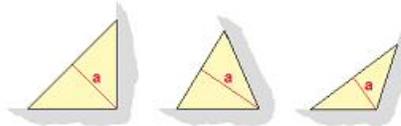
No tension: per no tension si intende un calcolo basato su una legge costitutiva che prevede solo la compressione, e non la trazione. CSE, per il calcolo del materiale di contrasto per le bullonature, dispone di 4 diversi legami costitutivi del tipo no tension: uno indefinitamente elastico e tre nonlineari (elastico-perfettamente plastico, parabola-rettangolo e trilineare).

Perno: è un particolare tipo di *bullonatura* che ha alcune specifiche caratteristiche. La bullonatura è costituita da uno e un solo perno. Per ragioni computazionali, il tipo è non "solo a taglio", non è un ancoraggio, non viene usata una poligonale di contrasto, non è resistente ad attrito.

Renodo: il termine è ottenuto dalla fusione delle parole REale e NODO. Con renodo si intende un collegamento completo di tutte le informazioni necessarie a costruirlo ed a calcolarlo. Un renodo include quindi tutti i *componenti* necessari a definirlo, con tutte le loro *lavorazioni*, nonché tutte le regole e le scelte fatte in merito alle verifiche.

Saldatura (layout di cordoni): è un insieme di cordoni che collegano la stessa coppia di pezzi, siano essi tramite o membrature.

Sezione di gola di un cordone d'angolo: è l'altezza del triangolo più grande (con lati eguali o diseguali) che può essere inscritto all'interno delle facce fuse e della superficie del cordone, misurata perpendicolarmente al lato esterno di tale triangolo (EN 1993-1-8, paragrafo 4.5.2). In CSE i cordoni d'angolo hanno sezione triangolare: la sezione di gola coincide quindi con l'altezza di questo triangolo.

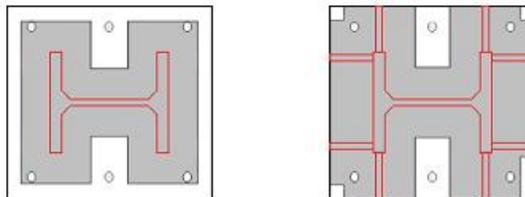


Sezione netta di una membratura: è una riduzione della sezione lorda di una *membratura*, a causa della presenza di fori per bulloni, di smussi, tagli o altre *lavorazioni*.

Sezioni di verifica di una bullonatura: sono in corrispondenza delle zone di tangenza tra i piatti collegati. È qui che vengono valutate le azioni interne. Il numero di sezioni di verifica è quindi pari al numero di piatti collegati meno uno.

Slave: è una *membratura* interrotta nel nodo, che si connette al *master*.

Superficie di contrasto: in una bullonatura con superficie di contrasto, parte della superficie di contatto tra i componenti collegati aiuta nel portare compressioni derivanti da flessioni o compressioni applicate. Il componente più critico (ad esempio il calcestruzzo in un contatto acciaio calcestruzzo) è descritto con una legge costitutiva di tipo no tension. La regione dove lo schiacciamento tra i due componenti può verificarsi è racchiusa in una o più superfici (di contrasto) definite dall'utente. L'utilizzo di *bulloni a compressione* fornisce un ulteriore aiuto nel portare la parte di sforzi a compressione.



Tramite: è qualsiasi pezzo che non sia una *membratura* o un *unitore*, usato per trasferire azioni da un punto a un altro o per irrigidire un componente (membratura o un altro tramite): ad esempio squadrette, piatti, costole di irrigidimento, ecc.

Unitore: è una riunione di componenti elementari (bulloni o di cordoni di saldatura) che realizza una riunione tra più componenti (uniti).

Verifiche utente: oltre alle verifiche automatiche già previste in CSE, secondo diverse normative, l'utente può "insegnare" al programma come svolgere ulteriori verifiche. Attraverso un vero e proprio compilatore interno, possono infatti essere inserite variabili e condizioni di verifica aggiuntive, nonché prerequisiti che il collegamento deve soddisfare per poter essere applicato.

1.1 Principali regole adottate dal programma per le varie verifiche

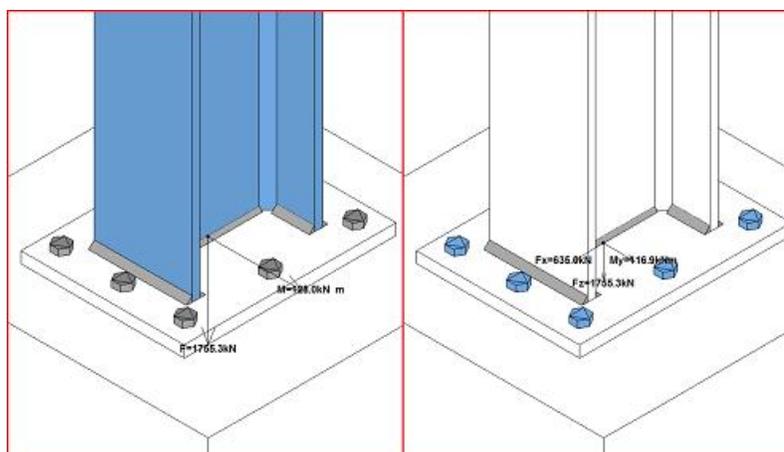
CSE affronta il problema dei collegamenti delle strutture in acciaio in modo generale. Non vengono assunti schemi strutturali fissi: il collegamento più semplice e quello più complesso non sono altro che **collegamenti generici**. Il programma è in grado di calcolare la ripartizione delle forze applicate agli estremi delle membrature nei vari componenti, in accordo a una **condizione di equilibrio delle forze**. Una volta calcolata la ripartizione delle forze, è possibile calcolare il livello di utilizzo dei vari componenti.

Per verificare un collegamento, il programma esegue i seguenti passaggi:

1. Le azioni interne nelle membrature (dato di input) sono ripartite tra gli unitori (layout di saldature e bullonature) in accordo alle loro proprietà (tipo, rigidezza, opzioni di funzionamento e impostazioni, ecc.). Le azioni interne dipendono dalla scelta dell'utente sulle combinazioni di verifica (derivanti dall'analisi del modello FEM di partenza, importate sotto forma di tabella, ottenute tramite opportuna fattorizzazione dei limiti elastici o plastici delle membrature, ecc.).
2. Ottenute le forze negli unitori, vengono calcolate le forze nei singoli sottocomponenti dei layout (singoli bulloni e singoli cordoni).
3. Viene verificata la resistenza dei bulloni e dei cordoni di saldatura.
4. Per il principio di azione e reazione, le forze negli unitori sono applicate, con inversione di segno, a membrature e tramite.
5. La resistenza di membrature e tramite viene verificata.
6. Se definite, le condizioni aggiunte dall'utente vengono verificate.

Tutti precedenti punti sono spiegati negli argomenti successivi.

1.1.1 Determinazione delle forze negli unitori



Esempio: forze da una membratura (sinistra) a una bullonatura (destra)

Una descrizione dettagliata sarebbe molto lunga e complessa, ed esulerebbe dallo scopo di questo report. Qui ci limiteremo alla spiegazione di alcuni punti utili a comprendere il funzionamento generale del programma.

1. Il programma per prima cosa, lanciate le verifiche, ricostruisce tutte le *catene* (si veda la [Terminologia](#)) ed esamina tutte le connessioni alla ricerca di componenti non collegati o mal collegati. Se questo controllo viene passato il programma passa alla fase successiva.
2. La fase successiva consiste nella messa a punto del modello di calcolo. Si tratta di un opportuno modello agli elementi finiti, in cui ogni componente viene convenientemente schematizzato per mezzo di regole che tengono conto delle ipotesi di base (descritte più avanti). La rigidità di una bullonatura dipende da tutti i parametri che la individuano: il numero dei bulloni, il loro diametro l'esatta disposizione con tutte le mutue distanze, la loro lunghezza. Allo stesso modo, la rigidità di una saldatura dipende da tutti i cordoni che la individuano, dalle loro sezioni di gola, dalle loro lunghezze, dalla loro esatta disposizione nello spazio. *La risoluzione del modello garantisce una risposta equilibrata con le azioni applicate.* Nulla va perduto, tutte le componenti ed i momenti di trasporto sono correttamente tenuti in conto. Il modello non scarta e non elide alcuna parte della risposta. Il mutuo dosaggio delle componenti di azione tra i vari componenti, come calcolato dal modello, è il prodotto delle specifiche ipotesi semplificative fatte per allestire il modello. Nella stragrande maggioranza dei casi tali ipotesi semplificative, che comunque *comportano una risposta equilibrata con i carichi applicati*, non comportano una distribuzione di azioni interne molto diversa da quella che si sarebbe calcolata con ipotesi semplificative, a mano. Perché questo avvenga, tuttavia, è fondamentale che eventuali bulloni "solo a taglio" siano effettivamente impostati come "solo a taglio" in modo da far fluire le azioni nel modo giusto. Il modello ha tanti casi di carico quante sono le combinazioni da studiare. Il modello viene calcolato internamente dal programma e produce come risultato gli spostamenti delle parti che compongono il renodo, e le azioni interne afferenti alle varie sezioni di verifica e ai vari estremi degli unitori. La sestupla di sollecitazioni che, in una data combinazione, sollecita un layout di bulloni o di cordoni è il prodotto di questo calcolo.

