

## Background teorico



## **Generale**

Introduzione

Metodo CBFEM

Analisi

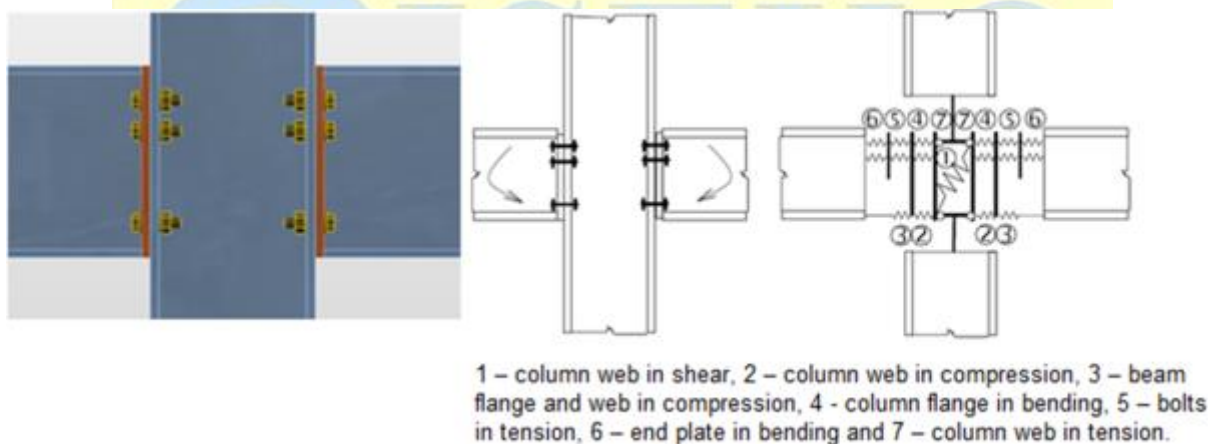


## 1 Introduzione

L'elemento trave è preferito dagli ingegneri nell'ambito della progettazione di strutture in acciaio. Ci sono però molti punti della struttura in cui la teoria della trave non è valida, ad esempio nei giunti saldati, nelle connessioni bullonate, in presenza di fori nelle pareti, di rastremazioni dell'altezza delle sezioni o di carichi puntuali. L'analisi strutturale in questi punti è difficile e richiede particolare attenzione. Il comportamento infatti è non-lineare e queste non-linearità vanno rispettate, come la plasticizzazione dei materiali che costituiscono le piastre, i punti di contatto tra piastre di estremità o piastre di base e il blocco di cemento, l'irreversibilità delle azioni dei bulloni e degli ancoraggi, le saldature. La normativa nazionale ceca, CSN EN1993-1-8, così come la letteratura tecnica, offrono metodi ingegneristici per la soluzione di questi problemi. La loro caratteristica generale è il fatto che siano ricavati da forme strutturali tipiche e casi di carico elementari. Molto utilizzato è il metodo delle componenti.

### Metodo delle componenti

Il metodo delle componenti (MC) risolve i giunti come un sistema di elementi interconnessi tra loro – le componenti, appunto. Il modello corrispondente è composto per ogni tipo di giunto, in modo da essere in grado di determinare forze e tensioni in ogni componente – vedi figura seguente.



### Elementi nel nodo con piastre di estremità bullonate, rappresentate con delle molle

Ogni componente viene controllata separatamente usando i metodi corrispondenti. Poiché ogni tipo di giunto necessita di un proprio modello specifico, l'utilizzo di questo metodo ha dei limiti nei casi in cui si debbano risolvere giunti di geometrie generiche e carichi qualunque.

IDEA StatiCa, assieme al team di lavoro del Dipartimento di Strutture in Acciaio e Legno della Facoltà di Ingegneria Civile di Praga e dell'Istituto di Strutture in Acciaio e Legno della Facoltà di Ingegneria Civile della Brno University of Technology, ha sviluppato un nuovo metodo per la progettazione avanzata dei giunti nelle strutture in acciaio.

Il nuovo metodo **Modello a Elementi Finiti basato sulle Componenti (CBFEM)** è:

- **Generale** abbastanza da poter essere utilizzato per la maggior parte dei giunti, degli appoggi e dei dettagli nella pratica ingegneristica.

- **Semplice e veloce** a sufficienza nella pratica quotidiana in modo da fornire risultati in tempi comparabili a quelli dei metodi e degli strumenti attualmente in uso.
- **Esauriente** abbastanza da fornire informazioni chiare di ingegneria strutturale riguardo il comportamento del giunto, tensioni, deformazioni e riserve di deformazione dei singoli componenti e infine riguardo la sicurezza e la realizzabilità del sistema complessivo

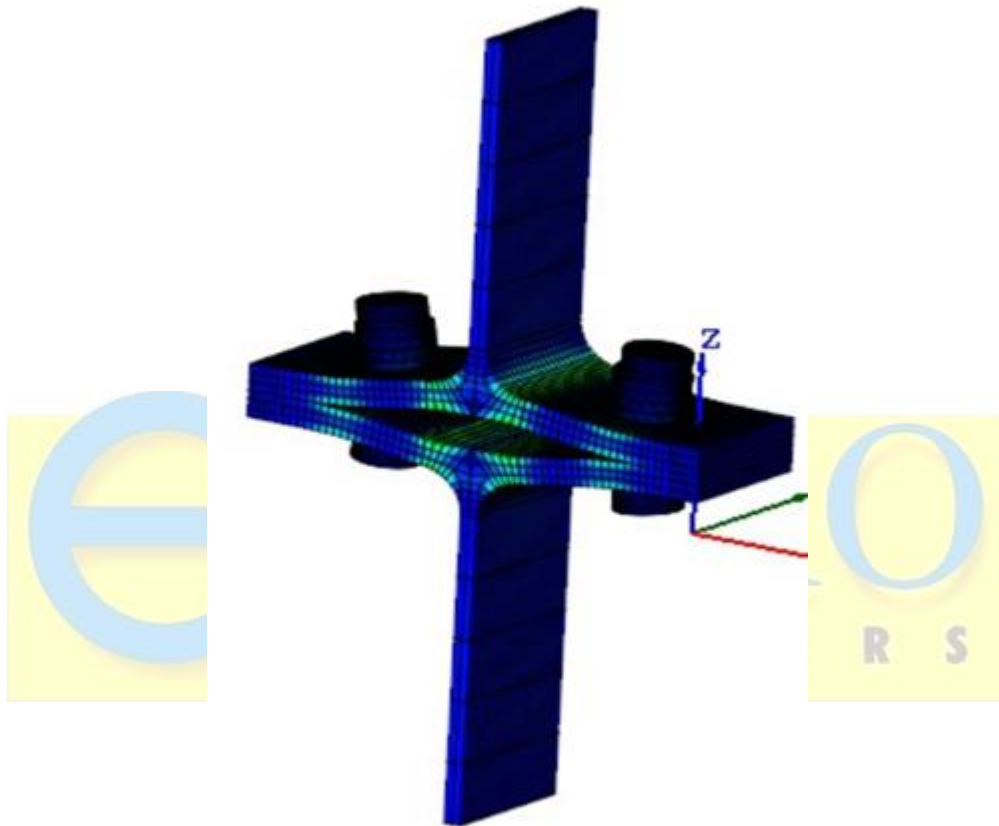
Il metodo CBFEM è basato sull'idea che la maggior parte degli aspetti verificati e molto utili del metodo delle componenti debbano essere conservate. Il punto debole del metodo delle componenti, ossia la sua generalizzazione nell'analizzare le tensioni delle singole componenti, è stato sostituito dalla modellazione e analisi tramite metodo degli elementi finiti (FEM).



## 2 Componenti CBFEM

FEM (Finite Element Method) è un metodo generale comunemente utilizzato per le analisi strutturali. L'utilizzo del FEM per la modellazione di giunti di qualsivoglia forma sembra offrire un'opzione molto valida (Virdi, 1999). E' richiesta un'analisi elasto-plastica. L'acciaio infatti è soggetto a frequente plasticizzazione all'interno della struttura. Per questo motivo, i risultati di un'analisi lineare sono inutili per il progetto delle connessioni.

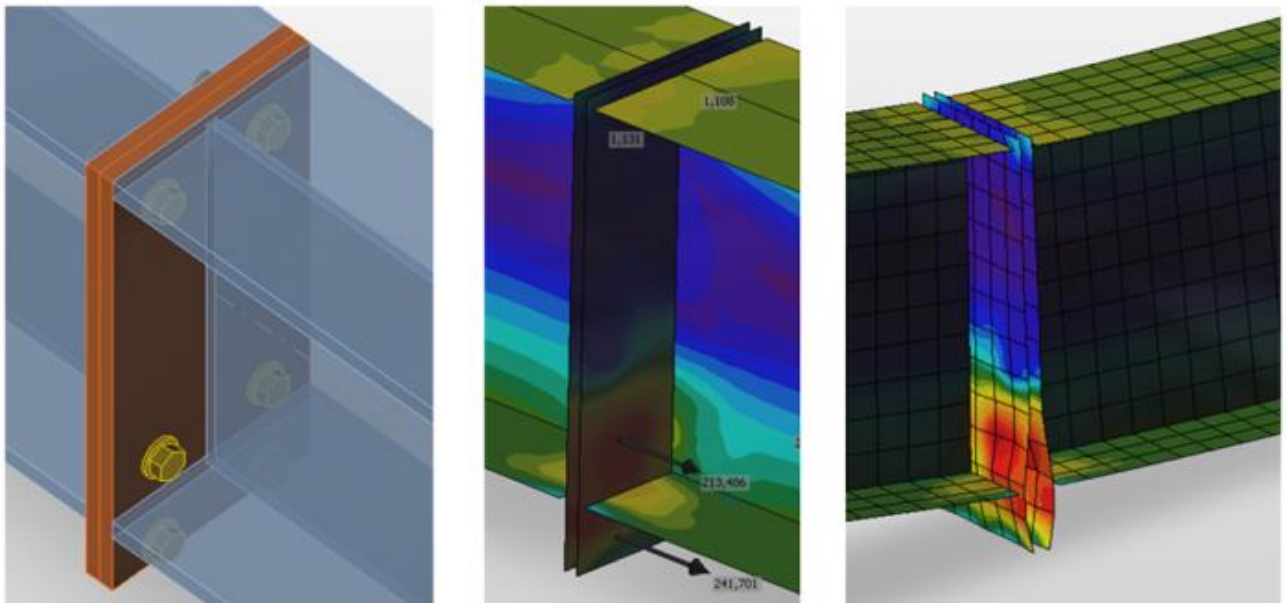
I modelli FEM sono utilizzati per motivi di ricerca sul comportamento dei giunti, applicando spesso elementi definiti nello spazio e valori misurati specifici delle proprietà dei materiali.



Modello FEM nel nodo realizzato per motivi di ricerca. Usa elementi spaziali 3D sia per le piastre che per i bulloni

Sia le anime che le ali degli elementi connessi sono modellati nel CBFEM utilizzando piastre sottili, per le quali è disponibile la nota e validata soluzione.

I connettori – bulloni e saldature – sono l'aspetto più difficile del modello di analisi. La modellazione di questo tipo di elementi nei generici programmi ad elementi finiti è complicato, perché questi non offrono le proprietà richieste. Questi speciali componenti FEM devono essere sviluppati per modellare il corretto comportamento di saldature e bulloni nel giunto.

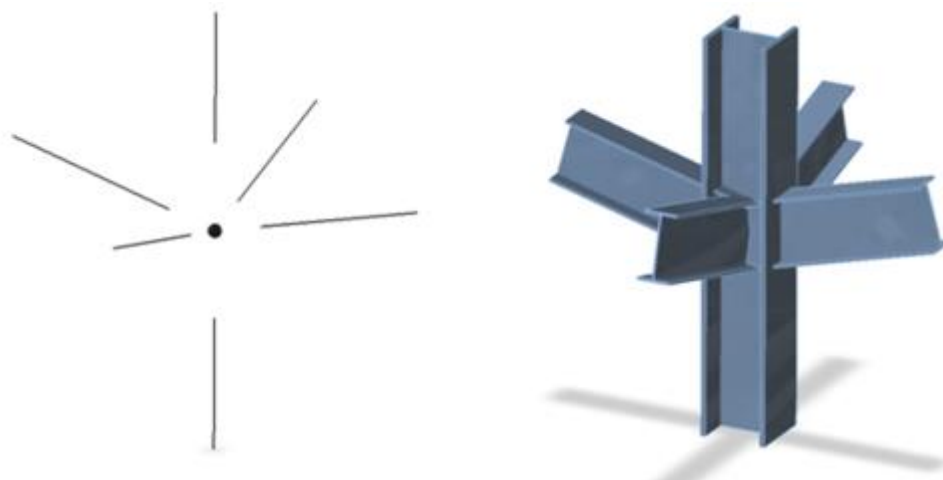


### CBFEM della connessione bullonata a piastre di estremità

I giunti composti da diversi elementi sono modellati come punti privi di massa durante l'analisi di telai in acciaio o strutture reticolari. Le equazioni di equilibrio sono verificate nel nodo e, dopo aver risolto l'intera struttura, vengono determinate le forze interne alle estremità delle travi. Infatti, il nodo è caricato con queste forze. La risultante di tutte le forze proveniente da tutti gli elementi convergenti nel nodo è nulla – il giunto è in equilibrio.

La reale configurazione del nodo non è nota nel modello strutturale. L'ingegnere definisce solo se esso sia da considerare come incastro o cerniera.

E' necessario perciò creare un modello realistico del giunto, che rispetti la situazione reale, in modo da progettare il nodo in maniera adeguata. Nel metodo CBFEM sono usati tronchi finali degli elementi di lunghezza pari a 2-3 volte l'ampiezza massima della sezione. Questi segmenti sono modellati usando elementi plate.



### Giunto teorico (senza massa) e forma reale di un giunto senza modifiche alle estremità degli elementi

Per una migliore precisione del modello CBFEM, le forze di estremità negli elementi unidimensionali sono applicate come carichi puntuali agenti alle estremità del segmento. Le sei componenti di forza ( $N$ ,  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) agenti nel nodo teorico, sono trasferite all'estremità del segmento – il valore delle forze viene mantenuto identico, ma quello dei momenti è modificato e si somma con quello dato dalle forze stesse per il proprio braccio.

Le estremità dei segmenti che convergono nel nodo non sono connesse tra loro. La connessione va infatti modellata. Nel metodo CBFEM vengono utilizzate le cosiddette Operazioni di produzione per modellare la connessione. Esse sono: tagli, offsets, aperture, rinforzi, nervature, flange e giunzioni, angolari, fazzoletti e altro. Sono aggiunti anche elementi connettori (saldature e bulloni).

IDEA StatiCa Connection can perform two types of analysis:

1. Analisi geometricamente lineari con non linearità del materiale e del contatto per l'analisi di sforzo e deformazione
2. Analisi geometricamente lineari con non linearità del materiale e del contatto per l'analisi di sforzo e deformazione

Nel caso delle connessioni, l'analisi geometricamente non lineare non è necessaria a meno che le piastre non siano molto sottili. La snellezza della piastra può essere determinata dall'analisi degli autovalori (buckling). Per la snellezza limite in cui l'analisi geometricamente lineare è ancora sufficiente, vedere il Capitolo 3.9. L'analisi geometricamente non lineare non è implementata nel software.

## 2.1 Modello del materiale

I diagrammi dei materiali più comuni, che sono utilizzati nella modellazione ad elementi finiti dell'acciaio strutturale, sono il modello elasto plastico ideale o elastico con incrudimento e il diagramma sforzo-deformazione reale. Il diagramma sforzo-deformazione reale è calcolato mediante le proprietà del materiale di acciai dolci a temperatura ambiente ottenute nelle prove di trazione. Lo sforzo e la deformazione reale possono essere ottenuti come segue:

$$\sigma_{\text{true}} = \sigma(1 + \varepsilon)$$

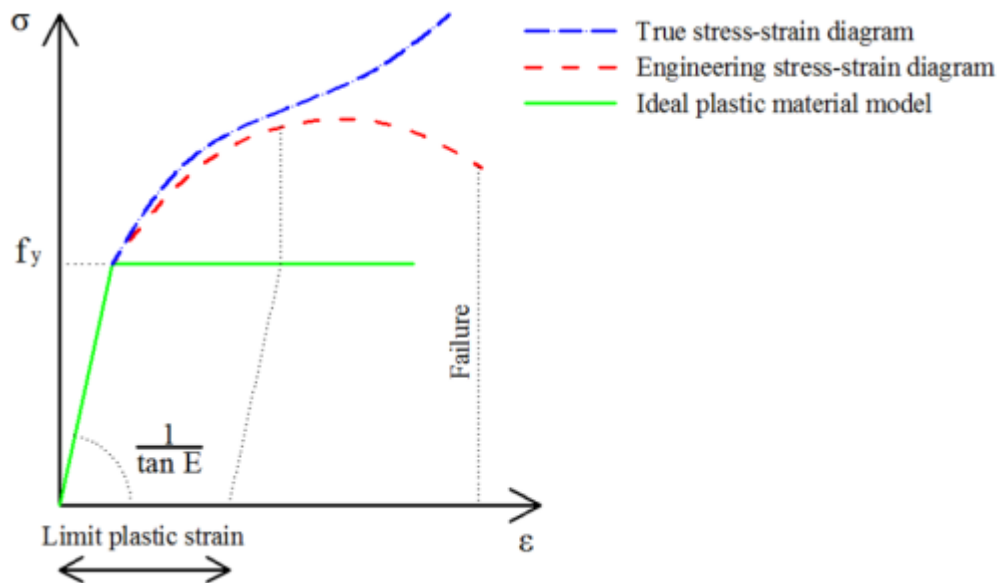
$$\varepsilon_{\text{true}} = \ln(1 + \varepsilon)$$

dove  $\sigma_{\text{true}}$  è lo sforzo reale,  $\varepsilon_{\text{true}}$ ,  $\sigma$  sforzo nominale e  $\varepsilon$  la deformazione nominale.