Ipotesi di base

CSE è un vasto e complesso programma che consente di calcolare in modo automatico una buona parte delle verifiche correlate al calcolo dei giunti. Essenzialmente il problema che CSE risolve è il seguente:

dato un insieme di membrane connesse tra loro per mezzo di travi e unitori, soggette ad un certo stato di sforzo noto, calcolare secondo la teoria della trave le azioni che affluiscono in ciascun unitore, verificare ciascun unitore, ciascun trave e ciascuna membratura.

Lo "stato di sforzo noto" sono le azioni interne agli estremi ideali delle membrane. Tale stato di sforzo è valutato in CSE in diversi possibili modi: risultati importati da un'analisi FEM, combinazioni importate, limiti elastici o plastici delle membrane opportunamente fattorizzati, ecc.; per maggiori informazioni si rimanda alla descrizione delle combinazioni di verifica.

Al fine di calcolare la distribuzione delle forze negli unitori, CSE assume delle ipotesi fondamentali che devono essere sempre rispettate. Tali ipotesi sono riportate nell'elenco numerato sottostante, seguito da una breve discussione.

1. Sono note le azioni interne agli estremi ideali delle membrane connesse.
2. Ciascun unitore connette n componenti. Tutti i sotto-componenti devono connettere gli stessi componenti. Non sono accettabili unitori che in parte colleghino certi componenti, in parte altri componenti.
3. Il numero minimo di componenti connessi è 2.
4. Ogni componente deve essere connesso a qualche cosa.
5. Ogni unitore deve essere connesso a qualche cosa.

6. Un unitore non può connettersi ad un altro unitore.
7. Deve esistere una catena continua di unitori/tramite che fa andare da ciascuna membratura al master (collegamenti "gerarchici") o da ciascuna membratura al blocco vincolo (attacchi) o da ciascuna membratura al corpo centrale (collegamenti "centrali").
8. Gli uniti possono essere considerati molto più rigidi degli unitori.
9. Il comportamento deformativo degli unitori sia descrivibile mediante leggi semplici, di tipo lineare.

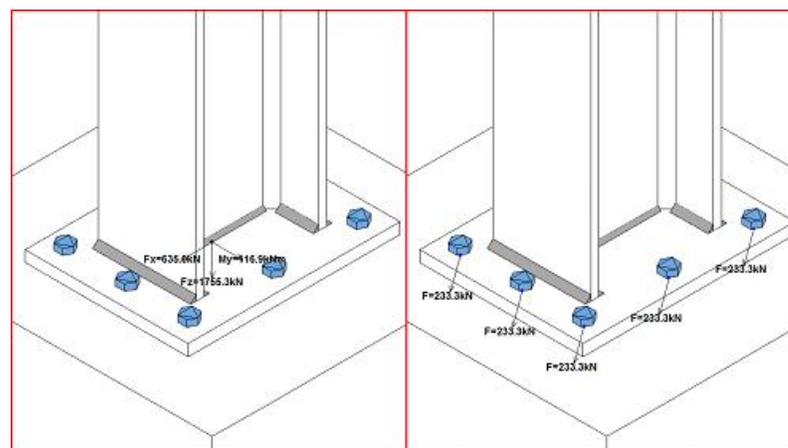
Il punto 1 è preliminare ed è già stato trattato. I punti 2-7 sono tipicamente soddisfatti nel corso della creazione del renodo, mediante l'aggiunta di componenti ed unitori in numero e disposizione sufficiente ad ottenere lo scopo desiderato.

Il punto 8 è una ipotesi che risulta sostanzialmente verificata nella maggior parte dei casi (dato che i componenti devono resistere alle azioni applicate senza apprezzabili deformazioni locali). L'ipotesi 8 non è strettamente necessaria: essa potrà essere rimossa in successive versioni di CSE che utilizzino un modello di calcolo più raffinato (ove questo sia reputato necessario: tutti i test sin qui fatti non indicano una tale necessità). La modellazione fem a valle del calcolo primario (ovvero il calcolo che determina le azioni interne degli unitori), comunque, rimuove questa ipotesi e consente di apprezzare in modo dettagliato la deformazione degli uniti modellati.

Considerare tramite e membrature molto rigidi, e confinare sostanzialmente la deformabilità ai soli unitori nel primo ciclo di analisi porta una conseguenza: tutti i componenti che connettono due parti di un medesimo componente (tramite o membratura) non saranno soggette ad alcuno stato di sforzo in uscita dal modello primario di calcolo (irrigidimenti). Solo parti che connettono oggetti diversi saranno soggette ad uno stato di sforzo. Questo fa sì che non sia possibile calcolare subito le costole di irrigidimento interne alle membrature con il primo ciclo di analisi, ma solo con il secondo, note che siano le azioni trasferite alla membratura dagli unitori "esterni" alla membratura stessa. La modellazione FEM delle membrature e dei tramite rimuove questo limite. Si noti che tutte le costole di irrigidimento che connettono oggetti diversi sono soggette a stato di sforzo (ad esempio i piatti di rinforzo che uniscono una colonna alla sua piastra di base).

Anche l'ipotesi 9 non è strettamente necessaria a CSE e potrà in successive versioni essere sostituita con modelli più complicati, sempre che ve ne sia effettiva necessità. I risultati ottenuti su giunti tipici confermano, comunque, che tale ipotesi non comporta sostanziali perdite nel calcolo complessivo del renodo ma solo piccoli riaggiustamenti.

1.1.2 Determinazione negli sforzi nei sottocomponenti degli unitori



Esempio: forze da una bullonatura (sinistra) ai singoli bulloni (destra)

Note le azioni interne in ciascun unitore, il programma calcola gli sforzi in ciascun sottocomponente dei vari unitori, in ciascuna sezione di verifica (i sottocomponenti di un layout sono i singoli bulloni o i singoli cordoni). Il programma esegue quindi le verifiche di resistenza dei vari sottocomponenti.

Bulloni

Le sollecitazioni taglianti dovute a V_u , V_v vengono ripartite sui bulloni in misura eguale (u e v sono gli assi principali della bullonatura, n è il numero di bulloni, i è il generico bullone):

$$V_{u,i} = \frac{V_u}{N}$$

$$V_{v,i} = \frac{V_v}{N}$$

La torsione M_t genera un taglio nei bulloni che viene ripartito utilizzando il momento di inerzia polare della bullonatura rispetto al suo baricentro, e la distanza di ciascun bullone dallo stesso: (J_p è il momento d'inerzia polare):

$$V_{u,i} = -\frac{M_t}{J_p} v_i$$

$$V_{v,i} = \frac{M_t}{J_p} u_i$$

I bulloni possono essere **solo a taglio**: in questo caso, la rigidità assiale e flessionale di una bullonatura è molto piccola ma non nulla. Se il collegamento ha altri unitori più rigidi che possono portare queste sollecitazioni, allora questi altri unitori saranno opportunamente caricati e la bullonatura solo a taglio risulterà praticamente scarica. Se questa condizione normale non dovesse verificarsi, cioè non vi siano altri unitori in grado di portare quelle sollecitazioni, la bullonatura solo a taglio risulterà caricata da flessioni e/o forze assiali, generando spostamenti molto elevati (traslazioni e rotazioni). La presenza di questi spostamenti elevati mette in evidenza l'errata concezione del collegamento (mancanza di ulteriori unitori, oppure bullonature che non possono essere considerate solo a taglio). Il progettista dovrà quindi apportare opportune correzioni al collegamento in modo da renderlo in grado di portare le azioni applicate.

Se invece la bullonatura non è "solo a taglio", le forze assiali e i momenti flettenti genereranno delle azioni assiali nei bulloni (di trazione o compressione) che possono essere calcolate **in modi differenti, in funzione della presenza o meno di una superficie di contrasto**.

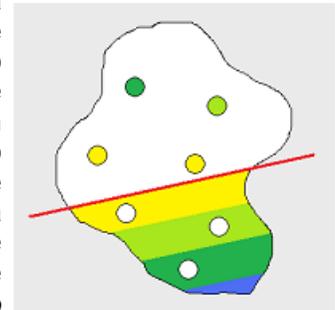
Se la bullonatura non ha una superficie di contrasto, il suo asse neutro in flessione passa per il baricentro della bullonatura stessa, e le trazioni e le compressioni nei gambi dei bulloni sono determinate dalla seguente semplice formula.

In particolare:

$$J_u = \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad J_v = \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad J_p = \sum_{i=1}^n (u_i^2 + v_i^2)$$

Questo tipo di funzionamento è senz'altro a favore di sicurezza, ma trascura il rilevante contributo all'assorbimento delle compressioni dato dal contatto tra le superfici bullonate (ovvero: il contrasto). In effetti la pressoflessione (o tenso flessione) viene in questo modo unicamente assorbita dalla bullonatura. Per mitigare in parte l'eccessiva conservatività di questo approccio (peraltro molto diffuso ed utile) si conviene talvolta di non considerare la compressione nei bulloni, ovvero di calcolarla ma di trascurarla poi in fase di verifica.

Se la bullonatura ha un contrasto, allora esiste una superficie (detta superficie di contrasto) sulla quale vengono scambiate azioni monolatere di compressione. Il contrasto reagisce a compressione ma non può reagire a trazione. Il calcolo della bullonatura diviene non lineare e segue le linee generali di quanto si fa ad esempio per il calcolo di sezioni in calcestruzzo armato, ove il calcestruzzo non reagisce a trazione. L'uso del contrasto dà luogo a risultati maggiormente realistici, ed in particolare ad azioni di trazione inferiori all'interno dei gambi dei bulloni, ma comporta un calcolo non lineare della sezione e, inoltre, richiede qualche attenzione. Per quanto riguarda il calcolo non lineare questo è effettivamente eseguito da CSE in funzione della *legge costitutiva no*



tension che si decide di dare al contrasto. Questa può essere una legge a parabola-rettangolo, elastica perfettamente plastica, una trilineare o una legge indefinitamente elastica. In questo caso si specifica un fattore di omogeneizzazione riferito all'acciaio per determinare il modulo di elasticità del contrasto. Messa a posto la legge costitutiva del contrasto, restano alcune fondamentali avvertenze. Il contrasto deve resistere alle pressioni applicate e soddisfare convenientemente la legge costitutiva applicata. I casi tipici sono due: a) una fondazione in c.a. per la quale si adotterà una legge di tipo parabola rettangolo o indefinitamente lineare; b) un giunto flangiato nel quale il contrasto è la flangia, la quale dovrà essere opportunamente costolata per resistere alle pressioni applicate. Oltre a poter resistere, il contrasto deve essere definito in modo tale da non generare situazioni fisicamente impossibili (come un contrasto che agisca in una zona ove è presente una sola superficie e non due a contatto). Quello che qui basta dire è che nel caso di bullonatura con contrasto i calcoli sono non lineari e il contrasto deve effettivamente essere dimensionato per portare i carichi applicati (si veda all'argomento dedicato).

Nota bene: CSE calcola sempre la flessione parassita nel gambo dei bulloni; l'utente può decidere se includerla o meno nelle verifiche.

Cordoni di saldatura

La verifica delle saldature a cordoni d'angolo, ovvero dei singoli layout di saldature, viene compiuta utilizzando le sezioni di gola proiettate sulla faccia di contatto tra gli oggetti saldati. Si tratta della faccia che, per ragioni di costruzione, i due oggetti saldati devono avere in comune. Così proiettate, le sezioni di gola costituiscono un insieme di rettangoli variamente orientati. Questi danno luogo ad una forma complessiva della quale è possibile calcolare il baricentro e gli assi principali. Le azioni interne afferenti alla saldatura sono sempre calcolate da CSE rispetto agli assi principali della saldatura stessa. Come già detto, ciascun cordone d'angolo dà luogo ad un rettangolo di lunghezza L e di sezione di gola t . Il momento di inerzia proprio $Lt^3/12$ del cordone rispetto al suo asse di minor inerzia viene posto eguale a zero da CSE, e ciò perché la flessione attorno all'asse debole del singolo cordone darebbe luogo ad una variazione di n perpendicolare nello spessore, circostanza esclusa dai modelli di verifica attualmente disponibili per le saldature. Ciò fa sì che una saldatura composta da un singolo cordone non disponga di rigidità per quella flessione, e quindi sia potenzialmente sede di una ipostaticità. Ciò viene segnalato dal programma in fase di analisi e verifica, ma non rappresenta necessariamente un

problema: se vi sono altre rigidità capaci di limitare quelle rotazioni, il modello sarà comunque calcolabile. Per ovviare alla ipostaticità CSE aggiunge comunque una piccola rigidità utile solo a fini numerici.

Dati i momenti di inerzia polare e flettente, le aree e le sei azioni applicate nel riferimento principale (N , V_u , V_v , M_t , M_u , M_v) il programma calcola, per ciascun cordone, i valori di t_{per} , t_{par} ed n_{per} in ciascun estremo del cordone.

- t_{par} è la tensione tangenziale agente parallelamente alla direzione del cordone (ovvero la congiungente i suoi estremi P_1 e P_2).
- t_{per} è la tensione tangenziale agente perpendicolarmente al cordone.
- n_{per} è la tensione normale al cordone (ovvero diretta come l'asse z).
- Gli estremi del cordone P_1 e P_2 giacciono sul punto medio del segmento di lunghezza pari alla sezione di gola, rispettivamente ad uno ed all'altro estremo della lunghezza L del cordone.

Dapprima vengono calcolate le componenti t_u e t_v , in seguito vengono riproiettate per dare t_{per} e t_{par} . Le formule sono le seguenti:

$$t_{u,i,j} = \frac{V_u}{A} - \frac{M_t}{J_p} v_{i,j}$$

$$t_{v,i,j} = \frac{V_v}{A} + \frac{M_t}{J_p} u_{i,j}$$

$$n_{per,i,j} = \frac{N}{A} + \frac{M_u}{J_u} v_{i,j} - \frac{M_v}{J_v} u_{i,j}$$

Dove “ i ” è il cordone i -esimo, “ j ” è l'estremo 1 o 2, A è l'area del layout, J_p il suo momento di inerzia polare, J_u e J_v i suoi momenti di inerzia rispetto agli assi principali (u,v). Se β è l'angolo degli assi principali (u,v) rispetto agli assi di riferimento (x,y) della saldatura, ed α_i è l'angolo del cordone i -esimo rispetto agli assi (x,y), si ha:

$$t_{par} = t_u \cos(\alpha_i - \beta) + t_v \sin(\alpha_i - \beta)$$

$$t_{per} = -t_u \sin(\alpha_i - \beta) + t_v \cos(\alpha_i - \beta)$$

1.1.3 Verifiche dei bulloni

[EN1993-1-8](#)

[IS 800:2007-WS \(Working Stress\)](#)

[IS 800:2007-LS \(Limit States\)](#)

[AISC-ASD \(Allowable Stress Design\)](#)

[AISC-LRFD \(Load and Resistance Factor Design\)](#)

[CNR 10011 TA \(Tensioni ammissibili\)](#)

[CNR 10011 SL \(Stati Limite\)](#)

<h2>Eurocodice 3 - EN1993-1-8</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$e_N = \gamma_{M2} \frac{N}{0.9 f_u A_{res}} + k_M \cdot \gamma_{M2} \frac{M}{0.9 f_u W_{comp}}$$

$$e_V = \gamma_{M2} \frac{V}{0.6 f_u A_{comp}} \quad (\text{classe bulloni 4.6, 5.6, 8.8});$$

$$e_V = \gamma_{M2} \frac{V}{0.5 f_u A_{comp}} \quad (\text{classe bulloni 4.8, 5.8, 6.8, 10.9});$$

if ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_N > 1.e-3$) $e = e_N$

elseif ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_N < 1.e-3$) $e = \max\{e_V, e_N\}$

elseif ($e_N < 1.e-3$) *AND* ($e_V > 1.e-3$) $e = e_V$

else $e = e_V + \frac{e_N}{1.4}$

if (*totale*) $A_{comp} = A$

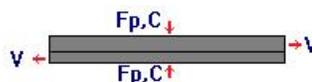
elseif (*filettata*) $A_{comp} = A_{res}$

if (*totale*) $W_{comp} = W$

elseif (*filettata*) $W_{comp} = W_{res}$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura:

pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = \gamma_{M3} \frac{V}{(F_{p,C} - 0.8N)\mu \cdot \phi} \quad [(F_{p,C} > 0.8N), N \text{ con segno}]$$

$$e_V = 99. \quad [(F_{p,C} \leq 0.8N)]$$

$$e = \max\{e_V, e_N\}$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;

$f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;

A_{res} è l'area netta della filettatura;

V è il taglio massimo di calcolo;

μ è il coefficiente d'attrito;

ϕ è il coefficiente di foro;

$e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

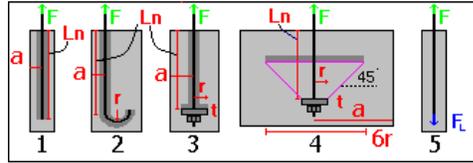
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1 per l'Eurocodice 3.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;

ϕ è il diametro della barra

a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo

l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;

ϕ è il diametro della barra

a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo

l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

r è il raggio di piega dell'uncino

l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risulta:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

f_{bd}	è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
f_{cd}	è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
ϕ	è il diametro della barra
a	è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
l_n	è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
r	è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

f_{cd}	è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
a	è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
l_n	è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
r	è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