In IDEA StatiCa Connection, le piastre sono modellate con materiale elastoplastico con incrudimento secondo EN1993-1-5, Par. C.6, (2). Il comportamento del materiale si basa sul criterio a snervamento di von Mises. Si assume che esso sia elastico prima di raggiungere la tensione di snervamento  $f_y$ .

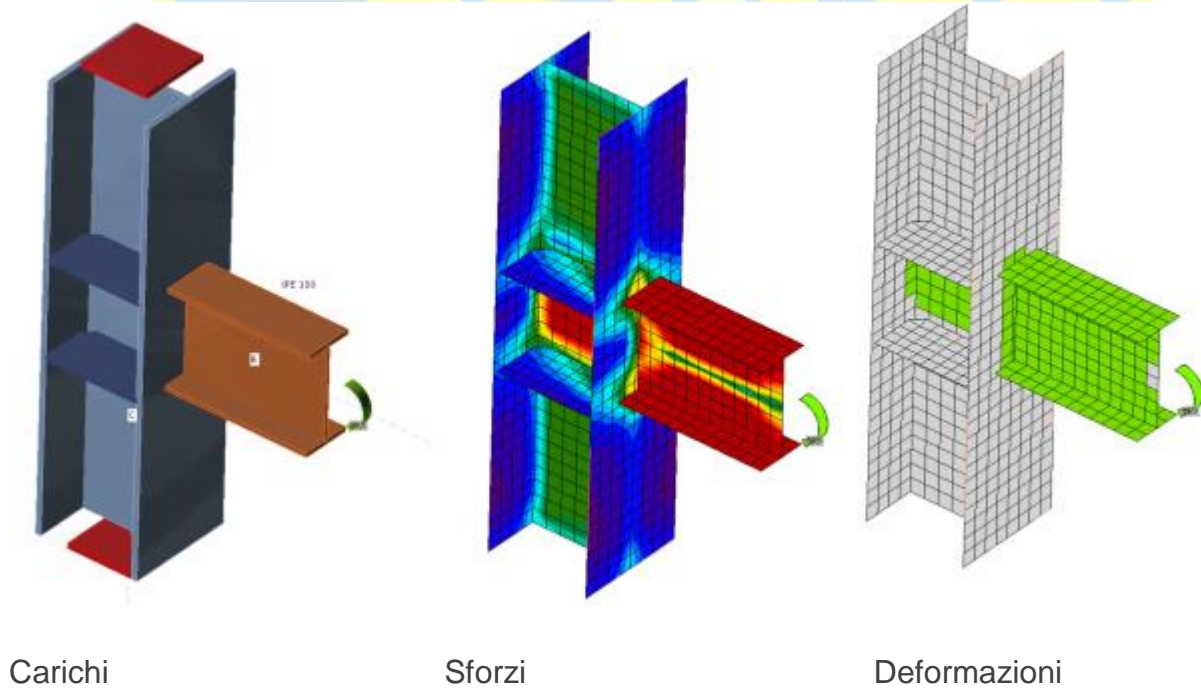
I criteri dello stato limite ultimo per le regioni non sensibili alla deformazione sta raggiungendo un valore limite della deformazione della membrana principale. Si raccomanda come valore limite della deformazione plastica il valore del 5% (si veda ad esempio EN1993-1-5 app. C par. C8 nota 1).





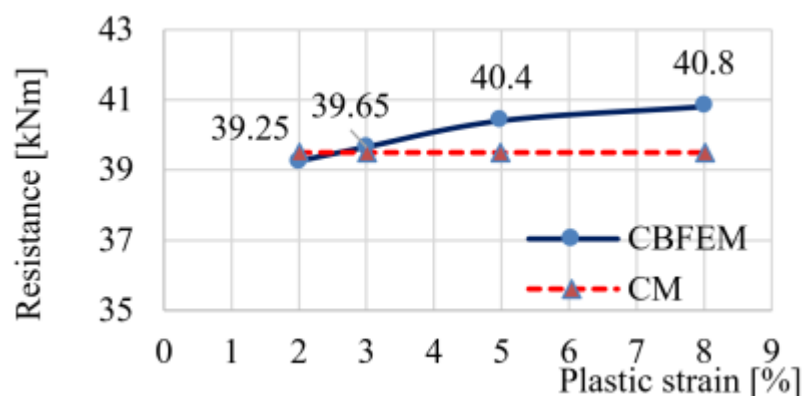
Diagrammi relativo al materiale acciaio nei modelli numerici

Il valore limite di deformazione plastica è spesso discusso. Infatti tale carico ultimo ha una bassa sensibilità al valore limite di deformazione plastica quando viene utilizzato il modello plastico ideale. Ciò è dimostrato nel seguente esempio di trave incastrata ad una colonna. Una trave a sezione IPE 180 è collegata ad una colonna di sezione HEB 300 e caricata da un momento flettente. L'influenza del valore limite di deformazione plastica sulla resistenza della trave è mostrato nella figura seguente. La deformazione plastica limite cambia dal 2% all'8%, ma la variazione del momento resistente è inferiore al 4%.



Esempio di previsione dello stato limite di una trave incastrata ad una colonna





Influenza del valore limite di deformazione plastica sul momento resistente

## 2.2 Modello del Plate e convergenza della mesh

### 2.2.1 Modello del plate

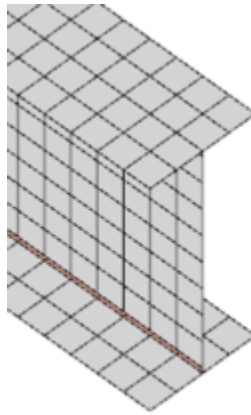
Per la modellazione di piastre nella progettazione FEA nelle connessioni strutturali è raccomandato l'uso di elementi shell. Sono applicati elementi shell a 4 nodi quadrilateri con nodi agli angoli. In ogni nodo sono considerati sei gradi di libertà: 3 traslazioni ( $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ ) e 3 rotazioni ( $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$ ). Le deformazioni dell'elemento sono divise in componenti della membrana e flessionali.

La formulazione del comportamento della membrana si basa sul lavoro di Ibrahimbegovic (1990). Sono considerate rotazioni perpendicolari al piano dell'elemento. E' fornita una formulazione completa 3D dell'elemento. Nella formulazione del comportamento flessionale dell'elemento basato sulle ipotesi di Mindlin sono considerate le deformazioni di taglio fuori dal piano. Sono applicati gli elementi MITC4, si veda Dvorkin (1984). Lo shell è diviso in cinque punti di integrazione lungo l'altezza della piastra e il comportamento plastico è analizzato in ogni punto. Si chiama integrazione Gaus - Lobatto. La fase elastoplastico non lineare del materiale viene analizzato in ogni strato in base alle deformazioni note.

### 2.2.2 Convergenza della mesh

Ci sono dei criteri seguiti nella generazione della mesh nel modello della connessione. La verifica della connessione deve essere indipendente dalla dimensione dell'elemento. La generazione della mesh su una piastra separata avviene senza problemi. L'attenzione deve essere rivolta a geometrie complesse, come pannelli irrigiditi, tronconi a T e piastre di base. L'analisi di sensitività considerando la discretizzazione della mesh deve essere eseguita per geometrie complesse.

Tutte le piastre di una sezione di una trave hanno elementi di dimensione comune. La dimensione degli elementi finiti generati è limitata. La dimensioni minima dell'elemento è impostato a 10 mm e la dimensione massima dell'elemento a 50 mm (può essere impostata nell'Impostazione codice). Le mesh sulle ali e sulle anime sono indipendenti le une dalle altre. Il numero di default degli elementi finiti è impostato a 8 elementi per l'altezza della sezione come mostrato in figura. L'utente può modificare i valori predefiniti nell'impostazione del codice.



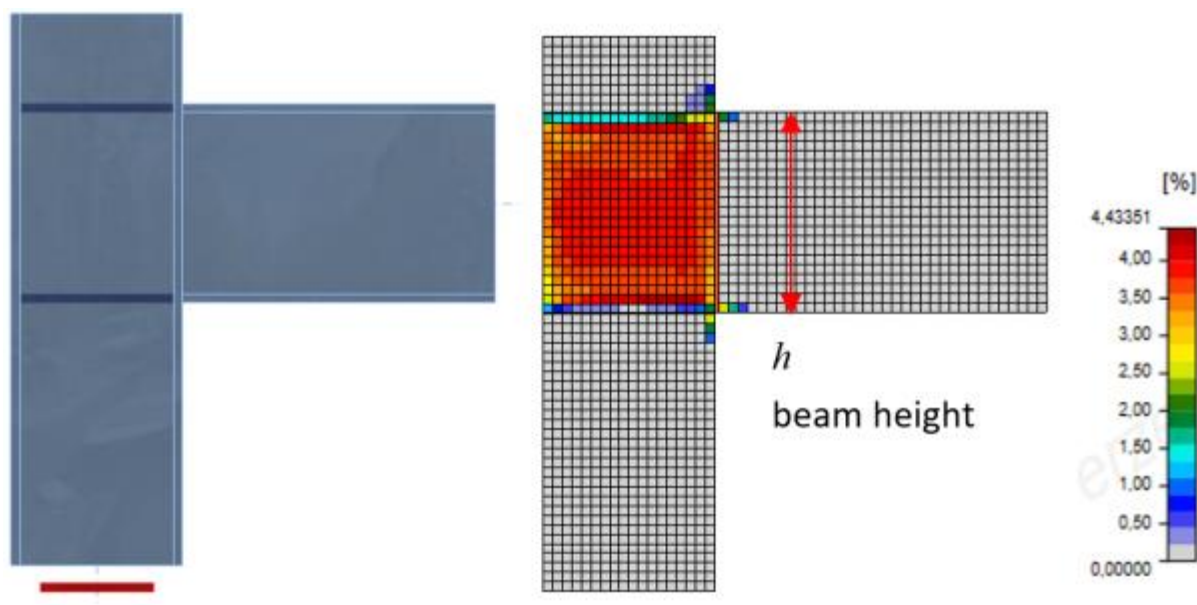
### Mesh su trave con vincoli posti tra la piastra dell'anima e dell'ala

La mesh delle flange è separata e indipendente dalle altre parti della connessione. La dimensione di default degli elementi finiti è impostata a 16 elementi per l'altezza della sezione come mostrato in figura.

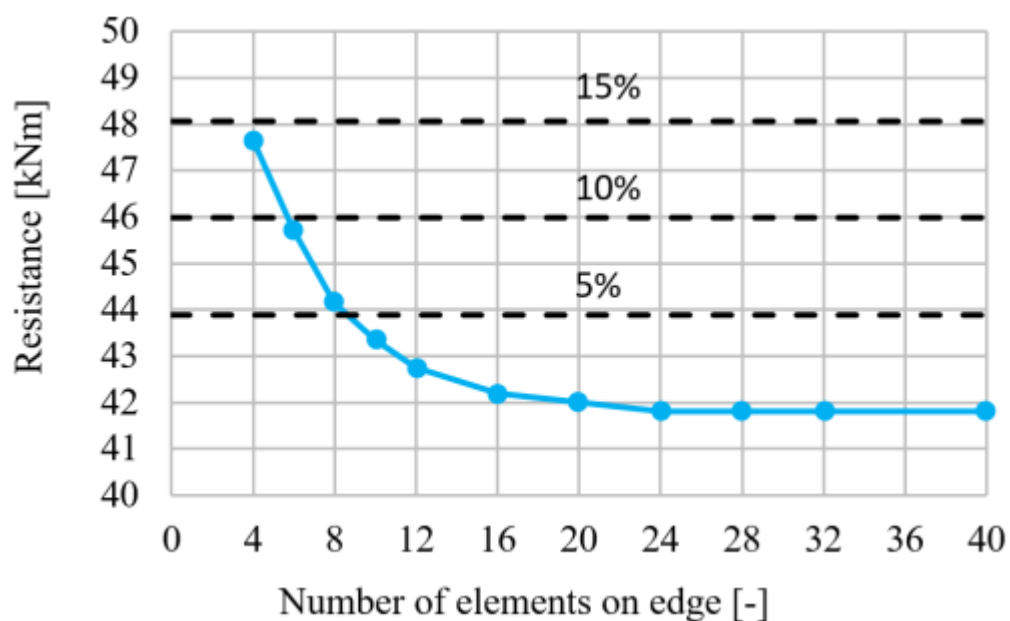


Mesh su flangia, con 7 elementi in larghezza

Il seguente esempio di trave incastrata ad una colonna mostra l'influenza della dimensione della mesh sul momento resistente. Una trave di sezione IPE 220 è collegata ad una colonna HEA200 e caricata da un momento flettente, come mostrato nella figura seguente. La componente critica è il pannello della colonna a taglio. Il numero di elementi finiti lungo l'altezza della sezione sta cambiando da 4 a 40 ed i risultati vengono confrontati. Le linee tratteggiate rappresentano il 5%, il 10% e il 15% di differenza. Si raccomanda di suddividere l'altezza della sezione in 8 elementi.

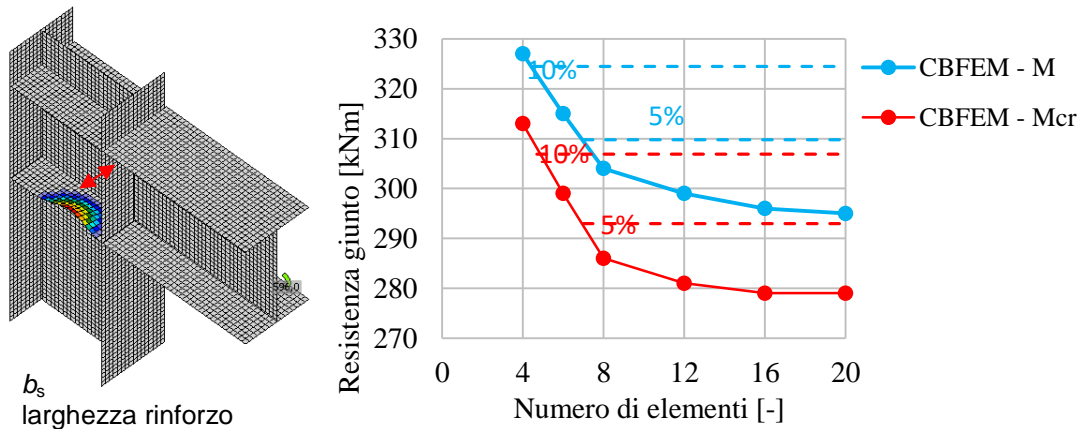


Modello di connessione trave colonna e deformazioni plastiche allo stato limite ultimo



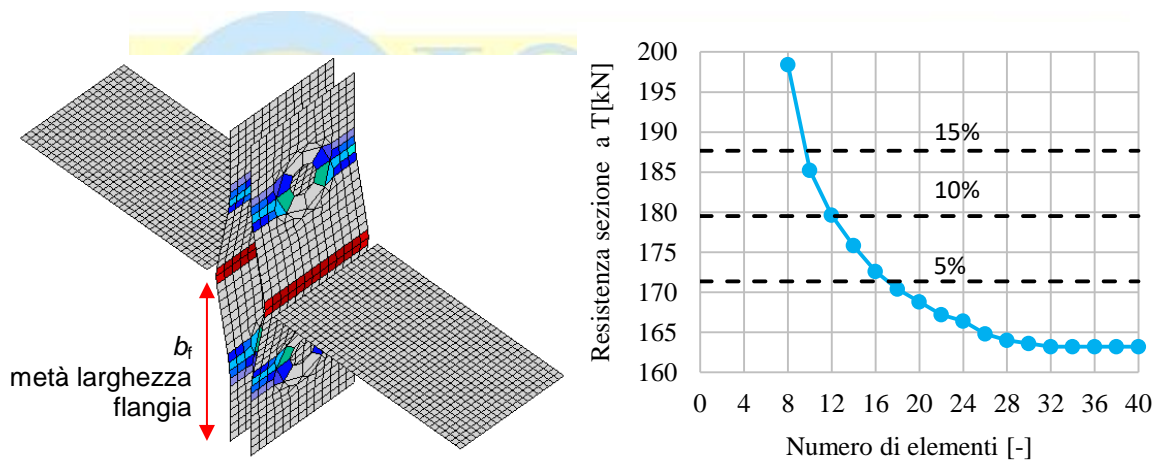
Influenza del numero di elementi sul momento resistente

Di seguito è presentato lo studio di sensitività della mesh di un rinforzo compresso esile di un pannello d'anima di una colonna. La geometria dell'esempio è ripresa nella sezione 6.3. Il numero di elementi lungo la larghezza del rinforzo passa da 4 a 20. Nella figura seguente sono mostrati la prima modalità di deformazione e l'influenza del numero di elementi sulla resistenza all'instabilità e carico critico. E' mostrata la differenza del 5% e del 10%. Si consiglia di utilizzare 8 elementi lungo la larghezza del rinforzo.



### Prima modalità di deformazione e l'influenza del numero di elementi lungo il rinforzo sul momento resistente

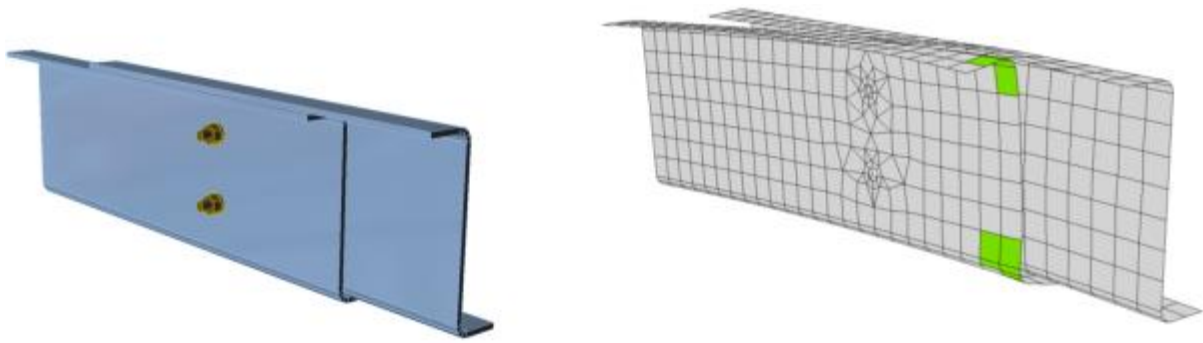
Di seguito è presentato lo studio di sensibilità della mesh sul troncone a T in tensione. La geometria del troncone a T è descritta nel paragrafo 5.1. La metà della larghezza della flangia è suddivisa da 8 a 40 elementi e la dimensione minima dell'elemento è impostata a 1 mm. L'influenza del numero di elementi sulla resistenza del moncone a T è mostrata nella figura seguente. Le linee tratteggiate rappresentano la differenza del 5%, del 10% e del 15%. Si raccomanda di usare 16 elementi sulla metà della larghezza della flangia.



### Influenza del numero di elementi sulla resistenza del troncone a T

## 2.3 Contatti

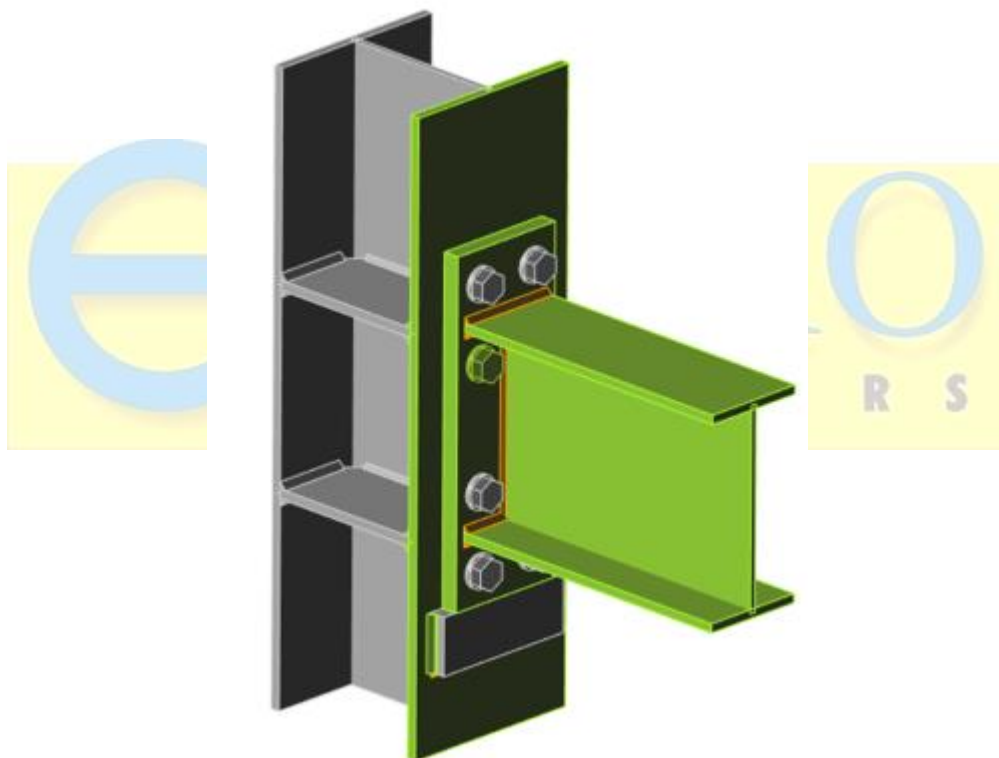
Per la modellazione di un contatto tra le piastre è raccomandato il metodo della penalità standard. Se viene rilevata la penetrazione di un nodo in una superficie di contatto opposta, viene aggiunta una rigidità di penalità tra il nodo e la piastra opposta. La rigidità di penalità è controllata da un algoritmo euristico durante l'iterazione non lineare per ottenere una migliore convergenza. Il risolutore rileva automaticamente il punto di penetrazione e risolve la distribuzione della forza di contatto tra il nodo penetrato e i nodi sulla piastra opposta. Esso consente di creare il contatto tra diverse mesh, come mostrato. Il vantaggio del metodo di penalità è l'assemblaggio automatico del modello. Il contatto tra le piastre ha un notevole impatto sulla ridistribuzione delle forze nella connessione.



Esempio di piastre di separazione in contatto tra anima e ali di due sezioni di arcarecci a Z sovrapposti

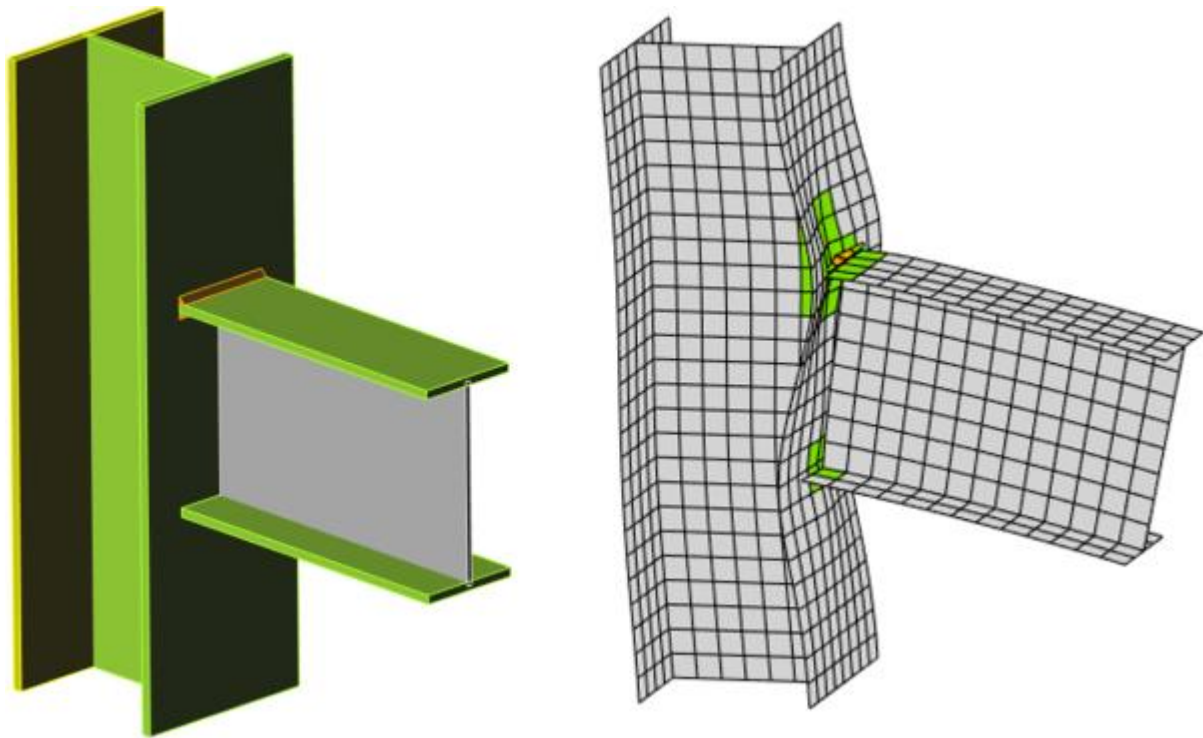
È possibile aggiungere un contatto tra

- due superfici,
- due bordi,
- un bordo e una superficie.



Un esempio di contatto tra bordo e bordo tra la piastra e la flangia





An example of edge to surface contact between the lower flange of the beam and the column flange

## 2.4 Saldature

Esistono diverse opzioni per trattare le saldature nei modelli numerici. Grandi deformazioni rendono l'analisi meccanica più complessa ed è possibile utilizzare diverse descrizioni di mesh, differenti variabili cinetiche e cinematiche e modelli costitutivi. Sono generalmente utilizzati diversi tipi di modelli geometrici 2D e 3D oltre che elementi finiti con la loro applicabilità per i diversi livelli di precisione. Il modello di materiale più spesso utilizzato è il regime comune indipendente dal modello di plasticità basato sul criterio di snervamento alla von Mises. Sono descritti due approcci che vengono utilizzati per le saldature. Lo sforzo e la deformazione residue causate dalla saldatura non sono assunte nel modello di progetto.

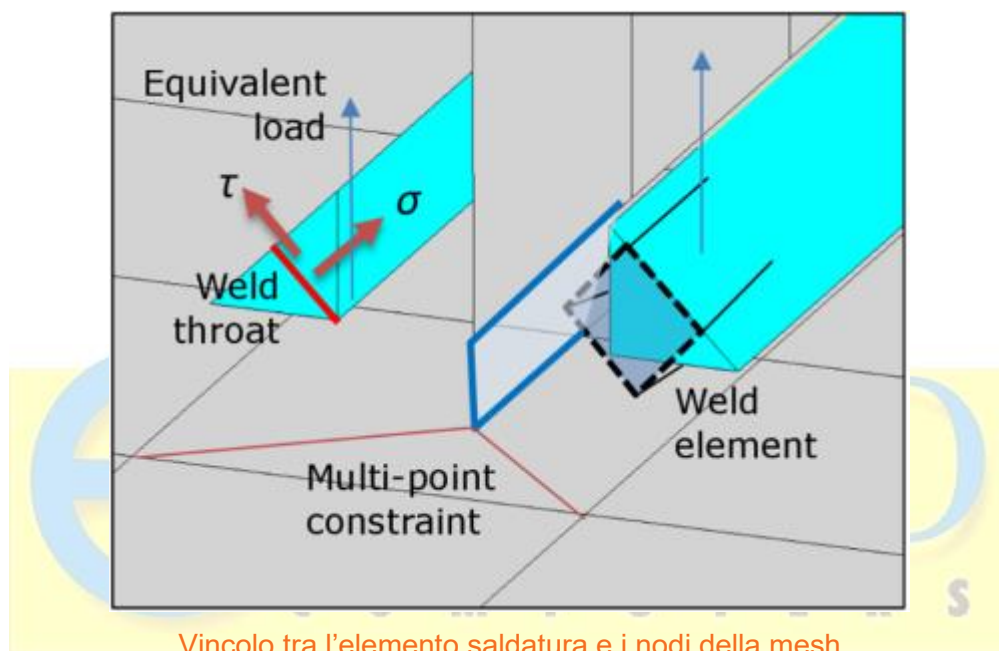
Il carico è trasmesso attraverso vincoli di forza-deformazione basati sulla formulazione Lagrangiana sulla piastra opposta. La connessione è chiamata *vincolo a formulazione multi-punto* (multi-point constraint, MPC) e mette in relazione i nodi di elementi finiti di un bordo di piastra agli altri. I nodi degli elementi finiti non sono collegati direttamente. Il vantaggio di questo approccio è la capacità di connettere mesh con densità diverse. Il vincolo consente di modellare la superficie della linea mediana delle piastre collegate con l'offset, che rispetta la configurazione della saldatura reale e lo spessore della gola. La distribuzione del carico nella saldatura è derivata dal MPC, quindi le sollecitazioni sono calcolate nella sezione della gola. Questo è importante per la distribuzione delle tensioni nella piastra sotto la saldatura e per la modellazione dei T-stubs.

### 2.4.1 Ridistribuzione plastica delle tensioni nelle saldature

Il modello con solo vincoli a formulazione multi-punto non rispetta la rigidità della saldatura e la distribuzione della tensione è conservativa. I picchi di sollecitazione che appaiono all'estremità dei bordi della piastra, negli angoli e negli arrotondamenti, regolano la resistenza lungo l'intera lunghezza della saldatura. A eliminare l'effetto, uno speciale

elemento elastoplastico viene aggiunto tra le piastre. L'elemento rispetta lo spessore della gola della saldatura, posizione e orientamento. La saldatura equivalente solida è inserita con le corrispondenti dimensioni della saldatura. Viene applicata una analisi non lineare del materiale e viene determinato il comportamento elastoplastico nella saldatura equivalente solida. Lo stato di plasticità è controllato mediante le tensioni nella sezione di gola della saldatura. I picchi di tensione vengono ridistribuiti lungo la parte più lunga della lunghezza della saldatura.

Il modello elastoplastico delle saldature fornisce valori reali di tensioni e non è necessario mediare o interpolare le tensioni. I valori calcolati sull'elemento di saldatura più sollecitato vengono utilizzati direttamente per le verifiche della componente di saldatura. In questo modo, non è necessario ridurre la resistenza di saldature multi-orientate, saldature su ali non rinforzate o saldature lunghe.



Le saldature generiche, mentre si utilizza la redistribuzione della plastica, possono essere impostate come continue, parziali e intermittenti. Le saldature continue sono su tutta la lunghezza del bordo, quella parziale consente all'utente di impostare offset da entrambi i lati del bordo, e le saldature intermittenti possono essere impostate con una lunghezza definita e uno spazio vuoto.

## 2.5 Bulloni

Nel metodo agli elementi finiti basato sulle componenti (CBFEM) il bullone è una componente con il suo comportamento in trazione, taglio e supporto rappresentato da molle non lineari dipendenti. Il bullone in trazione è descritto da molle dotate della sua rigidità assiale iniziale, della resistenza di progetto, del punto di snervamento e di capacità di deformazione. La rigidità iniziale assiale è derivata analiticamente nella linea guida VDI2230. Il modello corrisponde ai dati sperimentali, vedi (Gödrich et al 2014). Per l'inizio dello snervamento e la capacità di deformazione si presume che la deformazione plastica si verifichi nella parte filettata del gambo del bullone. La forza di inizio dello snervamento  $F_{y,ini}$  è

$$F_{y,ini} = f_{y,b} A_t$$

dove,  $f_{y,b}$  è la forza di snervamento del bullone e  $A_t$  è l'area di trazione del bullone.



Tale relazione fornisce ai materiali con un basso rapporto tra resistenza ultima e forza di snervamento valori più elevati di resistenza di progetto  $F_{t,Rd}$ . Per assicurarsi di avere un valore positivo di rigidezza plastica dovrebbe essere preso

$$F_{y,ini} = f_{y,b} A_t$$

dove,  $f_{y,b}$  è la forza di snervamento del bullone e  $A_t$  è l'area di trazione del bullone.

Tale relazione fornisce ai materiali con un basso rapporto tra resistenza ultima e forza di snervamento valori più elevati di resistenza di progetto  $F_{t,Rd}$ . Per assicurarsi di avere un valore positivo di rigidezza plastica dovrebbe essere preso

$$F_{y,ini} \leq F_{t,Rd}$$

La capacità di deformazione del bullone  $\delta_c$  consiste nella deformazione elastica del gambo del bullone  $\delta_{el}$  e nella deformazione plastica della porzione filettata  $\delta_{pl}$ .

$$\delta_c = \delta_{el} + \delta_{pl}$$

$$\delta_{el} = \frac{F_{t,Rd}}{k_{ini}}$$

dove  $k_{ini}$  è la deformazione iniziale di rigidezza del bullone in trazione secondo la linea guida VDI2230, e

$$\delta_{pl} = \varepsilon_{pl} l_t$$

dove,  $\varepsilon_{pl}$  è il limite della deformazione plastica, dato dal valore del 5%, e  $l_t$  è la lunghezza della porzione filettata.

La forza di trazione viene trasmessa alle piastre attraverso legami di interpolazione tra il gambo del bullone e i nodi nella piastra. L'area di trasferimento corrisponde al valore medio del gambo del bullone e il cerchio inscritto nell'esagono della testa del bullone.