<h3>Perni</h3>

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$e_M = \gamma_{M0} \frac{M}{1.5W_{gp} \cdot f_{yp}}$$

$$e_V = \gamma_{M2} \frac{V}{0.6f_{up}A_{gp}}$$

if ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_M > 1.e-3$) $e = e_M$

elseif ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_M < 1.e-3$) $e = \max\{e_V, e_M\}$

elseif ($e_M < 1.e-3$) *AND* ($e_V > 1.e-3$) $e = e_V$

else $e = (e_V^2 + e_M^2)$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>Indian Standard IS 800:2007-WS (Working Stress)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$e_{N1} = \max\left\{\gamma_{m,b} \frac{N}{0.6 \cdot 0.9 f_u A_{res}}; 1.1 \frac{N}{0.6 \cdot 0.9 f_y A}\right\}$$

$$e_{N2} = k_M \cdot \gamma_{m,b} \frac{M}{0.6 \cdot 0.9 f_u W_{comp}}$$

$$e_N = e_{N1} + e_{N2}$$

$$e_V = \gamma_{m,b} \frac{\sqrt{3}V}{0.6 f_u A_{comp}}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_N > 1.e-3) e = e_N$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_N < 1.e-3) e = \max\{e_V, e_N\}$$

$$\text{elseif}(e_N < 1.e-3) \text{AND}(e_V > 1.e-3) e = e_V$$

$$\text{else } e = e_N^2 + e_V^2$$

$$\text{if}(\text{totale}) \quad A_{comp} = A$$

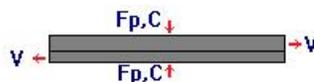
$$\text{elseif}(\text{filettata}) \quad A_{comp} = A_{res}$$

$$\text{if}(\text{totale}) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(\text{filettata}) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = \gamma_{m,f} \frac{V}{0.6 \cdot F_{p,C} \cdot \mu \cdot \phi}$$

$$e = e_V^2 + e_N^2$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;
 $f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;
 A_{res} è l'area netta della filettatura;
 V è il taglio massimo di calcolo;
 μ è il coefficiente d'attrito;
 ϕ è il coefficiente di foro;
 $e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

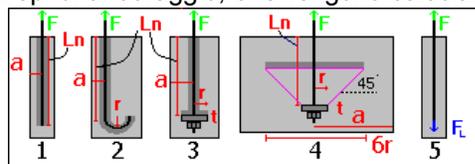
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \qquad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1.666 per IS800WS.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risultata:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risultata:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

- f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

Perni

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$e_M = \gamma_{m,b} \frac{M}{0.6 \cdot 0.9 f_u W_{gp}}$$

$$e_V = \gamma_{m,b} \frac{\sqrt{3}V}{0.6 f_u A_{gp}}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_M > 1.e-3) e = e_M$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_M < 1.e-3) e = \max\{e_V, e_M\}$$

$$\text{elseif}(e_M < 1.e-3) \text{AND}(e_V > 1.e-3) e = e_V$$

$$\text{else } e = e_M^2 + e_V^2$$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>Indian Standard IS 800:2007-LS (Limit States)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$e_{N1} = \max\left\{\gamma_{m,b} \frac{N}{0.9 f_u A_{res}}; 1.1 \frac{N}{0.9 f_y A}\right\}$$

$$e_{N2} = k_M \cdot \gamma_{m,b} \frac{M}{0.9 f_u W_{comp}}$$

$$e_N = e_{N1} + e_{N2}$$

$$e_V = \gamma_{m,b} \frac{\sqrt{3}V}{f_u A_{comp}}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N > 1.e - 3) e = e_N$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N < 1.e - 3) e = \max\{e_V, e_N\}$$

$$\text{elseif}(e_N < 1.e - 3) \text{AND}(e_V > 1.e - 3) e = e_V$$

$$\text{else } e = e_N^2 + e_V^2$$

$$\text{if}(\text{totale}) \quad A_{comp} = A$$

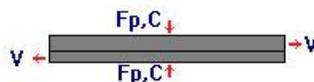
$$\text{elseif}(\text{filettata}) \quad A_{comp} = A_{res}$$

$$\text{if}(\text{totale}) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(\text{filettata}) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



È possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = \gamma_{m,f} \frac{V}{F_{p,C} \cdot \mu \cdot \phi}$$

$$e = e_V^2 + e_N^2$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;

$f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;

A_{res} è l'area netta della filettatura;

V è il taglio massimo di calcolo;

μ è il coefficiente d'attrito;

ϕ è il coefficiente di foro;

$e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

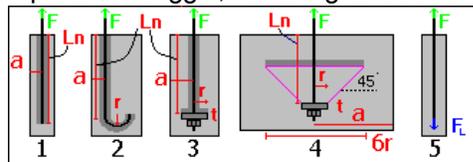
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1 per IS800LS.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risulta:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

- f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

Perni

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$e_M = \gamma_{m,b} \frac{M}{0.9 f_u W_{gp}}$$

$$e_V = \gamma_{m,b} \frac{\sqrt{3}V}{f_u A_{gp}}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_M > 1.e-3) e = e_M$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_M < 1.e-3) e = \max\{e_V, e_M\}$$

$$\text{elseif}(e_M < 1.e-3) \text{AND}(e_V > 1.e-3) e = e_V$$

$$\text{else } e = e_M^2 + e_V^2$$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>American Standard AISC-ASD (Allowable Stress Design)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$e_N = \frac{N}{0.75 \cdot 0.5 f_u A_{res}} + k_M \cdot \frac{M}{0.75 \cdot 0.5 f_u \cdot W_{comp}}$$

$$e_V = \frac{V}{0.5 \cdot 0.5 f_u A} \text{ (totale);}$$

$$e_V = \frac{V}{0.5 \cdot 0.4 f_u A_{res}} \text{ (filettata);}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N > 1.e - 3) e = e_N$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N < 1.e - 3) e = \max\{e_V, e_N\}$$

$$\text{elseif}(e_N < 1.e - 3) \text{AND}(e_V > 1.e - 3) e = e_V$$

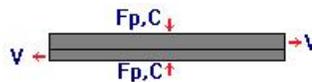
$$\text{else } e = e_N^2 + e_V^2$$

$$\text{if}(totale) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(filettata) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = 1.76 \frac{V}{\left(F_{p,C} - \frac{1.5N}{1.13}\right) \mu \cdot \phi} \quad [(F_{p,C} > 1.5N/1.13), N \text{ con segno}]$$

$$\phi = 1.13 \cdot \phi_{AISC}$$

$$e_V = 99. \quad [(F_{p,C} \leq 1.5N/1.13)]$$

$$e = \max\{e_V, e_N\}$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;

$f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;

A_{res} è l'area netta della filettatura;

V è il taglio massimo di calcolo;

μ è il coefficiente d'attrito;

ϕ è il coefficiente di foro;

$e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

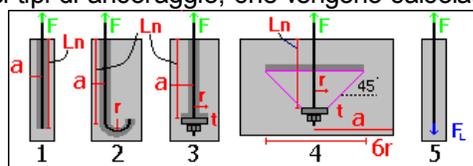
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 2 per AISC-ASD.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risultata:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risulta:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

- f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

Perni

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$e_M = \frac{M}{0.75 \cdot 0.5 f_u \cdot W_{comp}}$$

$$e_V = \frac{V}{0.5 \cdot 0.5 f_u A}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_M > 1.e-3) e = e_M$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e-3) \text{AND}(e_N < 1.e-3) e = \max\{e_V, e_M\}$$

$$\text{elseif}(e_M < 1.e-3) \text{AND}(e_V > 1.e-3) e = e_V$$

$$\text{else } e = e_M^2 + e_V^2$$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>American Standard AISC-LRFD (Load and Resistance Factor Design)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$e_N = \frac{N}{0.75 \cdot 0.75 f_u A_{res}} + k_M \cdot \frac{M}{0.75 \cdot 0.75 f_u \cdot W_{comp}}$$

$$e_V = \frac{V}{0.75 \cdot 0.5 f_u A} \text{ (totale);}$$

$$e_V = \frac{V}{0.75 \cdot 0.4 f_u A_{res}} \text{ (filettata);}$$

$$\text{if}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N > 1.e - 3) e = e_N$$

$$\text{elseif}(e_V < 1.e - 3) \text{AND}(e_N < 1.e - 3) e = \max\{e_V, e_N\}$$

$$\text{elseif}(e_N < 1.e - 3) \text{AND}(e_V > 1.e - 3) e = e_V$$

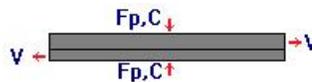
$$\text{else } e = e_N^2 + e_V^2$$

$$\text{if}(totale) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(filettata) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = \frac{V}{0.85 \cdot \left(F_{p,C} - \frac{1.5N}{1.13} \right) \mu \cdot \phi} \quad [(F_{p,C} > 1.5N/1.13), N \text{ con segno}]$$

$$\phi = 1.13 \cdot \phi_{AISC}$$

$$e_V = 99. \quad [(F_{p,C} \leq 1.5N/1.13)]$$

$$e = \max \{ e_V, e_N \}$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;
 $f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;
 A_{res} è l'area netta della filettatura;
 V è il taglio massimo di calcolo;
 μ è il coefficiente d'attrito;
 ϕ è il coefficiente di foro;
 $e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