La capacità di deformazione è considerata in base a (Wald et al 2002) come

$$\delta_{pl} = 3 \varepsilon_{el}$$

L'avvio dello snervamento è previsto a (si veda la figura seguente)

$$F_{ini} = 2/3 F_{b,Rd}$$

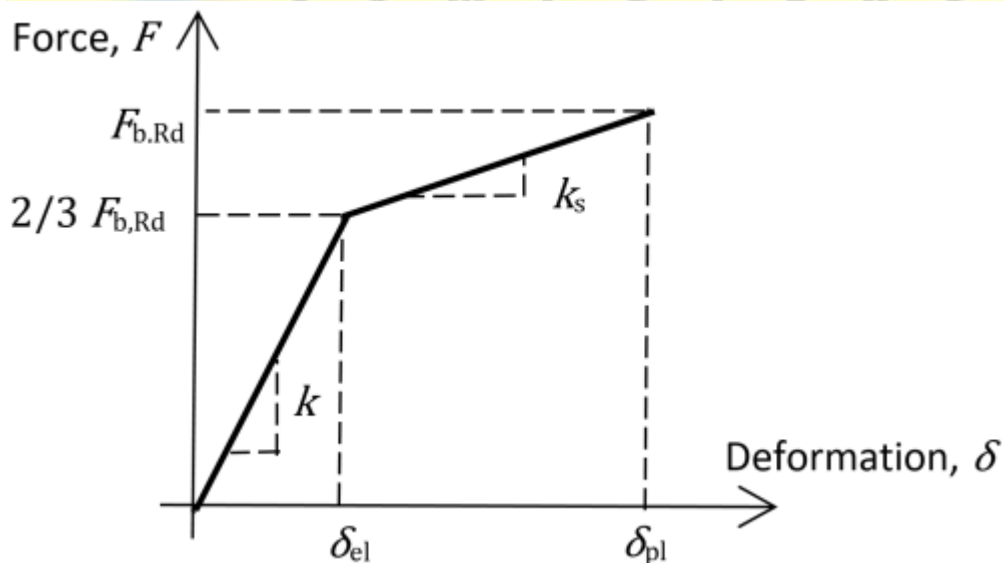
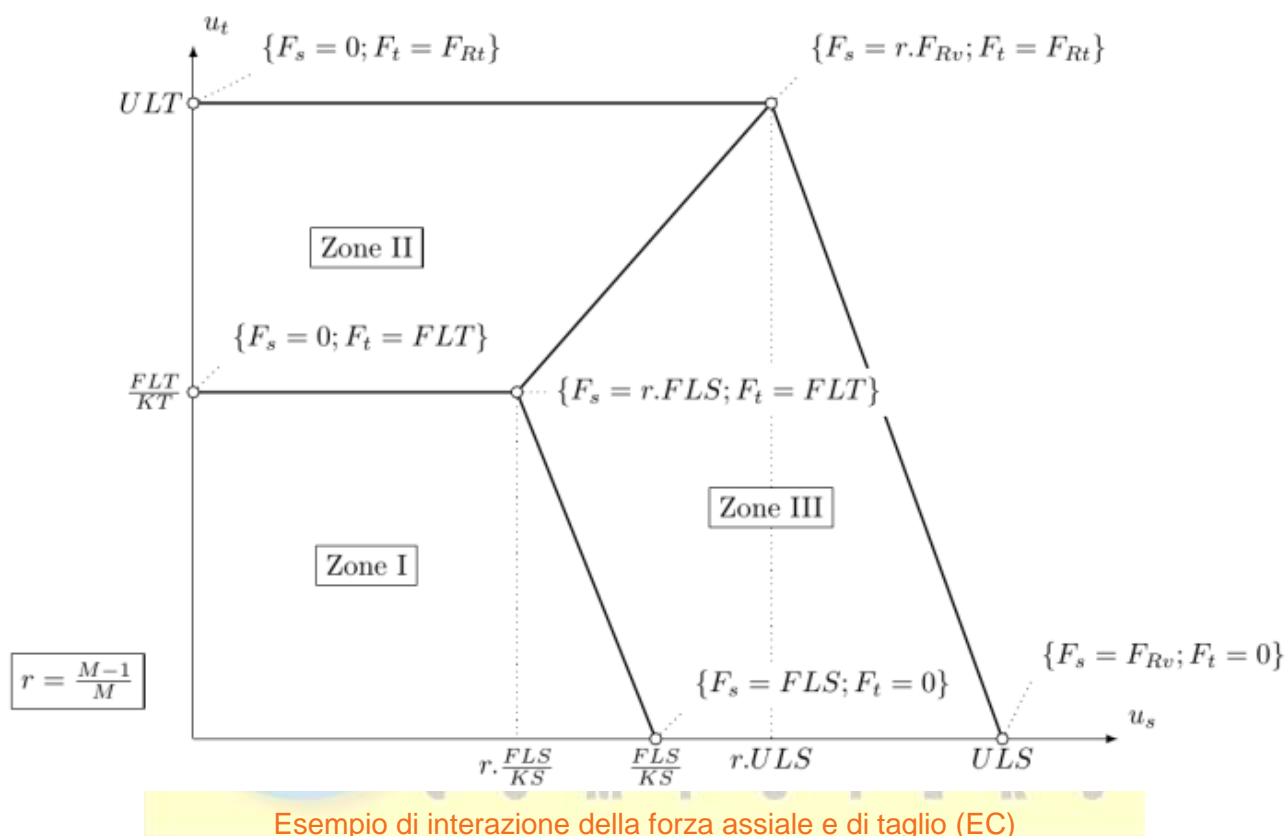


Diagramma forza -deformazione per piastra di supporto

Solo la forza di compressione viene trasferita dal gambo del bullone alla piastra nel foro del bullone. Essa è modellata mediante vincoli di interpolazione tra i nodi del gambo e i nodi del bordo dei fori. La rigidezza di deformazione dell'elemento shell, che modella le piastre, distribuisce le forze tra i bulloni e simula l'adeguato supporto della piastra.

I fori dei bulloni sono considerati standard (default) or asolati (possono essere modificati nell'editor della piastra). I bulloni nei fori standard possono trasferire la forza di taglio in tutte le direzioni, i bulloni nei fori asolati hanno una direzione esclusa e possono muoversi liberamente in questa direzione selezionata.

L'interazione della forza assiale e di taglio può essere introdotta direttamente nel modello di analisi. La distribuzione delle forze riflette meglio la realtà (vedi schema allegato). Bulloni con elevata forza di trazione richiedono meno forza di taglio e viceversa.



## 2.6 Bulloni precaricati

I bulloni precaricati sono utilizzati nei casi in cui è richiesta la minimizzazione della deformazione. Il modello di tensione del bullone è lo stesso che per bulloni standard. La forza di taglio non viene trasferita dal supporto, ma per attrito tra le piastre connesse.

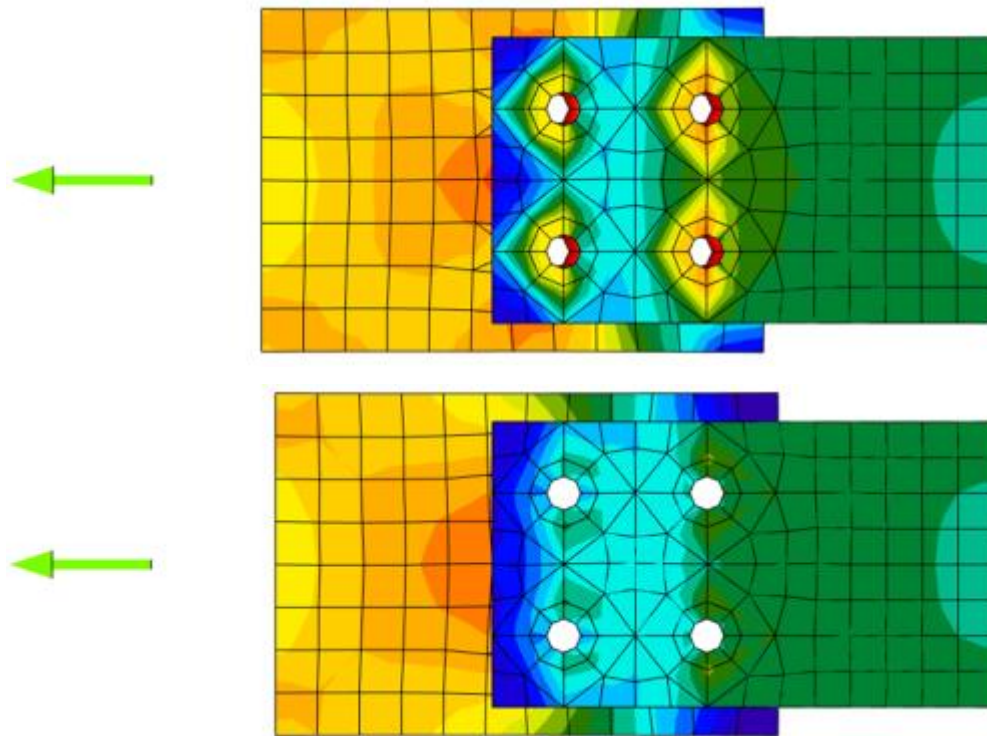
La resistenza di scorrimento di progetto di un bullone precaricato è sottoposta ad una forza di trazione applicata.

IDEA Statica Connection verifica gli stati limite di esercizio di bulloni precaricati. Se vi è un effetto di scorrimento, i bulloni non soddisfano la verifica. Allora lo stato limite ultimo può essere verificato come una verifica di bulloni standard.

L'utente può decidere quale stato limite verificare. In entrambi i casi è importante la resistenza a scorrimento o lo stato ultimo in termini di taglio dei bulloni. Anche le verifiche di un unico bullone non sono combinate in un'unica soluzione. Si presume che il bullone abbia un comportamento standard dopo un importante scorrimento e che possa essere verificato mediante procedura di supporto standard.

Il tipo di momento di una connessione ha poca influenza sulla capacità di taglio. Ma, abbiamo risolto la verifica del semplice attrito su ogni bullone separatamente. Questa verifica è implementata nella componente FEM del bullone. Non ci sono informazioni in

modo generale, se il carico di tensione esterno di ogni bullone è dato da un momento o dal carico di tensione della connessione.



Distribuzione degli sforzi in una connessione di bulloni a taglio standard e resistenti allo scorrimento

## 2.7 Ancoraggi

L'ancoraggio è modellato con procedure simili a quelle dei bulloni strutturali. Il bullone è fissato su un lato al blocco di calcestruzzo. La sua lunghezza  $L_b$  è considerata come somma dello spessore della rondella  $t_w$ , dello spessore della piastra di base  $t_{bp}$ , dello spessore della malta  $t_g$  e della lunghezza libera incorporata nel calcestruzzo, che si prevede essere pari a  $8d$ , dove  $d$  è il diametro del bullone. Il fattore 8 è modificabile nell'Impostazione del Codice. Tale valore è in accordo con il Metodo delle Componenti (EN1993-1-8: 2006); la lunghezza libera incorporata nel calcestruzzo può essere modificata in Impostazione Codice. La rigidità in termini di tensione viene calcolato come  $k = E A_s / L_b$ . Il diagramma carico-deformazione dell'ancoraggio è mostrato nella figura seguente. I valori in base alla norma ISO 898: 2009 sono riassunte nella tabella e nelle formule seguenti.

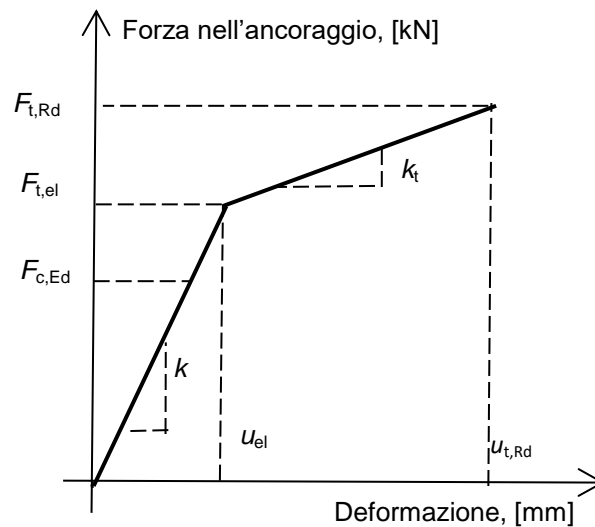


Diagramma carico-deformazione di un ancoraggio

$$F_{t,el} = \frac{F_{t,Rd}}{c_1 \cdot c_2 - c_1 + 1}$$

$$k_t = c_1 k; \quad c_1 = \frac{R_m - R_e}{\frac{1}{4}A - \frac{R_e}{E}E}$$

$$u_{el} = \frac{F_{t,el}}{k}; \quad u_{t,Rd} = c_2 u_{el}; \quad c_2 = \frac{AE}{4R_e}$$

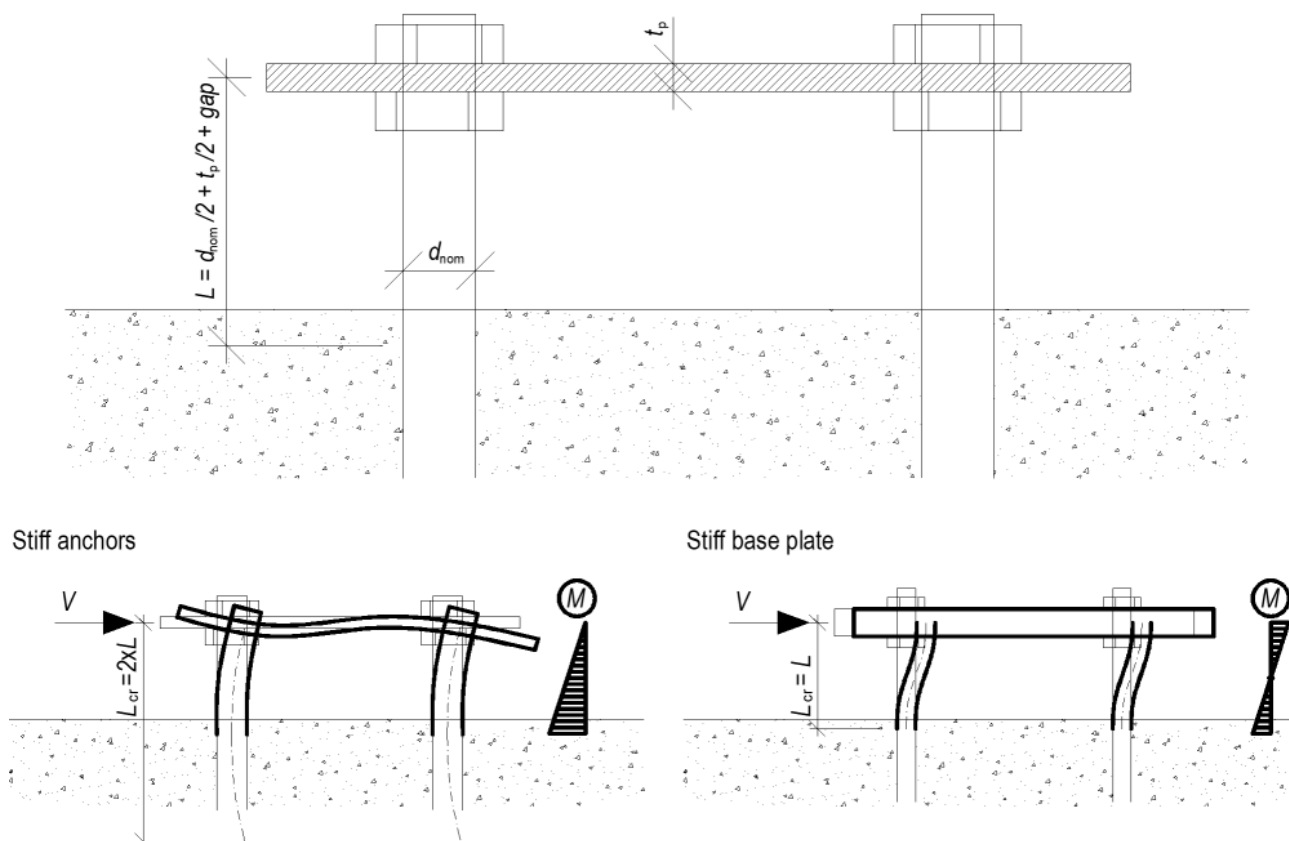
dove:

- $A$  – allungamento
- $E$  – Modulo di elasticità di Young
- $F_{t,Rd}$  – resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio
- $R_m$  – resistenza ultima a trazione
- $R_e$  – tensione di snervamento

La rigidezza dell'ancoraggio a taglio viene considerata come rigidezza del bullone strutturale a taglio.

### 2.7.1 4.5.1 Ancoraggi con gioco (stand-off)

Gli ancoraggi con gioco possono essere verificati come una fase di costruzione prima che sia fatto il getto per la colonna o come uno stato permanente. L'ancoraggio con gioco è progettato come barra caricata da una forza di taglio, momento e sforzo di compressione o trazione. Queste forze interne sono determinate dal modello ad elementi finiti. L'ancoraggio è fissato su entrambi i lati, un lato è  $0.5 \times d$  sotto il livello del calcestruzzo, l'altro lato è nella metà dello spessore della piastra. La lunghezza libera di inflessione è conservativamente assunta come due volte la lunghezza della barra. Viene utilizzato il modulo di resistenza plastico. Le forze nell'ancoraggio con gioco sono determinate usando l'analisi agli elementi finiti. Il momento flettente dipende dal rapporto tra rigidezza degli ancoraggi e piastra di base.



Ancoraggio con gioco – determinazione del braccio di leva e lunghezze libere di inflessione; ancoraggi rigidi sono assunti a vantaggio di sicurezza

## 2.8 Blocco di calcestruzzo

### 2.8.1 Modello di progetto

Nel CBFEM, il blocco di calcestruzzo è stato semplificato come un insieme di elementi di contatto 2D. La connessione tra il calcestruzzo e la piastra di base resiste solo a compressione. La compressione viene trasferita tramite modello del sottosuolo alla Winkler-Pasternak, che rappresenta le deformazioni del blocco di calcestruzzo. La forza di trazione fra la piastra di base e il blocco di cemento è supportata dagli ancoraggi. La forza di taglio è trasferita mediante attrito tra la piastra di base e il blocco di calcestruzzo, mediante scorrimento, e attraverso la flessione dei tirafondi e l'attrito. La resistenza dei bulloni a taglio è valutata analiticamente. L'attrito e lo scorrimento sono modellati come un vincolo costituito da un unico punto pieno nel piano di contatto piastra di base-blocco di calcestruzzo.

### 2.8.2 Rigidezza di deformazione

La rigidezza del blocco di calcestruzzo può essere prevista per la progettazione di colonne di base come emisfero elastico. Il modello di sottosuolo Winkler-Pasternak è comunemente usato per il calcolo semplificato delle fondazioni. La rigidezza del sottosuolo è determinata impiegando il modulo di elasticità del calcestruzzo e l'altezza efficace del sottosuolo come:

$$k = \frac{E_c}{(\alpha_1 + \nu) \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{eff}}}{A_{\text{ref}}}}} \cdot \left( \frac{1}{\frac{h}{\alpha_2 \cdot d} + \alpha_3} + \alpha_4 \right)$$

dove:

- $k$  – rigidezza in compressione del basamento in calcestruzzo
- $E_c$  – modulo di elasticità del calcestruzzo
- $\nu$  – coefficiente di Poisson del blocco di calcestruzzo
- $A_{\text{eff}}$  – effective area in compression
- $A_{\text{ref}} = 10\text{m}^2$  – area di riferimento
- $d$  – larghezza della piastra di base
- $h$  – altezza della colonna di base
- $\alpha_1 = 1.65, \alpha_2 = 0.5, \alpha_3 = 0.3, \alpha_4 = 1.0$  – coefficienti

Nella formula devono essere utilizzate le unità del SI, l'unità risultante è  $\text{N/m}^3$ .