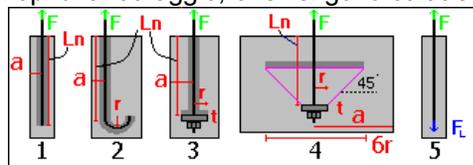
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1.3333 per AISC-LRFD.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risultata:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risulta:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

- f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

Perni

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$e_M = \frac{M}{0.75 \cdot 0.75 f_u \cdot W_{comp}}$$

$$e_V = \frac{V}{0.75 \cdot 0.5 f_u A}$$

if ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_M > 1.e-3$) $e = e_M$

elseif ($e_V < 1.e-3$) *AND* ($e_M < 1.e-3$) $e = \max\{e_V, e_M\}$

elseif ($e_M < 1.e-3$) *AND* ($e_V > 1.e-3$) $e = e_V$

else $e = e_M^2 + e_V^2$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>CNR 10011 TA (Tensioni ammissibili)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$\sigma = k_N \frac{N}{A_{res}} + k_M \frac{M}{W_{comp}}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{comp}}$$

$$f_{kN} = \min\{0,7f_u, f_y\}$$

$$e_\sigma = 1,5 \frac{\sigma}{f_{kN}}$$

$$e_\tau = 1,5 \frac{\sqrt{2}\tau}{f_{kN}}$$

$$\text{if}(e_\sigma < 1.e - 3)e = e_\tau$$

$$\text{elseif}(e_\tau < 1.e - 3)e = e_\sigma$$

$$\text{else } e = \sqrt{e_\sigma^2 + e_\tau^2}$$

$$\text{if}(totale) \quad A_{comp} = A$$

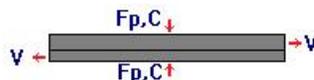
$$\text{elseif}(filettata) \quad A_{comp} = A_{res}$$

$$\text{if}(totale) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(filettata) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = 1.5 \cdot 1.25 \frac{V}{(F_{p,C} - N)\mu} \quad [(F_{p,C} > N), N \text{ con segno}]$$

$$e_V = 99. \quad [(F_{p,C} \leq N)]$$

$$e = \max \{e_V, e_N\}$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;

$f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;

A_{res} è l'area netta della filettatura;

V è il taglio massimo di calcolo;

μ è il coefficiente d'attrito;

$e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

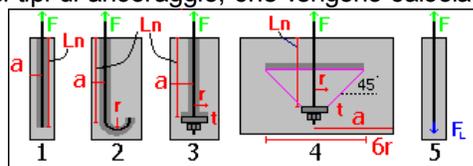
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1.5 per le CNR10011TA.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risulta:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;

a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo

l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

<h3>Perni</h3>

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$\sigma = \frac{M}{W_{gp}}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{gp}}$$

$$f_{kN} = \min\{0,7f_u, f_y\}$$

$$e_\sigma = 1,5 \frac{\sigma}{f_{kN}}$$

$$e_\tau = 1,5 \frac{\sqrt{2}\tau}{f_{kN}}$$

$$\text{if}(e_\sigma < 1.e-3)e = e_\tau$$

$$\text{elseif}(e_\tau < 1.e-3)e = e_\sigma$$

$$\text{else } e = \sqrt{e_\sigma^2 + e_\tau^2}$$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

<h2>CNR 10011 SL (Stati Limite)</h2>

<h3>Bulloni</h3>

Sono riportate di seguito le formule di resistenza per bulloni che *non siano ad attrito*. La presenza di un pretiro non influisce sul calcolo.

$$\sigma = k_N \frac{N}{A_{res}} + k_M \frac{M}{W_{comp}}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{comp}}$$

$$f_{kN} = \min\{0,7f_u, f_y\}$$

$$e_\sigma = \frac{\sigma}{f_{kN}}$$

$$e_\tau = \frac{\sqrt{2}\tau}{f_{kN}}$$

$$\text{if}(e_\sigma < 1.e - 3)e = e_\tau$$

$$\text{elseif}(e_\tau < 1.e - 3)e = e_\sigma$$

$$\text{else } e = \sqrt{e_\sigma^2 + e_\tau^2}$$

$$\text{if}(totale) \quad A_{comp} = A$$

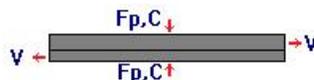
$$\text{elseif}(filettata) \quad A_{comp} = A_{res}$$

$$\text{if}(totale) \quad W_{comp} = W$$

$$\text{elseif}(filettata) \quad W_{comp} = W_{res}$$

Nelle formule precedenti, se le flessioni parassite nei bulloni sono trascurate si ha $k_M=0$, altrimenti $k_M=1$.

<h3>Bulloni ad attrito</h3>



E' possibile associare ad una bullonatura il tipo *ad attrito*. In questo caso le verifiche di resistenza della bullonatura tengono conto solo della trazione – necessariamente presente – e non del taglio. Questo viene invece rapportato ad un valore limite di scorrimento, che dipende dalla trazione effettivamente presente nel bullone, oltre che ovviamente dalla norma attiva e dalle impostazioni date alla bullonatura: pretiro, coefficiente di attrito, ecc.).

Se la giunzione è ad attrito non comporta verifiche di rifollamento.

La bullonatura dà luogo a due verifiche: la verifica a trazione del gambo e la verifica di scorrimento. Entrambe danno luogo ad un indice di sfruttamento, il maggiore dei due viene memorizzato come sfruttamento finale del bullone in quella certa combinazione di carico. Se non si sono trascurati i momenti parassiti nel gambo allora la tensione ad essi associata viene sommata a quella dovuta alla trazione. Nel dettaglio la componente di sfruttamento legata alla azione assiale (e_N) è la stessa già descritta nelle verifiche a resistenza dei bulloni.

Se una bullonatura è solo a taglio e ad attrito, un momento applicato alla bullonatura dà luogo ad azione assiale nei bulloni.

Le formule di verifica sono le seguenti:

$$F_{p,C} = K_n \cdot f_{ub} \cdot A_{res}$$

$$e_V = 1.25 \frac{V}{(F_{p,C} - N)\mu} \quad [(F_{p,C} > N), N \text{ con segno}]$$

$$e_V = 99. \quad [(F_{p,C} \leq N)]$$

$$e = \max\{e_V, e_N\}$$

$F_{p,C}$ è il pretiro come frazione K_n del carico ultimo del bullone;

$f_{u,b}$ è la tensione ultima del bullone;

A_{res} è l'area netta della filettatura;

V è il taglio massimo di calcolo;

μ è il coefficiente d'attrito;

$e_V > 1$ significa superamento del valore limite, quindi scorrimento.

Ancoraggi

Se una bullonatura è classificata come un ancoraggio, accanto alle normali verifiche di resistenza su di essa vengono anche eseguite le verifiche allo sfilamento. In pratica la forza di trazione di ciascun bullone viene confrontata con un valore limite dipendente dalla norma usata, generando così un indice di sfruttamento. Tale indice di sfruttamento è associato alla bullonatura, non al blocco-vincolo sul quale, verosimilmente, la bullonatura è ancorata. Come per gli altri casi questo indice di sfruttamento viene raffrontato a quello ottenuto, per la bullonatura, a seguito di altre verifiche, e, se maggiore, memorizzato insieme alla causa che lo ha prodotto.

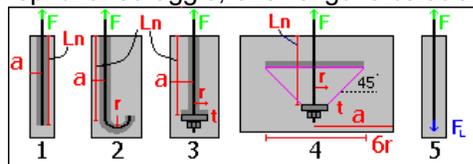
In dettaglio le formule sono le seguenti:

$$E = \frac{N}{F_d} \quad F_d = \frac{F_L}{\gamma}$$

dove il fattore di sicurezza γ è pari a 1 per le CNR10011SL.

Se è presente una compressione la verifica è omessa in quanto si assume che vi sia un contrasto a reagire.

Il calcolo della forza limite F_L dipende dal tipo di ancoraggio definito dall'utente e da alcuni parametri. E' possibile definire cinque diversi tipi di ancoraggio, che vengono calcolati in 5 modi diversi.



Tipo 1

Il meccanismo resistente è l'aderenza tra la barra rettilinea ed il calcestruzzo. Risulta:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio

Tipo 2

Analogo al tipo 1 ma è presente un uncino, che aumenta la resistenza. Risultato:

$$F_L = \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot (l_n + 7.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \cdot \pi \cdot \phi$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio di piega dell'uncino
 l_2 il tratto rettilineo dopo l'uncino

Tipo 3

Analogo al tipo 1 ma è presente un piattello terminale di contrasto (assunto di forma circolare). Risultato:

$$F_L = \left\{ \left[\frac{f_{bd}}{1 + \left(\frac{\phi}{a}\right)^2} \right] \cdot l_n \cdot \pi \cdot \phi + f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2 \right\}$$

- f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza progetto tra barra e calcestruzzo;
 f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 ϕ è il diametro della barra
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Tipo 4

Analogo al tipo 3 ma il meccanismo resistente prevede un conoide di distacco del calcestruzzo. Si assume in sostanza la formula presente in Eurocodice 2, §6.2 assumendo la massima forza consentita da quella formula e controllando che siano rispettate adeguate limitazioni dimensionali. Risulta:

$$F_L = 3 \cdot f_{cd} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$l_n \geq 2 \cdot r$$

$$a > 3 \cdot r$$

- f_{cd} è la tensione normale di compressione di progetto del calcestruzzo;
 a è la distanza minima tra la barra e la superficie libera terminale del blocco vincolo
 l_n è la lunghezza rettilinea di ancoraggio
 r è il raggio del piattello

Il programma controlla che le limitazioni dimensionali presenti siano soddisfatte e quindi usa anche a , r ed l_n .