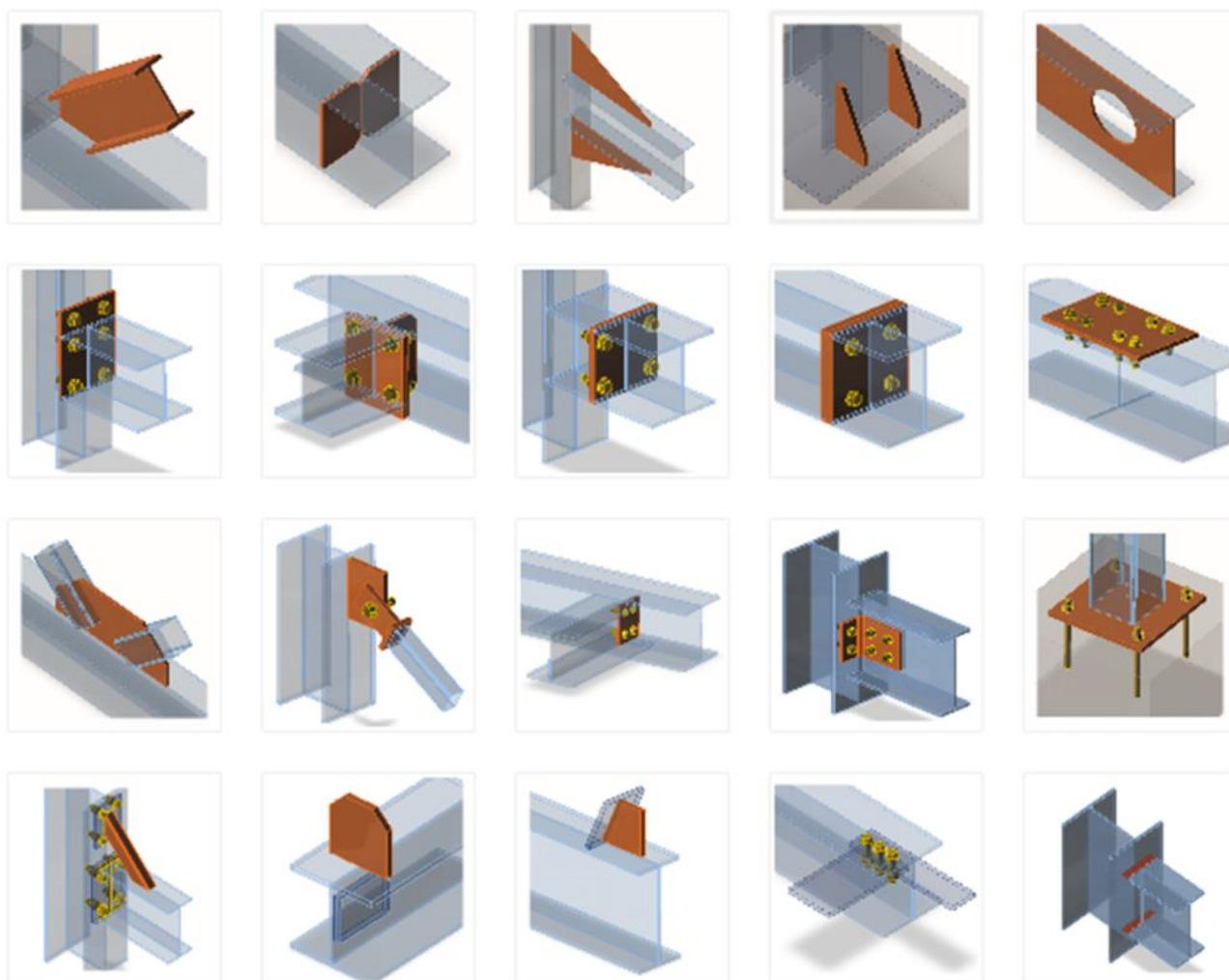


## 3 Analisi

### 3.1 Modello di analisi

Il nuovo metodo delle componenti (CBFEM – Component Based Finite Element Model) permette un'analisi veloce dei giunti di diverse forme e configurazioni. Il modello è composto da elementi sui quali vengono applicati i carichi e operazioni di produzione (compresi gli elementi di irrigidimento), che servono a connettere i membri l'un l'altro. Gli elementi non devono essere confusi con le operazioni di produzione perché i loro bordi di taglio sono collegati tramite collegamenti rigidi al nodo della connessione quindi non sono deformati correttamente se utilizzati al posto delle operazioni di produzione (elementi di irrigidimento).

Il modello FEM è generato automaticamente. Il progettista non crea il modello, ma solo il giunto, usando le Operazioni di produzione – vedi figura.



**Operazioni di produzione/voci che possono essere usate per la creazione del giunto**

Ogni operazione di produzione aggiunge nuovi elementi alla connessione – tagli, piastre, bulloni, saldature.

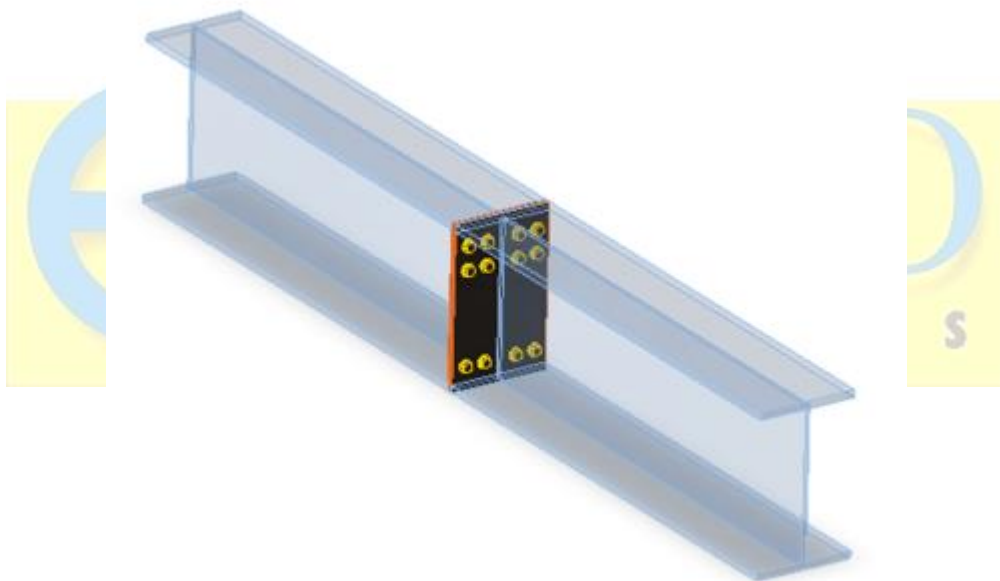


### 3.2 Elemento portante e supporti

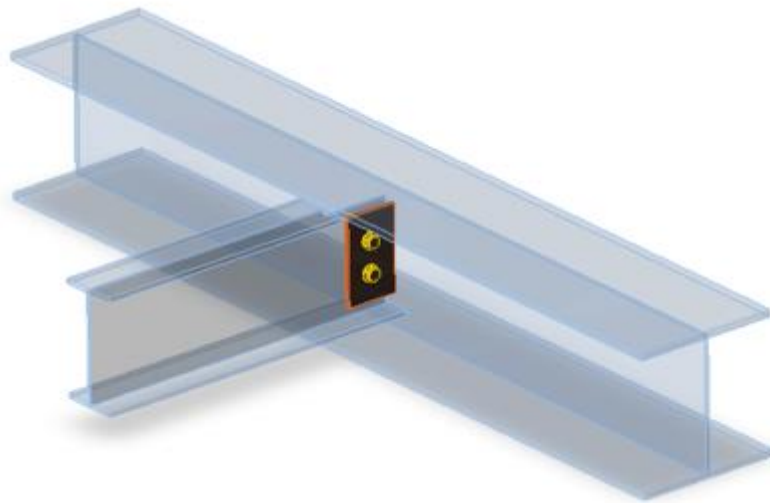
Un elemento del nodo è sempre impostato come “portante”. Tutti gli altri membri sono “connessi”. L’elemento portante può essere scelto dal progettista. Esso può essere “continuo” o “finito” nel nodo. Gli elementi "Finiti" sono vincolati a un'estremità, gli elementi "Continui" sono vincolati su entrambe le estremità.

Gli elementi connessi possono essere di diversi tipi, in base al carico che l’elemento può prendere:

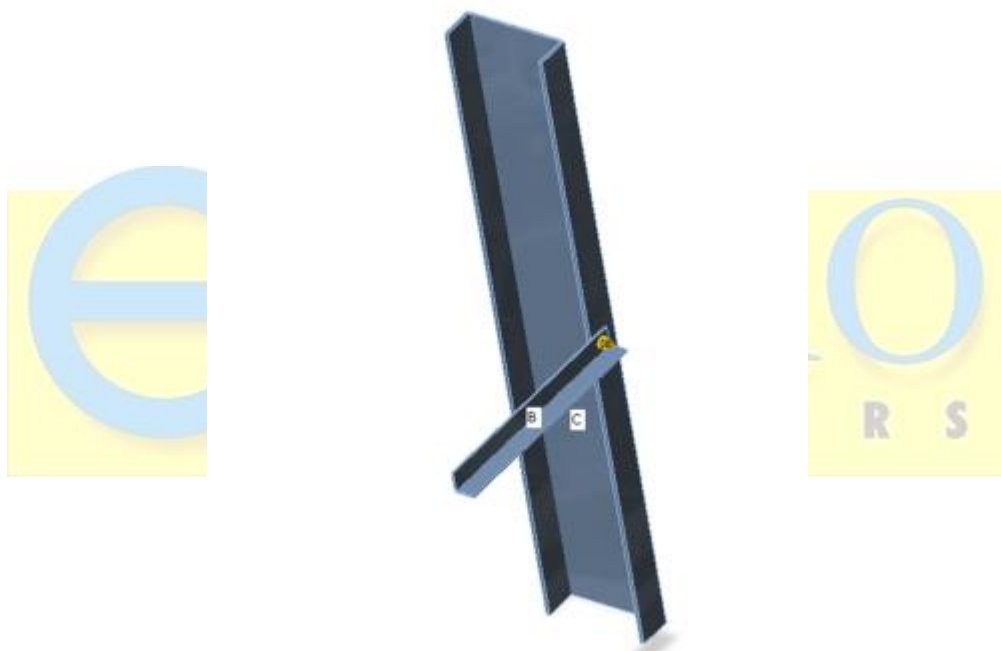
- Tipo  $N-V_y-V_z-M_x-M_y-M_z$  – l’elemento è in grado di trasferire tutte le 6 componenti delle forze interne.
- Tipo  $N-V_y-M_z$  – l’elemento è in grado di trasferire solo i carichi che agiscono nel piano XY – forze interne  $N, V_y, M_z$ .
- Tipo  $N-V_z-M_y$  – l’elemento è in grado di trasferire solo i carichi che agiscono nel piano XZ – forze interne  $N, V_z, M_y$ .
- Tipo  $N-V_y-V_z$  – l’elemento è in grado di trasferire solo lo sforzo normale  $N$  e i tagli  $V_y$  e  $V_z$ .



La connessione piastra-piastra trasferisce tutte le componenti di forza interna



Piatto rinforzato. La connessione può trasferire solo i carichi nel piano XZ – forze interne  $N$ ,  $V_z$ ,  $M_y$



Connessione a fazzoletto – connection of truss member può trasferire solo la forza assiale  $N$  e i tagli  $V_y$  e  $V_z$

Ogni nodo è in stato di equilibrio durante l'analisi della struttura a telaio. Se le forze di estremità dei singoli elementi sono applicate al modello CBFEM dettagliato, lo stato di equilibrio si riscontra nuovamente. Perciò non sarebbe necessario definire i supporti nel modello di analisi. Tuttavia, per ragioni pratiche, un supporto resistente a tutte le traslazioni viene posto in corrispondenza della prima estremità dell'elemento portante. Questo non influenza lo stato di sforzo o il sistema di forze interne nel giunto, ma solo le deformazioni.

I tipi appropriati di vincolo che rispettano il tipo dei singoli elementi sono definiti alle estremità dei membri connessi per impedire il verificarsi di meccanismi instabili.

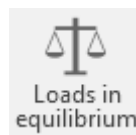
La lunghezza predefinita di ciascun elemento è il doppio della sua altezza. La lunghezza di un elemento deve essere almeno  $1 \times$  l'altezza dell'elemento dopo l'ultima operazione di produzione (saldatura, apertura, rinforzo, ecc.) a causa delle deformazioni corrette dopo i links rigidi che collegano l'estremità tagliata di un elemento al nodo della connessione.

### 3.3 Equilibrio del nodo

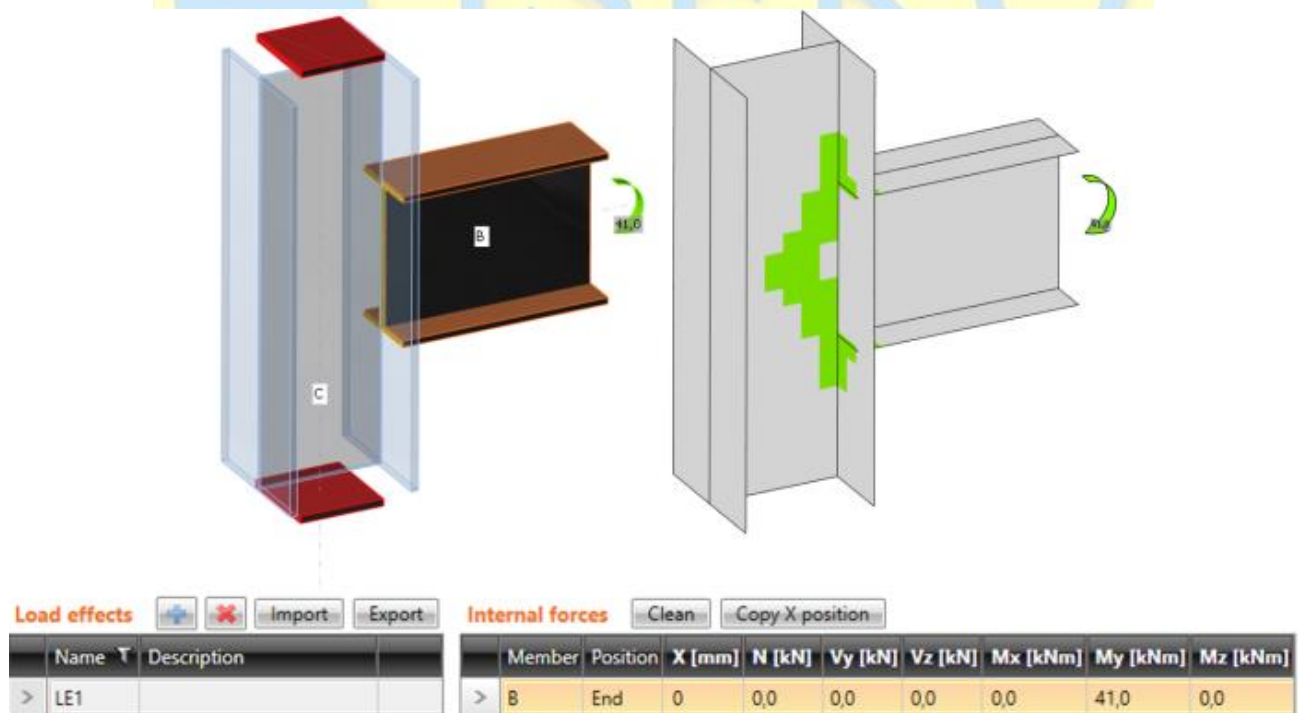
Ogni nodo del modello FEM 3D deve essere in equilibrio. Il requisito di equilibrio è corretto, tuttavia, non è necessario per la progettazione di giunti semplici. Un elemento del nodo è sempre "portante" e gli altri sono connessi. Se è verificata la sola connessione degli elementi connessi, non è necessario avere l'equilibrio. Così ci hanno a disposizione due modalità di inserimento dei carichi:

- **Semplificato** – in questa modalità l'elemento portante è vincolato (elemento continuo su entrambi i lati) e il carico non è definito sull'elemento
- **Avanzato** (esatto con controllo dell'equilibrio). L'elemento portante è vincolato ad una estremità, i carichi sono applicati a tutti gli elementi e deve essere trovato l'equilibrio

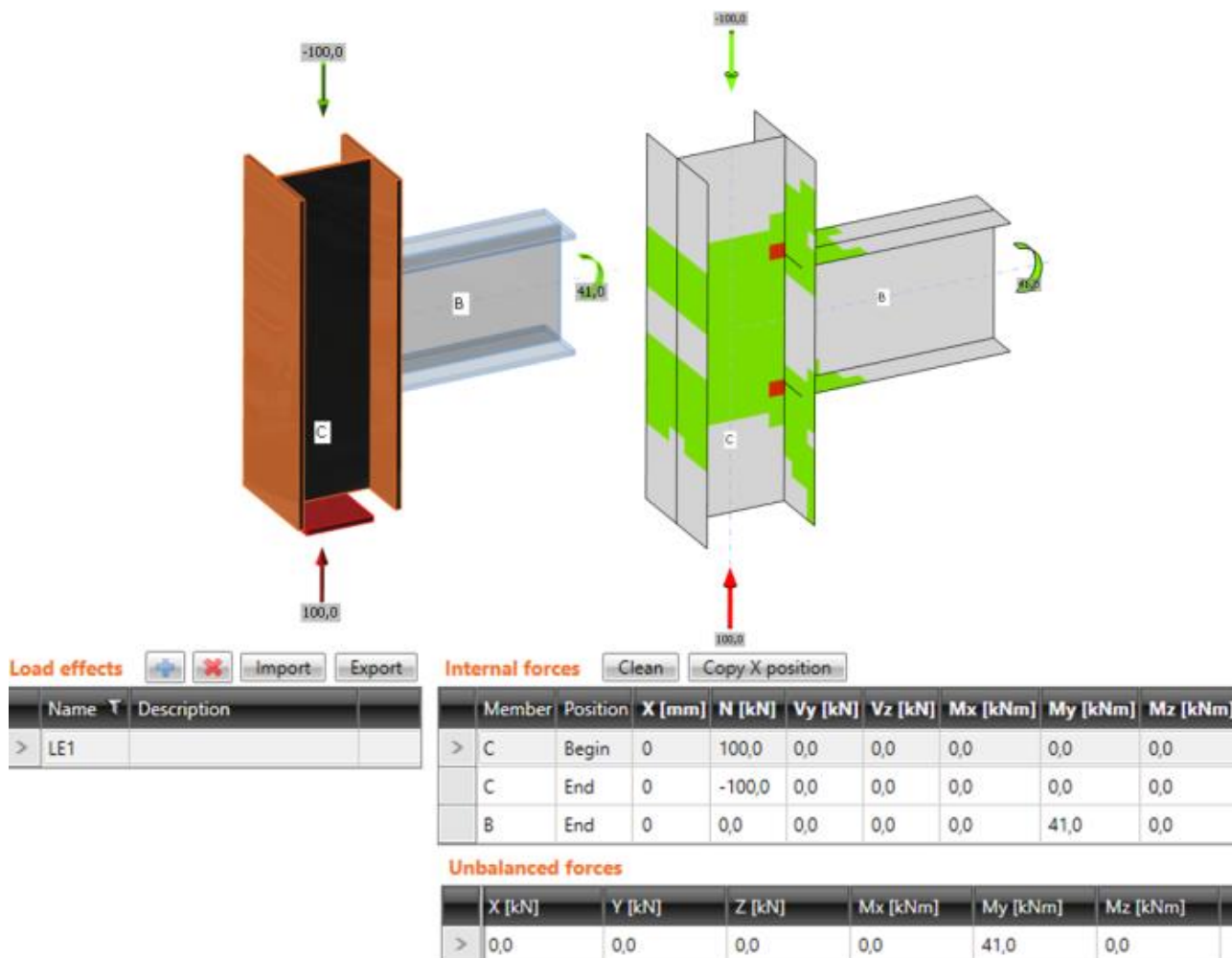
La modalità può essere cambiata attraverso il pulsante **Carichi in equilibrio**.