Tipo 5

Si tratta di un caso in cui l'utente vuole direttamente specificare il valore desiderato per F_L (che andrà poi diviso per g al fine di ottenere F_d).

Perni

Le verifiche di resistenza di un perno sono in generale differenti da quelle del bullone corrispondente. Il gambo viene sempre assoggettato ai momenti flettenti di calcolo, e quindi l'opzione che prevede di trascurare le flessioni parassite non ha valore.

Per quanto riguarda le verifiche della sezione, queste sono differenti da quelle usate per i bulloni e ciò per tre ragioni:

1. la tensione limite accettabile per azione assiale viene posta eguale a 1N/mm^2 (1MPa). Se l'azione assiale supera quindi il valore di $1\text{MPa} \times \pi r^2$, il perno non è verificato. Se non lo supera viene scartata.
2. La tensione tangenziale limite accettabile per la torsione M_t è eguale a 1N/mm^2 . Se il momento torcente supera questa soglia (pari a $1\text{MPa} \times \pi r^3/2$), il taglio V nel gambo del perno viene posto eguale a $1 \times 10^{12}\text{N}$ e di conseguenza il perno non sarà verificato.
3. Le formule di combinazione degli effetti di taglio e flessione sono diverse per i perni rispetto a quelle per i bulloni, per qualcuna delle norme.

Le componenti accettabili di azione interna, a meno di piccoli valori di N ed M_t , per un perno, sono quindi il taglio V ed il momento flettente M .

$$\sigma = \frac{M}{W_{gp}}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{gp}}$$

$$f_{kN} = \min\{0,7f_u, f_y\}$$

$$e_\sigma = \frac{\sigma}{f_{kN}}$$

$$e_\tau = \frac{\sqrt{2}\tau}{f_{kN}}$$

$$\text{if}(e_\sigma < 1.e - 3)e = e_\tau$$

$$\text{elseif}(e_\tau < 1.e - 3)e = e_\sigma$$

$$\text{else } e = \sqrt{e_\sigma^2 + e_\tau^2}$$

Nota bene: il momento d'inerzia torsionale di un perno è teoricamente nullo; per evitare che eccentricità molto piccole moltiplicate per forze elevate diano luogo a elevati spostamenti, viene definito un momento d'inerzia torsionale fittizio per i perni ($J_{t,perno}$), pari a 1/1000 del momento d'inerzia torsionale del cerchio del loro gambo.

$$J_{t,perno} = \frac{J_{t,cerchio}}{1000} = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \cdot \frac{1}{1000}$$

1.1.4 Verifiche dei cordoni di saldatura

<h2>Cordoni d'angolo</h2>

[EN1993-1-8](#)

[IS 800:2007-WS \(Working Stress\)](#)

[IS 800:2007-LS \(Limit States\)](#)

[AISC-ASD \(Allowable Stress Design\)](#)

[AISC-LRFD \(Load and Resistance Factor Design\)](#)

[CNR 10011 TA \(Tensioni Ammissibili\)](#)

[CNR 10011 SL \(Stati Limite\)](#)

<h3>Eurocode 3 - EN1993-1-8</h3>

CSE implementa il metodo dato in EN 1993-1-8, paragrafo 4.5.3.3:

$F_{w,Ed}$ è il valore di progetto della forza nel cordone per unità di lunghezza, cioè:

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{n_{per}^2 + t_{par}^2 + t_{per}^2}$$

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto del cordone per unità di lunghezza che vale, indipendentemente dall'orientazione del piano della sezione di gola rispetto alla forza applicata,

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a$$

dove a è la sezione di gola del cordone e $f_{vw,d}$ è la resistenza a taglio di progetto del cordone che vale:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

f_u è la tensione ultima del materiale meno resistente tra quelli dei pezzi collegati

β_w è un fattore di correlazione ricavabile dalla tabella seguente, in funzione del materiale (EN 1993-1-8, Table 4.1)

Standard and steel grade			Correlation factor β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

EN 1993-1-8, Table 4.1

<h3>IS800:2007WS</h3>

CSE implementa il seguente metodo:

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

$F_{w,Ed}$ è il valore di progetto della forza nel cordone per unità di lunghezza, cioè:

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{n_{per}^2 + t_{par}^2 + t_{per}^2}$$

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto del cordone per unità di lunghezza che vale, indipendentemente dall'orientazione del piano della sezione di gola rispetto alla forza applicata,

$$F_{w,Rd} = a \cdot 0.6 \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3}}$$

a è la sezione di gola del cordone

f_u è la tensione ultima del materiale meno resistente tra quelli dei pezzi collegati

<h3>IS800:2007LS</h3>

CSE implementa il seguente metodo:

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

$F_{w,Ed}$ è il valore di progetto della forza nel cordone per unità di lunghezza, cioè:

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{n_{per}^2 + t_{par}^2 + t_{per}^2}$$

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto del cordone per unità di lunghezza che vale, indipendentemente dall'orientazione del piano della sezione di gola rispetto alla forza applicata,

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m,w}} \quad \text{per saldature in officina}$$

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{1.2 \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{m,w}} \quad \text{per saldature in sito}$$

a è la sezione di gola del cordone

f_u è la tensione ultima del materiale meno resistente tra quelli dei pezzi collegati

<h3>AISC-ASD</h3>

CSE implementa il seguente metodo:

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

$F_{w,Ed}$ è il valore di progetto della forza nel cordone per unità di lunghezza, cioè:

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{n_{per}^2 + t_{par}^2 + t_{per}^2}$$

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto del cordone per unità di lunghezza che vale, indipendentemente dall'orientazione del piano della sezione di gola rispetto alla forza applicata,

a è la sezione di gola del cordone

f_u è la tensione ultima del materiale meno resistente tra quelli dei pezzi collegati

<h3>AISC-LRFD</h3>

CSE implementa il seguente metodo:

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

$F_{w,Ed}$ è il valore di progetto della forza nel cordone per unità di lunghezza, cioè:

$$F_{w,Ed} = a \sqrt{n_{per}^2 + t_{par}^2 + t_{per}^2}$$

$F_{w,Rd}$ è la resistenza di progetto del cordone per unità di lunghezza che vale, indipendentemente dall'orientazione del piano della sezione di gola rispetto alla forza applicata, $F_{w,Rd} = a \cdot 0.45 \cdot f_u$

a è la sezione di gola del cordone

f_u è la tensione ultima del materiale meno resistente tra quelli dei pezzi collegati

<h3>CNR 10011TA (Tensioni Ammissibili)</h3>

(nota: nella normativa, n_{per} , t_{par} e t_{per} sono chiamati rispettivamente σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp})

“Eventuali tensioni σ_{\parallel} di trazione o di compressione presenti nella sezione trasversale del cordone, inteso come parte della sezione resistente della membratura, non devono essere prese in considerazione ai fini della verifica del cordone stesso.”

Si considerano le componenti σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp} della sezione di gola ribaltata. Per le verifiche agli **stati limite** deve risultare:

- presenza contemporanea di σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp} :

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.70\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases} \quad (1)$$

$$|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} \sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.85\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases} \quad (2)$$

- quando sono presenti solo le componenti σ_{\perp} e τ_{\perp} : deve essere verificata l'espressione (2), e inoltre deve risultare:

$$|\tau_{\perp}| \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.70\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases}$$

$$|\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} 0.85\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.70\sigma_{adm} & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases}$$

- quando sono presenti solo le componenti τ_{\parallel} e τ_{\perp} , oppure σ_{\perp} e τ_{\parallel} , oppure solo una delle tre componenti: deve essere verificata l'espressione (1).

<h3>CNR 10011 SL (Stati Limite)</h3>

(nota: nella normativa, n_{per} , t_{par} e t_{per} sono chiamati rispettivamente σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp})

“Eventuali tensioni σ_{\parallel} di trazione o di compressione presenti nella sezione trasversale del cordone, inteso come parte della sezione resistente della membratura, non devono essere prese in considerazione ai fini della verifica del cordone stesso.”