La differenza tra le modalità è mostrata con il seguente esempio di connessione a T. La trave ha momento flettente d'estremità di 41 kNm. C'è anche una forza di compressione di 100kN nella colonna. In caso di modalità semplificata la forza normale non viene presa in considerazione perché la colonna è vincolata su entrambe le estremità. Il programma mostra solo l'effetto del momento flettente della trave. Gli effetti della forza assiale sono analizzati solo in modalità piena e sono mostrati nei risultati.



Input semplificato: la forza normale nella colonna NON è presa in considerazione



**Input avanzato: la forza normale nella colonna è presa in considerazione**

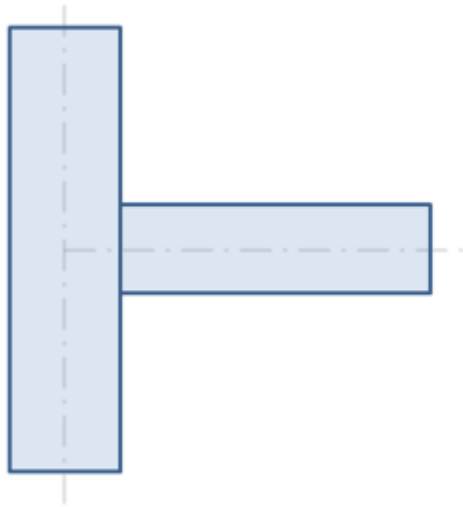
Il metodo semplificato è più facile per l'utente, ma può essere utilizzato solo nel caso in cui l'utente sia interessato a studiare gli elementi della connessione e non il comportamento di tutto il nodo.

Nei casi in cui l'elemento portante sia molto caricato e vicino alla sua capacità limite è necessaria la modalità avanzata con il rispetto di tutte le forze interne nel giunto.

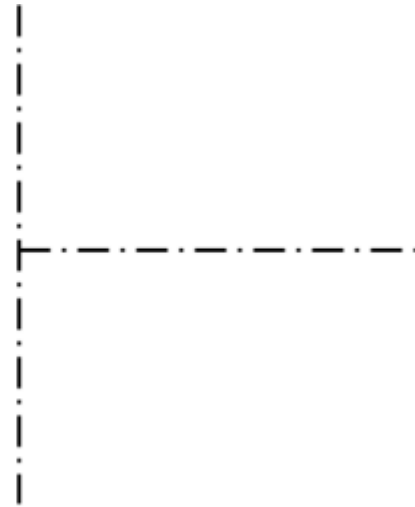
### 3.4 Carichi

Le forze di estremità degli elementi di un modello di analisi a telaio sono trasferite alla fine dei relativi segmenti. Le eccentricità degli elementi rispetto al nodo, causate dal progetto del nodo stesso, vengono rispettate in questo passaggio.

Il modello di analisi creato da metodo CBFEM corrisponde al vero e proprio giunto in modo molto preciso, mentre l'analisi delle forze interne viene eseguita su un modello FEM 3D molto idealizzato 1D, dove le travi individuali sono modellate utilizzando linee centrali e i giunti sono modellati usando nodi immateriali.



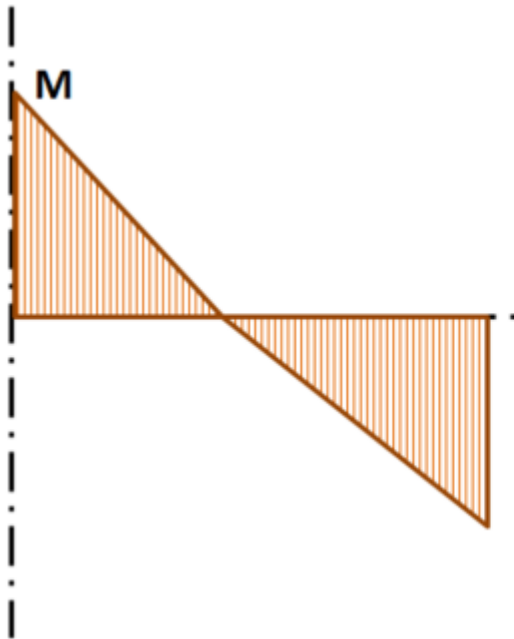
Forma reale del giunto



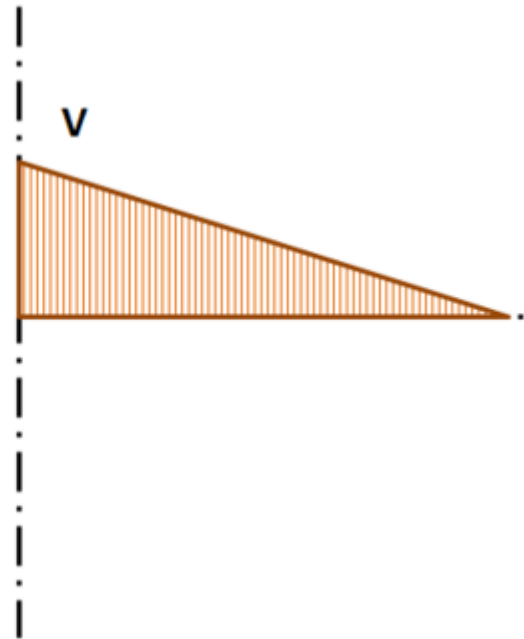
Forma teorica nel modello 3D FEM

### Giunto di colonna verticale e trave orizzontale

Le forze interne vengono analizzate utilizzando elementi 1D nel modello 3D. Vi è un esempio di distribuzione di forze interne nella figura seguente.



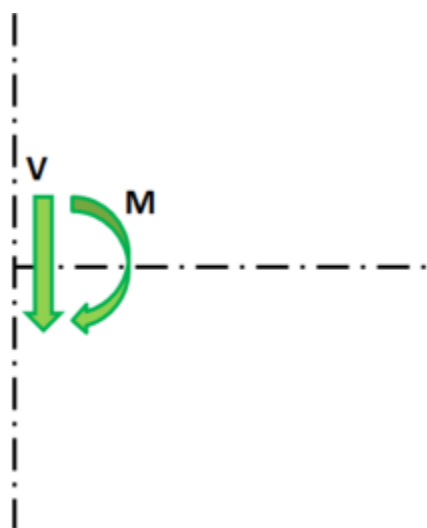
Momento flettente



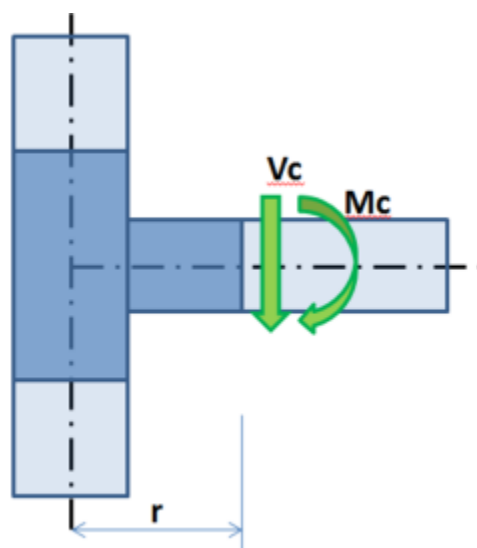
Forza di taglio

Distribuzione di forze interne sulla trave orizzontale.  $M$  e  $V$  sono le forze d'estremità del giunto

Gli effetti causati da un elemento sul giunto sono importanti per progettare il giunto (connessione). Gli effetti sono illustrati nella figura seguente:



Modello di elemento 1D



Modello CBFEM – colore blu scuro

Effetti di un elemento sul nodo. Il modello CBFEM è disegnato in blu scuro

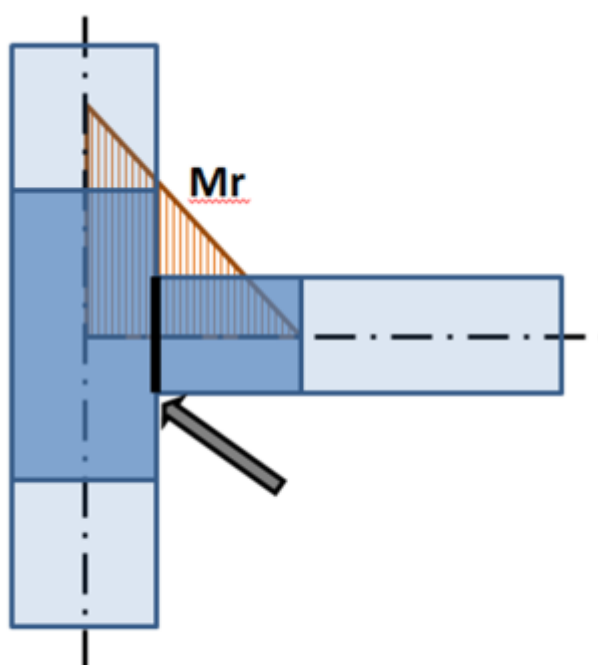
Il momento  $M$  e il taglio  $V$  agiscono nel nodo teorico. Il punto nel nodo teorico non esiste nel modello CBFEM, in tal modo il carico non può essere applicato qui. Il modello deve essere caricato da azioni  $M$  e  $V$ , che devono essere trasferiti alla fine del segmento alla distanza  $r$

$$M_c = M - V \cdot r$$

$$V_c = V$$

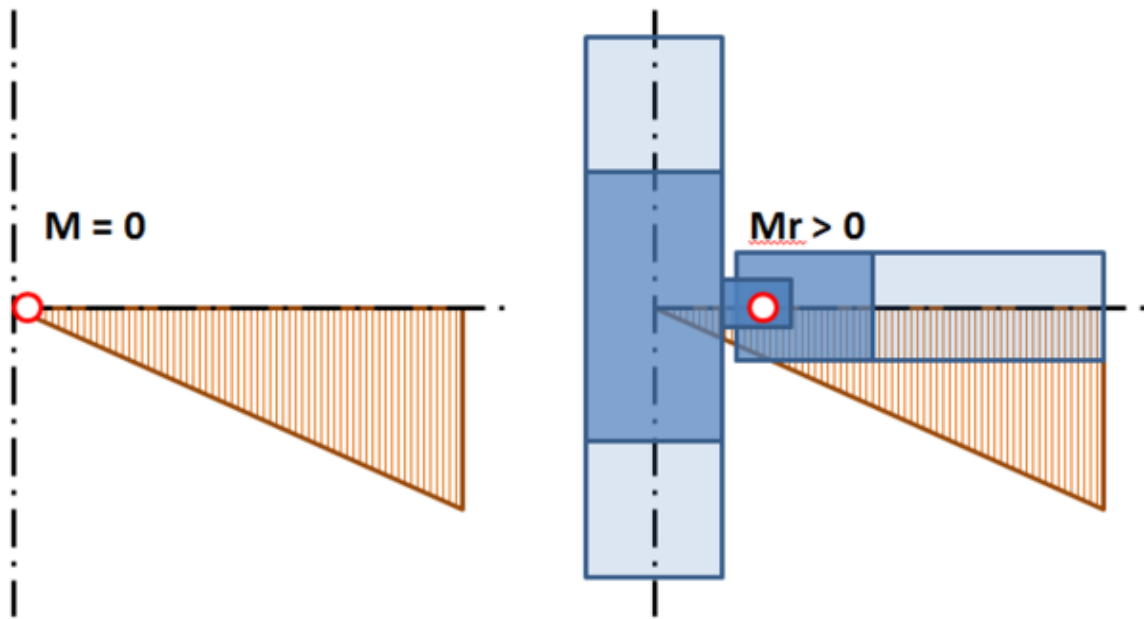
Nel modello CBFEM, l'estremità del segmento è caricata da un momento  $M_c$  e una forza  $V_c$ .

Quando si progetta il giunto, la sua posizione reale rispetto al punto teorico di giunto deve essere determinata e rispettata. Le forze interne nella posizione del giunto reale sono per lo più diverse alle forze interne del punto teorico del giunto. Grazie al preciso modello CBFEM il disegno viene eseguito su forze ridotte - vedi momento  $M_r$  nella figura seguente:



Distribuzione del momento flettente sul modello CBFEM model. La freccia indica la posizione reale del nodo

Quando si carica il giunto, la soluzione del giunto reale deve corrispondere al modello teorico utilizzato per il calcolo delle forze interne. Ciò è soddisfatto per giunti rigidi, ma la situazione può essere completamente differente per cerniere.



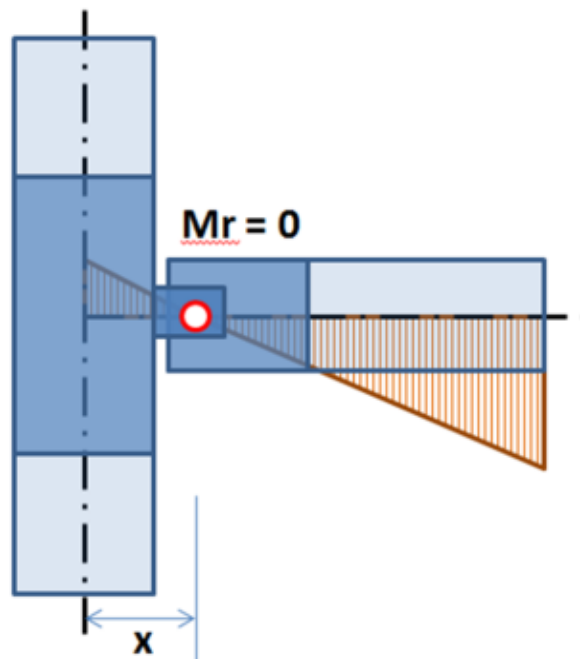
Modello elementi 1D

Modello CBFEM

#### Posizione della cerniera teorica del modello FEM 3D e la struttura reale

La figura precedente mostra che la posizione della cerniera nel modello 1D teorico differisce dalla posizione reale nella struttura. Il modello teorico non corrisponde alla realtà. Quando si applicano le forze interne calcolate, viene applicato un significativo momento flettente nel giunto spostato e il giunto progettato è sovrastimato o non può essere progettato. La soluzione è semplice - entrambi i modelli devono corrispondere. Anche la cerniera nel modello di elementi 1D deve essere definita nella posizione corretta oppure devono essere spostate le distribuzioni delle forze per ottenere il momento nullo nella posizione della cerniera.