Si considerano le componenti σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp} della sezione di gola ribaltata. Per le verifiche agli **stati limite** deve risultare:

- presenza contemporanea di σ_{\perp} , τ_{\parallel} e τ_{\perp} :

$$\sqrt{\tau_{\perp}^2 + \sigma_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \begin{cases} 0.85f_d & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.70f_d & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases} \quad (1)$$

$$|\tau_{\perp}| + |\sigma_{\perp}| \leq \begin{cases} f_d & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.85f_d & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases} \quad (2)$$

- quando sono presenti solo le componenti σ_{\perp} e τ_{\perp} : deve essere verificata l'espressione (2), e inoltre deve risultare:

$$|\tau_{\perp}| \leq \begin{cases} 0.85f_d & \text{per l'acciaio Fe360} \\ 0.70f_d & \text{per l'acciaio Fe430 e Fe510} \end{cases}$$

- quando sono presenti solo le componenti $\tau_{||}$ e τ_{\perp} , oppure σ_{\perp} e $\tau_{||}$, oppure solo una delle tre componenti: deve essere verificata l'espressione (1).

Cordoni a penetrazione

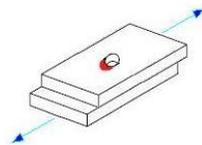
Per i layout di cordoni a penetrazione le verifiche vengono condotte proiettando lo spessore sul piano in comune alle due facce saldate, e considerando poi la sezione ottenuta riunendo i rettangoli così ottenuti. La sezione in questione è calcolata come una ordinaria sezione presso o tenso inflessa, con tagli e torsione, e la tensione ideale di Von Mises raffrontata con la tensione limite di progetto. Gli effetti del taglio e della torsione sono tenuti in conto in modo semplificato.

Se lo spessore dei cordoni a penetrazione è tale da riempire completamente lo spessore disponibile (saldatura a completa penetrazione), allora la resistenza della saldatura sarà eguale a quella del piatto di spessore minore tra quelli che va ad unire (saldature a ripristino). Ciò si può ottenere sia con un solo cordone che abbia tutto lo spessore necessario, sia con due cordoni gli spessori dei quali, sommati, diano luogo allo spessore completo. La scelta influenza il tipo di lavorazione.

Nella determinazione della resistenza torsionale si può usare sia il modello a momento di inerzia polare sia il modello che calcola J_t come somma di contributi del tipo $(1/3)Lt^3$.

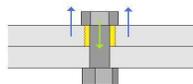
1.1.5 Verifiche dei componenti

Verifiche di rifollamento



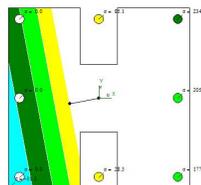
Nelle bullonature non slip resistance, una volta calcolato il taglio nei bulloni, questo agisce sugli spessori degli oggetti connessi dalla bullonatura, dando luogo a una pressione di contatto. Tale pressione di contatto ha dei limiti che dipendono dalla normativa e dalla distanza dai bordi del bullone considerato (si veda ad esempio EN1993-1-8:2005, par. 3.6.1).

Verifiche di punzonamento



La testa e il dado dei bulloni tesi esercitano pressioni di contatto sulle lamiere collegate, che tendono a produrre una rottura per punzonamento. Nota l'azione di ciascun bullone e la sua dimensione, nonché lo spessore dei piatti collegati, è possibile eseguire in modo automatico la verifica di questa modalità di crisi (si veda ad esempio EN1993-1-8:2005, par. 3.6.1).

Verifica delle superfici di contrasto

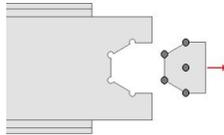


Quando si calcolano le bullonature mediante l'utilizzo di una superficie di contatto (b. surface) viene

eseguita una verifica del massimo sforzo di compressione agente su tale superficie, in accordo alla distribuzione di sforzi equilibrata. Tale massimo sforzo agente sulla superficie viene raffrontato ad un valore massimo sopportabile dall'oggetto a cui la superficie appartiene.

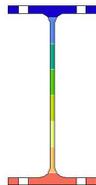
Quando si definisce la superficie di contrasto si definisce anche a quale dei due oggetti in contatto essa appartiene. La verifica appena descritta sarà associata al componente a cui è stata assegnata la superficie di contrasto.

Verifiche di block tear



Data una bullonatura che connette un certo componente, sarà identificabile un piatto avente tanti fori quanti sono i bulloni della bullonatura. Ciascun bullone esercita sul suo foro una forza di taglio diversa da quella di tutti gli altri bulloni. Sotto l'azione delle forze di taglio dei bulloni, la lamiera può rompersi separandosi in due parti: una parte che conterrà un certo numero di bulloni x del numero totale n , e la parte rimanente che ne conterrà $n-x$. Il programma cerca, per ogni x compreso tra 2 ed n , un alto numero di percorsi di rottura, assegnando a ciascuno di questi un punteggio legato all'azione risultante dagli x bulloni e alla forza necessaria per distaccare tale parte dall'altra. Ultimato il ciclo sul numero di bulloni da 2 a n viene memorizzato il numero x e l'insieme di bulloni x a cui corrisponde la situazione più pericolosa. Il rapporto tra la risultante delle forze sugli x bulloni e la forza necessaria a realizzare il distacco è detta sfruttamento a block tear. A seconda che i percorsi di rottura siano tangenti o perpendicolari alla risultante delle x forze, essi daranno luogo a tensioni tangenziali o normali che saranno debitamente associate ai valori ultimi del materiale. Nel caso in cui il percorso di rottura, o parte di esso, non sia né normale né perpendicolare alla risultante, si utilizza un opportuno indice combinato della τ ultima e della σ ultima.

Verifiche semplificate delle sezioni nette (membrature)

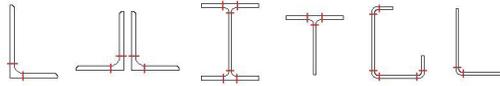


Si tratta di verifiche semplificate eseguite in opportune sezioni delle membrature trattate come sezioni di un elemento trave. Il programma scandisce automaticamente le membrature con piani normali al loro asse, e trova in questo modo tutte le sezioni che si presentano significativamente diverse dalla sezione lorda originaria, o perché sono stati applicati dei tagli o degli smussi, o perché sono presenti dei fori dovuti alle bullonature. Data una generica sezione di quelle trovate automaticamente, il programma esegue la somma integrale dei contributi elementari dovuti ai singoli bulloni e alle singole parti di singoli bulloni che si trovano tra la sezione netta considerata e l'estremo teorico della membratura. Come già detto, la somma integrale di questi contributi, dà luogo a una sestupla di azioni interne che vengono poi utilizzate per verificare – con le normali formule della teoria della trave – la sezione netta considerata. La verifica delle sezioni nette è una **verifica semplificata** che di solito viene utilizzata per evitare le verifiche agli elementi finiti.

Verifiche semplificate delle sezioni nette (tramite)

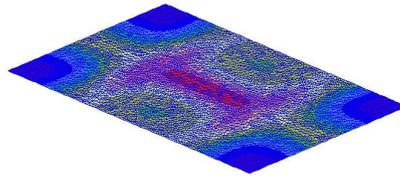
Il programma esegue le verifiche in modo del tutto analogo a quanto già visto per le membrature, con una importante differenza. Le sezioni nette nelle quali vengono eseguite le verifiche possono essere definite dall'analista (laddove, come spesso succede, l'analista sappia quali saranno le sezioni critiche) e/o vengono trovate automaticamente dal programma.

Verifiche semplificate delle sezioni standard (tramite)



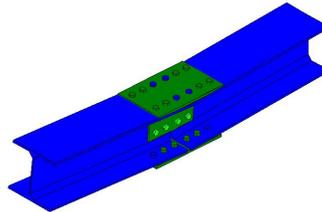
Nel caso di oggetti di forma standard, come angolari semplici o doppi, il programma esegue una verifica su alcune particolari sezioni che di solito sono in prossimità dei raccordi curvilinei. Anche queste verifiche, come le due precedenti, sono **verifiche semplificate**.

Verifiche FEM automatiche



Un modo particolarmente raffinato di eseguire una verifica di resistenza di un componente è crearne un modello agli elementi finiti e analizzarlo in campo lineare o non lineare. CSE dispone di varie opzioni che consentono di eseguire automaticamente la modellazione e il calcolo FEM sia in campo lineare che in campo non lineare, sia di oggetti singoli che di aggregati. L'attenta mappa della mappa degli sforzi di Von Mises prodotta dal calcolo consente all'analista con molta maggior attendibilità se un componente sia accettabile o no. Poiché alcune verifiche locali sono già state eseguite (rifollamento, punzonamento, block tear) nell'analisi delle mappe di sforzo di Von Mises si deve tener conto che eventuali picchi locali di sforzo possono non essere significativi nel caso in cui – ad esempio nell'intorno di un bullone - le verifiche a punzonamento e a rifollamento siano state soddisfatte.

Verifiche di deformabilità



Il programma è in grado di calcolare gli spostamenti subiti dai componenti sotto l'azione delle forze applicate in modo convenzionale. Ciò vuol dire che la stima degli spostamenti eseguita dal programma deve essere considerata valida come ordine di grandezza e, soprattutto, che essa deve essere utilizzata al fine di controllare che le connessioni predisposte per il modello allo studio siano tali da impedire movimenti eccessivi delle varie parti.

Se questo non succede, è possibile che si debbano cercare unitori mal posti o mal definiti (ad esempio, bullonature solo a taglio alle quali è affidato un rilevante momento flettente).

1.1.6 Verifiche utente

Dato che la verifica di un oggetto generico nello spazio soggetto a un generico stato di sollecitazione è un problema formidabilmente complesso, può avvenire che i numerosi controlli di tipo generale eseguiti da CSE non siano sufficienti ai fini delle verifiche di progetto. In questo caso è possibile definire delle "verifiche utente", ovvero delle disequazioni di verifica definite dall'utente, le quali fanno uso delle variabili predefinite e delle variabili utente. Le variabili predefinite sono variabili associate a ciascun componente che ne descrivono le dimensioni, la posizione, i materiali, ecc. (ad esempio m1.fy). le

variabili utente sono variabili definite in funzione delle variabili predefinite e possono essere utilizzate per definire qualsiasi cosa l'analista ritenga necessaria. Mediante le variabili predefinite e le variabili utente è possibile definire delle formule di verifica (disequazioni) che si possono associare a un qualsiasi componente del modello, realizzando così delle verifiche utente.

Un particolare tipo di verifica utente è la verifica standard, nella quale le disequazioni che definiscono le verifiche sono scritte automaticamente dal programma, noti che siano il tipo di verifica e pochi altri dati di partenza (si veda ad esempio quanto nei Green Books del SCI).

1.2 Ulteriori riferimenti

Molte informazioni ulteriori sul programma possono essere ottenute leggendo la guida on line del programma, che può essere consultata al seguente indirizzo:

<http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/guide/index.html?introduzione.htm>

Le seguenti sezioni della guida possono essere di particolare interesse:

"Cosa si intende per...":

http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/guide/index.html?whatis_activefacesangle.htm

"Come comprendere che verifiche esegue CSE":

http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/guide/index.html?performed_checks.htm

"Come comprendere cosa esattamente fa CSE":

http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/guide/index.html?what_cse_does.htm

"Come comprendere le ipotesi di base di CSE":

http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/guide/index.html?comprehend_hypotheses.htm

Lezioni multimediali inerenti agli specifici problemi del lavorare con CSE possono essere scaricate al seguente indirizzo:

<http://castaliaweb.com/ita/P/CSE/lessons.asp>

1.3 Simboli

Simbolo	Significato
a	Distanza dal lato libero negli ancoraggi. Sezione di gola del cordone di saldatura.
A	Area lorda.
A_{comp}	Area usata nel calcolo: taglio nel gambo del bullone.
A_{gp}	Area lorda di un perno.
A_{res}	Area netta della parte filettata del gambo di un bullone.
AcT	Area totale di calcolo (somma delle A_{omp} dei bulloni di un layout).
$Area$	Area
β	Angolo tra gli assi principali (u, v) e gli assi di riferimento (x, y)
β_w	Fattore di correlazione per la forza nei cordoni di saldatura per unità di lunghezza.
e	Coefficiente di utilizzo (o sfruttamento) totale.
E	Modulo di elasticità di Young.

Simbolo	Significato
e_N	Coefficiente di utilizzo (o sfruttamento) dovuto alla sola forza assiale.
e_V	Coefficiente di utilizzo (o sfruttamento) dovuto al solo taglio.
ϕ	Coefficiente di foro nelle bullonature ad attrito. Diametro del bullone.
f_{bd}	Tensione tangenziale di aderenza di progetto (calcestruzzo).
f_{cd}	Tensione normale di compressione di progetto (calcestruzzo).
F_d	Forza di progetto.
F_L	Forza limite.
$F_{p,C}$	Massimo pretiro di progetto in bulloni con pretiro.
f_u	Tensione di rottura.
f_{up}	Tensione di rottura di un perno.
$f_{vw,d}$	Sforzo di taglio di progetto di un cordone di saldatura.
$F_{w,Ed}$	Forza di taglio applicata su un cordone per unità di lunghezza.
$F_{w,Rd}$	Forza di taglio di progetto di un cordone per unità di lunghezza.
f_v	Tensione di snervamento.
f_{yp}	Tensione di snervamento di un perno.
G	Tangential modulus of elasticity.
γ_{M0}	Coefficiente di sicurezza parziale.
γ_{M1}	Coefficiente di sicurezza parziale.
γ_{M2}	Coefficiente di sicurezza parziale.
J_2	Momento d'inerzia rispetto all'asse principale 2.
J_3	Momento d'inerzia rispetto all'asse principale 3.
J_p	Momento d'inerzia polare.
J_u	Momento d'inerzia rispetto all'asse u.
J_v	Momento d'inerzia rispetto all'asse v.
L	Lunghezza del cordone.
l_2	Lunghezza della barra di ancoraggio, dopo l'uncino.
l_n	Lunghezza della barra di ancoraggio.
μ	Coefficiente d'attrito.
M_2	Momento flettente rispetto all'asse 2.
$M_{2,el,Rd}$	Momento elastico massimo di progetto (fattorizzato) rispetto all'asse 2.
$M_{2pl,Rd}$	Momento plastico massimo di progetto (fattorizzato) rispetto all'asse 2.
M_3	Momento flettente rispetto all'asse 3.
$M_{3,el,Rd}$	Momento elastico massimo di progetto (fattorizzato) rispetto all'asse 3.
$M_{3pl,Rd}$	Momento plastico massimo di progetto (fattorizzato) rispetto all'asse 3.
M_B	Momento flettente nel gambo del singolo bullone.
M_t	Momento torsionale.
M_{tT}	Momento torsionale totale agente su una bullonatura o su una saldatura.
M_u	Momento flettente rispetto all'asse principale u.
M_{uT}	Momento flettente totale M_u agente su una bullonatura o su una saldatura.
M_v	Momento flettente rispetto all'asse principale v.

Simbolo	Significato
M_{vT}	Momento flettente totale M_v agente su una bullonatura o su una saldatura.
N	Forza assiale (positiva se di trazione).
N_B	Forza assiale nel singolo bullone.
N_{ini}	Forza assiale iniziale.
N_{lim}	Forza assiale limite.
n_{per}	Tensione normale perpendicolare all'asse di un cordone.
r	Raggio di un piattello. Raggio di un perno.
t_{par}	Tensione tangenziale parallela all'asse di un cordone.
t_{per}	Tensione tangenziale perpendicolare all'asse di un cordone.
u	Asse principale.
u_i	Coordinata u del generico punto 'i' o del centro del bullone 'i'.
v	Asse principale.
V_2	Taglio in direzione dell'asse 2.
V_3	Taglio in direzione dell'asse 3.
V_B	Taglio V agente nel gambo di un singolo bullone.
v_i	Coordinata v del generico punto 'i' o del centro del bullone 'i'.
V_{lim}	Taglio limite.
V_u	Taglio in direzione dell'asse u.
$V_{u,i}$	Taglio agente nel bullone 'i' in direzione u.
V_{uB}	Taglio V_u agente in un singolo bullone.
V_{uT}	Taglio totale V_u agente in una bullonatura o in una saldatura.
V_v	Taglio in direzione dell'asse v.
$V_{v,i}$	Taglio agente nel bullone 'i' in direzione v.
V_{vB}	Taglio V_v agente in un singolo bullone.
V_{vT}	Taglio totale V_v agente in una bullonatura o in una saldatura.
W	Modulo elastico per flessione.
W_{comp}	Modulo per flessione usato nel calcolo: gambo del bullone.
$W_{el,2}$	Modulo elastico per flessione attorno all'asse 2.
$W_{el,3}$	Modulo elastico per flessione attorno all'asse 3.
W_{gp}	Modulo lordo per flessione di un perno.
$W_{pl,2}$	Modulo plastico per flessione attorno all'asse 2.
$W_{pl,3}$	Modulo plastico per flessione attorno all'asse 3.
W_{res}	Modulo per flessione dell'area filettata del gambo di un bullone.
W_{ui}	Dividendo il momento torsionale M_{uT} per questo numero, si ottiene la forza assiale N agente nel gambo di un generico bullone 'i'.
W_{vi}	Dividendo il momento torsionale M_{vT} per questo numero, si ottiene la forza assiale N agente nel gambo di un generico bullone 'i'.
WT	Dividendo un momento torsionale per questo numero, si ottiene il taglio V agente nel gambo di un generico bullone 'i'.
WT_{ui}	Dividendo un momento torsionale per questo numero, si ottiene il taglio V_{ui} agente nel gambo di un generico bullone 'i'.
WT_{vi}	Dividendo un momento torsionale per questo numero, si ottiene il taglio

Simbolo	Significato
	V_{vi} agente nel gambo di un generico bullone 'i'.
x	Asse di riferimento.
y	Asse di riferimento.

1.4 Riferimenti di normativa



<http://www.castaliaweb.com>
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano
staff@castaliaweb.com
Copyright 2000-2013 - Castalia srl