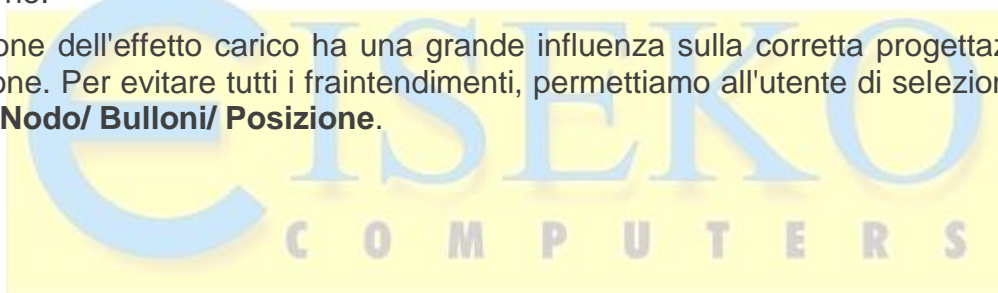


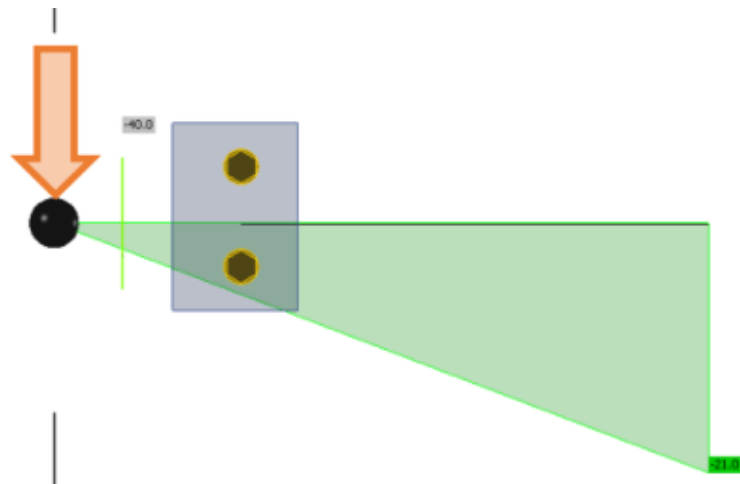


Distibuzione spostata del momento flettente sulla trave: nella posizione della cerniera il momento è nullo

Lo spostamento delle forze interne può essere definito nella tabella di definizione delle forze interne.

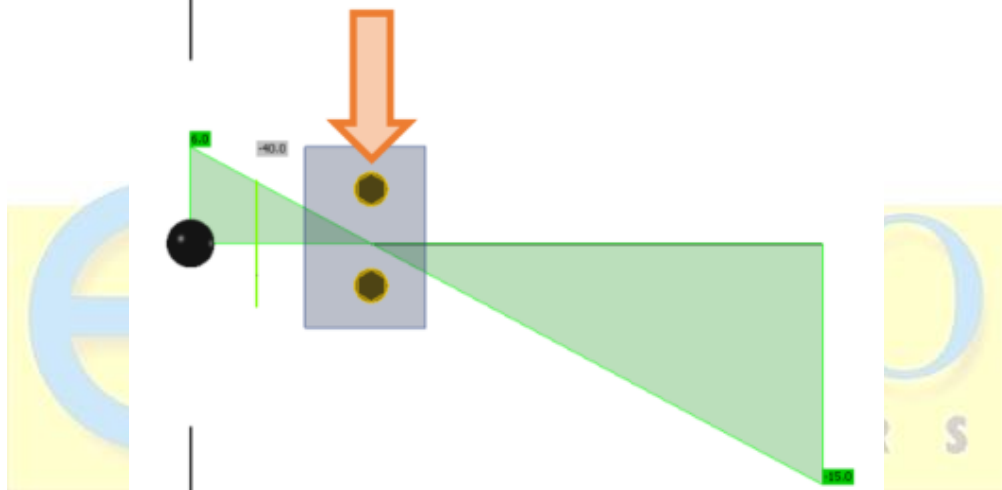
La posizione dell'effetto carico ha una grande influenza sulla corretta progettazione della connessione. Per evitare tutti i fraintendimenti, permettiamo all'utente di selezionare tra tre opzioni – **Nodo/ Bulloni/ Posizione**.





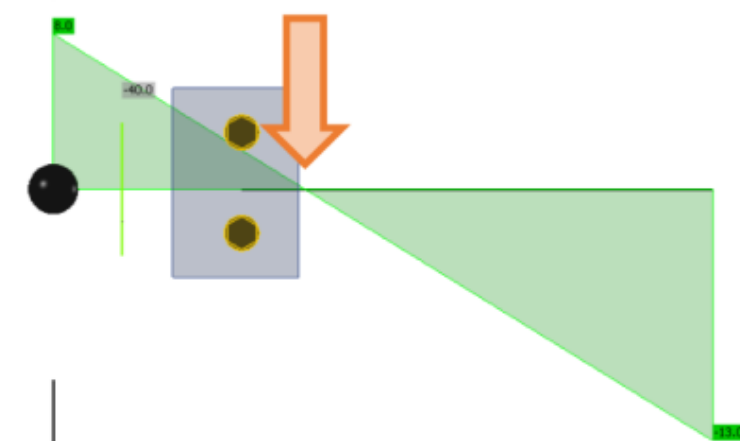
▼ Model

Model type	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz
Forces in	Node



▼ Model

Model type	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz
Forces in	Bolts



▼ Model

Model type	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz
Forces in	Position
X [mm]	200

Notare che quando si seleziona l'opzione Nodo, le forze vengono applicate alla fine di un elemento selezionato che di solito si trova sul nodo teorico a meno che l'offset del membro selezionato non sia impostato in geometria.

### 3.4.1 Importazione dei carichi da programmi FEA

IDEA StatiCa consente di importare forze interne da programmi FEA di terze parti. I programmi FEA usano gli involucri combinazioni delle forze interne. IDEA StatiCa Connection è un programma che risolve giunti in acciaio in modo non lineare (modello materiale elastico/plastico). Ciò significa che gli involucri di combinazioni non possono essere utilizzati. IDEA Statica cerca gli estremi delle forze interne ( $N$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) in tutte le combinazioni alle estremità di tutti gli elementi collegati al giunto. Per ciascuno di tali valori estremi sono determinate anche tutte le forze interne relative a tutti gli elementi rimanenti. IDEA StatiCa determina la combinazione peggiore per ogni componente (piastra, saldatura, bullone, ecc.) nella connessione.

L'utente può modificare questo elenco di casi di carico. Può lavorare con combinazioni nello wizard (o BIM) oppure può eliminare alcuni casi direttamente in IDEA Statica Connection.

#### Attenzione!

Durante l'importazione, è necessario tenere conto delle forze interne non equilibrate. Questo può accadere nei seguenti casi:

- La forza nodale è applicata nella posizione del nodo indagato. Il software non è in grado di individuare quale elemento deve trasferire questa forza nodale e, pertanto, non viene preso in considerazione nel modello di analisi. *Soluzione: Non usare le forze nodali nell'analisi globale. Se necessario, la forza deve essere aggiunta manualmente su elemento selezionato come sforzo normale o di taglio.*
- L'elemento caricato, non in acciaio (solitamente in legno o cemento) è connesso al nodo in esame. Tale elemento non è considerato nell'analisi e le sue forze interne vengono ignorate nell'analisi. *Soluzione: sostituire l'elemento in calcestruzzo con un blocco di calcestruzzo e ancoraggi.*
- Il nodo è una parte di piastra o muro (di solito in calcestruzzo). La piastra o il muro non fanno parte del modello e le sue forze interne vengono ignorate. *Soluzione: sostituire la piastra o il muro in calcestruzzo con un blocco di calcestruzzo e ancoraggi.*
- Alcuni elementi sono connessi al nodo investigato tramite collegamenti rigidi. Tali elementi non sono inclusi nel modello e le loro forze interne vengono ignorate. *Soluzione: Aggiungere manualmente questi elementi nell'elenco degli elementi connessi.*
- I casi di carico sismico sono analizzati nel software. La maggior parte del software FEA offre l'analisi modale per risolvere la sismicità. I risultati delle forze interne dei casi di carico sismico forniscono di solito solo involucri delle forze interne nelle sezioni. A causa del metodo di valutazione (radice quadrata della somma dei quadrati - SRSS), le forze interne sono tutte positive e non è possibile trovare le forze corrispondenti all'estremo selezionato. Non è possibile raggiungere un equilibrio di forze interne. *Soluzione: modificare manualmente il segno positivo di alcune forze interne.*

### 3.5 Analisi dello sforzo

L'analisi del nodo è non-lineare. Gli incrementi di carico sono applicati gradualmente e si calcola lo stato di tensione. In IDEA Connection ci sono due possibili metodi di analisi::

- **Risposta della struttura (nodo) al carico complessivo.** Con questo metodo viene applicato tutto il carico definito (100%) e conseguentemente sono calcolati lo stato di tensione e quello di deformazione.

#### Status of FE analysis

	Status	Loads	Applied [%]
>	✓	LE1	100.0

- **Termine dell'analisi al raggiungimento dello stato limite.** Gli stati di tensione e deformazione sono quelli corrispondenti all'ultimo step di carico per cui tutte le verifiche della struttura sono soddisfatte. Nel caso in cui il carico applicato sia più alto della capacità calcolata, l'analisi viene contrassegnata come non-soddisfacente e viene stampata la percentuale di carico utilizzata.

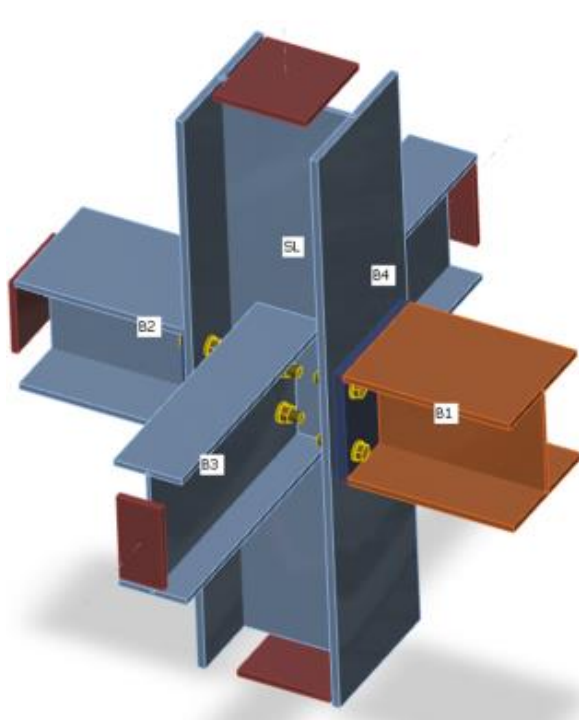
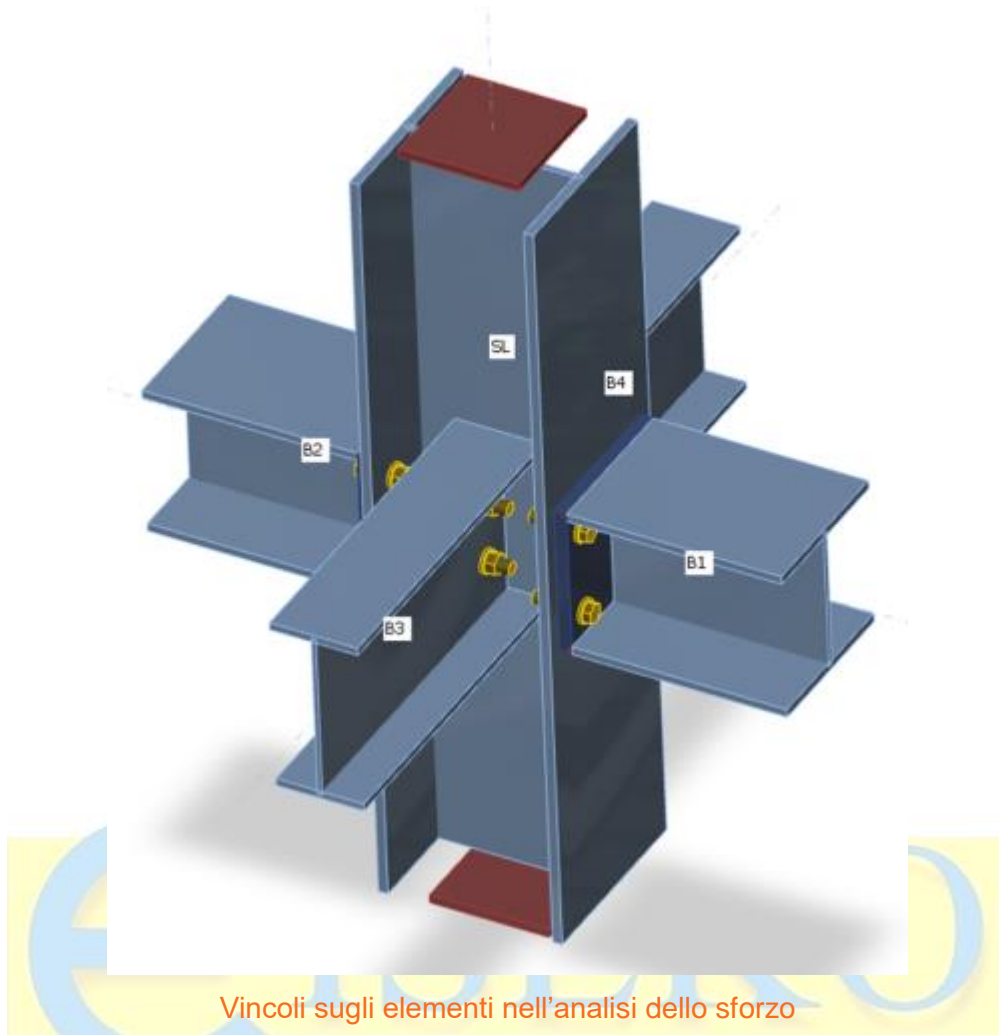
#### Status of FE analysis

	Status	Loads	Applied [%]
>	✗	LE1	67.2

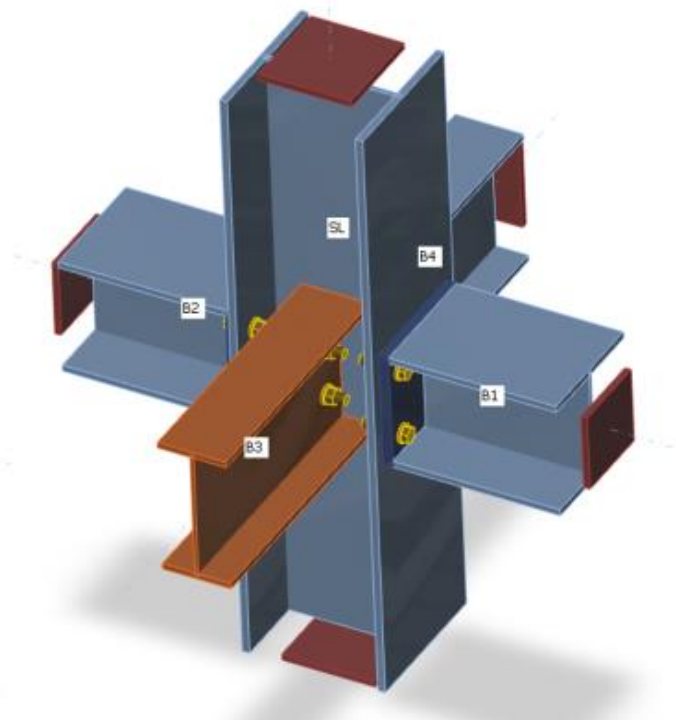
Il secondo modo è più adatto per il progetto pratico. Il primo metodo è preferibile per le analisi dettagliate di nodi complessi.

### 3.6 Analisi di rigidezza

Il metodo CBFEM permette di analizzare la rigidità della connessione dei singoli elementi del giunto. Per una corretta analisi di rigidità, deve essere creato un modello di analisi separata per ogni elemento analizzato. L'analisi di rigidità non è influenzata dalla rigidità degli altri elementi del giunto, ma solo dal nodo stesso e la costruzione della connessione dell'elemento analizzato. Considerando che l'elemento portante è vincolato per l'analisi della resistenza (SL), tutti i componenti eccetto quello analizzato sono vincolati per l'analisi di rigidità (vedi le seguenti figure per l'analisi della rigidità degli elementi B1 e B3).



Vincoli sugli elementi nell'analisi della rigidezza di B1



Vincoli sugli elementi nell'analisi della rigidezza di B3

I carichi possono essere applicati solo sull'elemento analizzato. Se è definito il momento flettente  $M_y$ , viene analizzata la rigidezza di rotazione intorno all'asse y. Se è definito il momento flettente  $M_z$ , viene analizzata la rigidezza di rotazione intorno all'asse z. Se viene definita la forza assiale, viene analizzata la rigidezza assiale del collegamento.

Il programma genera automaticamente il diagramma completo, che viene direttamente visualizzato nella GUI e può essere aggiunto nella relazione in output. La rigidezza rotazionale o assiale può essere studiata per il carico di progetto specifico. IDEA StatiCa Connection può anche considerare l'influenza di altre forze interne.

Analysis

Rotational stiffness

#### Rotational stiffness of joint component

	Item	Comp.	Loads	MEd [kNm]	Mj,Rd [kNm]	Sj,ini [MNm/rad]	Sjs [MNm/rad]	$\Phi$ [mrad]	$\Phi_c$ [mrad]	L [m]	Sj,R [MNm/rad]	Sj,P [MNm/rad]	Class
>	B	My	LE1	25,0	37,0	6,9	6,8	3,7	17,9	6,00	24,3	0,5	Semi-rigid

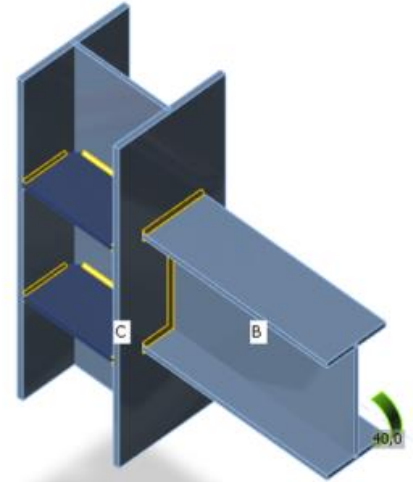
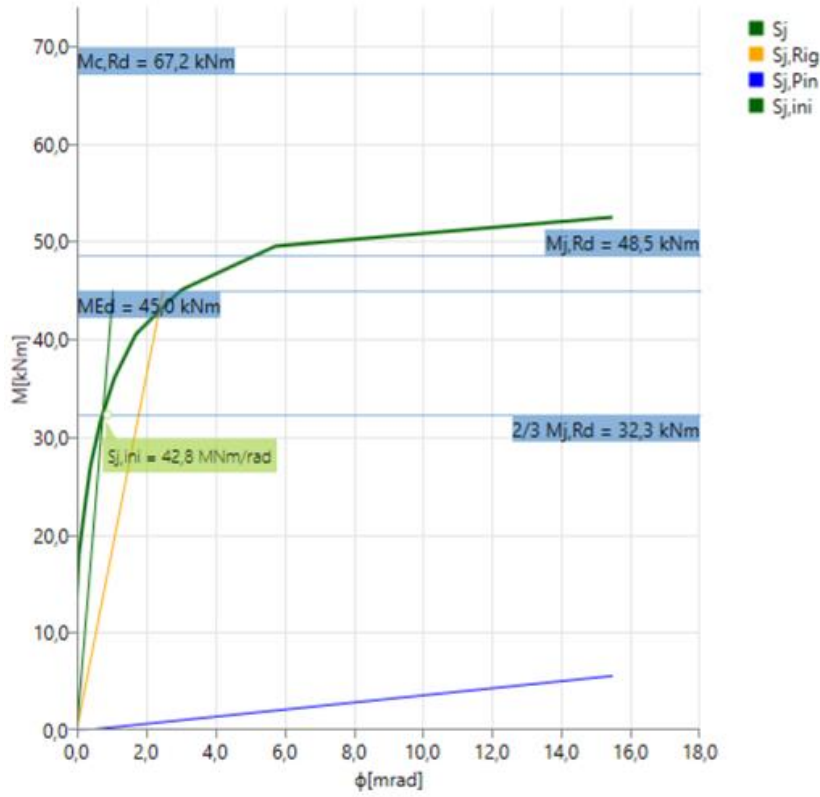
- **MEd** – momento di progetto agente
- **Mj,Rd** – momento resistente di progetto
- **Sj,ini** – rigidezza flessionale iniziale dell'elemento analizzato
- **Sjs** – rigidezza secante
- **$\Phi$**  – deformazione rotazionale
- **$\Phi_c$**  – capacità rotazionale
- **L** – lunghezza teorica definita per il calcolo della rigidezza
- **Sj,R** – rigidezza minima per la classificazione dell'elemento dell'unione come rigido
- **Sj,P** – rigidezza massima per la classificazione dell'elemento dell'unione come incernierato
- **Classe** – classificazione finale della parte dell'unione analizzata

Il diagramma mostra:

- Livello del carico di progetto
- Valore limite della capacità della connessione per una tensione equivalente del 5%
- Valore limite della capacità dell'elemento connesso (utile anche per la progettazione sismica)
- 2/3 della capacità limite per il calcolo della rigidezza iniziale
- Valore della rigidezza flessionale iniziale  $S_{j,ini}$
- Limiti per la classificazione della connessione – rigido e incernierato
- Deformazione rotazionale  $\Phi$

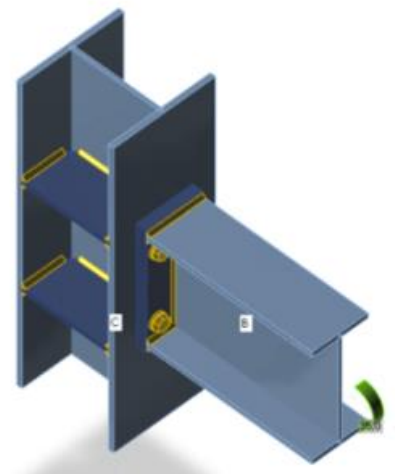
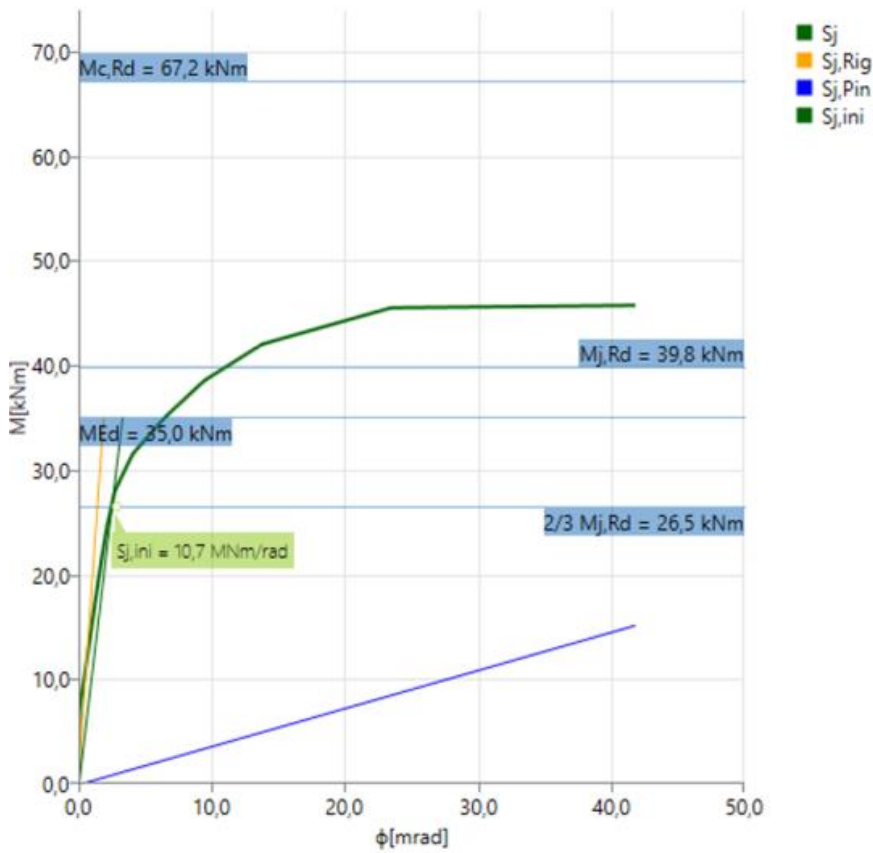


Stiffness diagram My -  $\phi_y$ , LE1



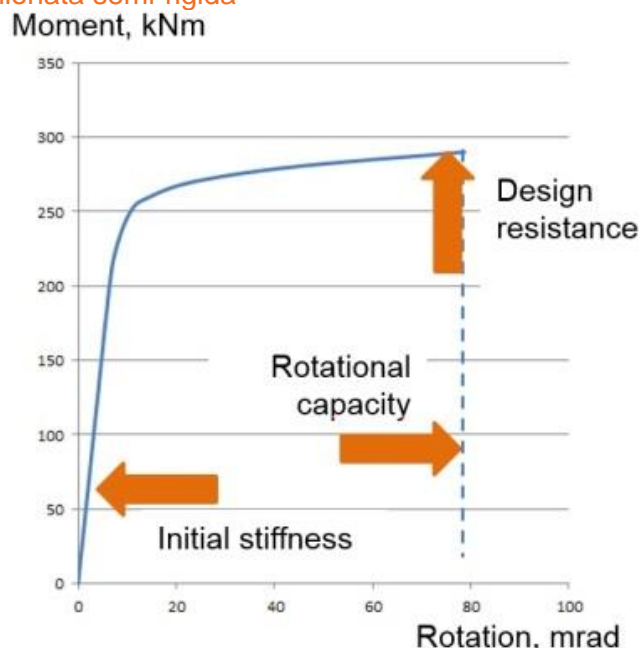
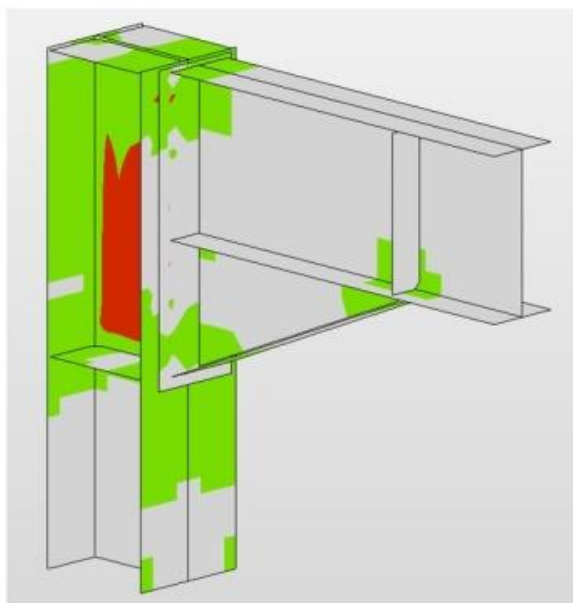
Connessione saldata rigida

Stiffness diagram My -  $\phi_y$ , LE1





Connessione imbullonata semi-rigida



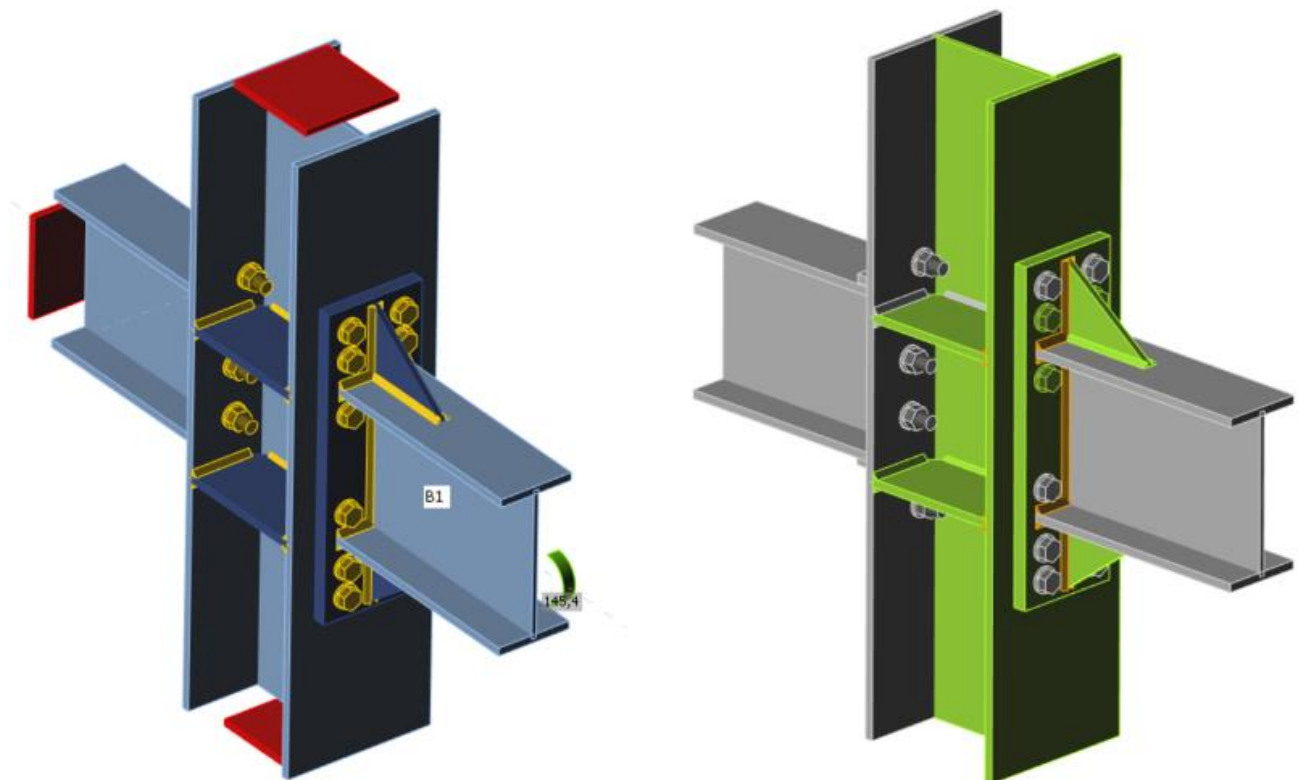
Dopo aver raggiunto la deformazione del 5% nel pannello d'anima della colonna a taglio le zone plastiche si propagano rapidamente.

### 3.7 Verifica della capacità dell'elemento

IDEA Connection verifica la connessione sotto l'effetto del carico di progetto applicato. In molte zone soggette a pericolosità sismica, è richiesto di verificare la connessione con il momento massimo che può essere sopportato dagli elementi connessi. Calcoliamo tale momento nel software e lo applichiamo sullo specifico elemento. Tutti gli altri elementi nel nodo sono portati.

LE-MCn [Load]							
	Member	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
>	B / End	0.0	0.0	0.0	0.0	-498.8	0.0

Il valore di  $M_y$  viene calcolato automaticamente utilizzando la sezione completa dell'elemento analizzato e le proprietà di resistenza in base al codice selezionato. L'utente può modificare questo numero, ad es. in caso di riduzione della sezione della trave, e può aggiungere ad esempio la forza di taglio calcolata dai carichi applicati e la distanza tra le cerniere plastiche.



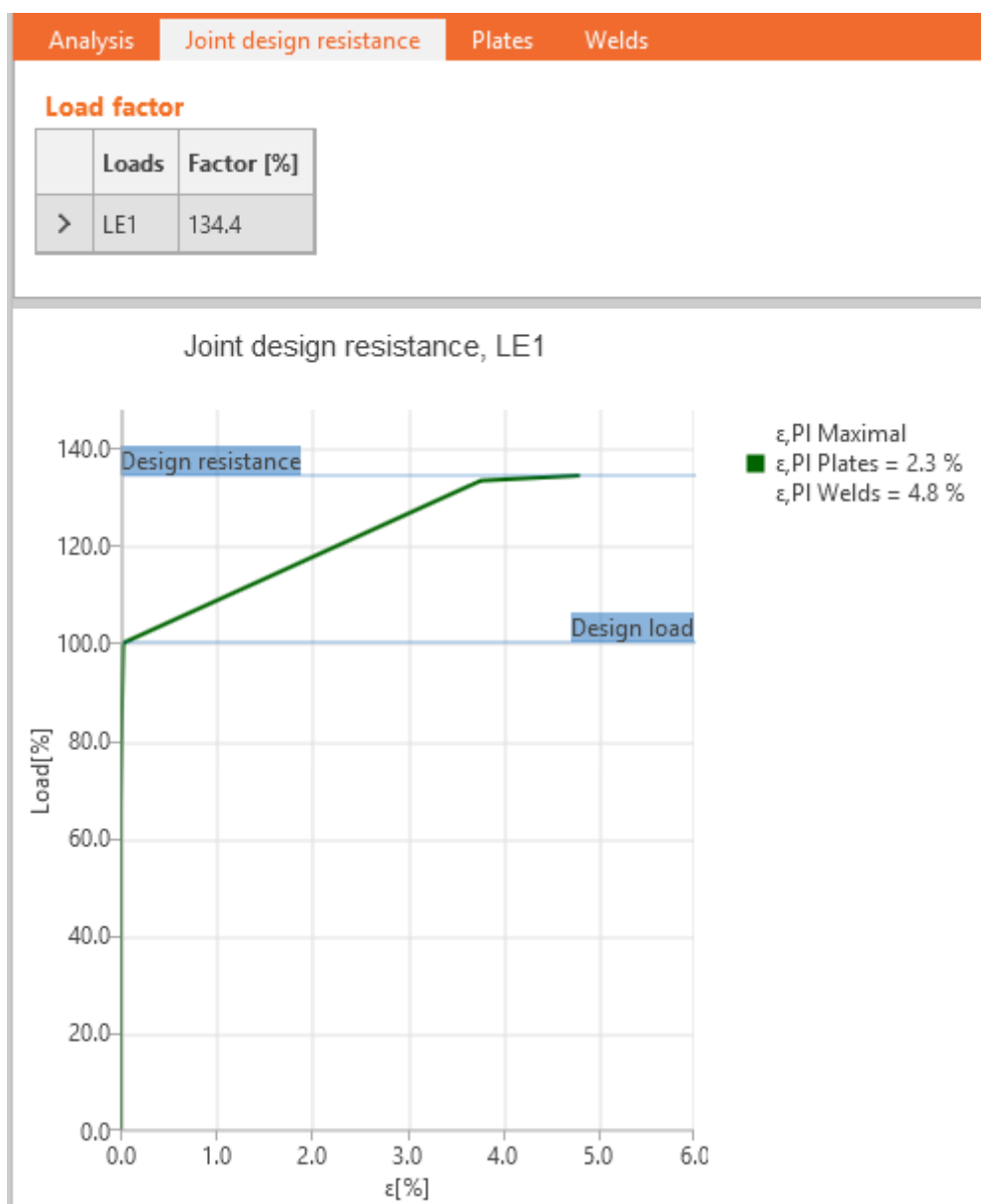
I nodi progettati per trasferire il momento uguale alla resistenza dell'elemento (giunto al massimo della resistenza), di solito devono essere molto più rigidi rispetto a giunti a parziale resistenza.

L'elemento connesso non è verificato, questo deve essere adeguatamente progettato nell'analisi globale della struttura.

### 3.8 Verifica della resistenza del nodo

Il progettista di solito progetta la connessione o il nodo per sopportare il carico di progetto noto. Ma è utile sapere anche quanto il progetto è lontano dallo stato limite, quanto è grande la riserva nel progetto e quanto questo sia sicuro. Questo può essere fatto semplicemente attraverso il nuovo tipo di analisi – Verifica della resistenza del nodo.

L'utente immette il carico di progetto come nel progetto standard. Il software automaticamente incrementa proporzionalmente tutte le componenti del carico finché una delle verifiche risulta non soddisfatta. Sono incluse le verifiche di piastre in acciaio, resistenza a taglio e tensione dei bulloni e verifiche delle saldature. L'utente ottiene il rapporto tra il carico massimo e il carico di progetto. Inoltre, viene fornito un semplice diagramma. È necessario eseguire l'analisi dello sforzo/deformazione per una valutazione accurata del giunto.



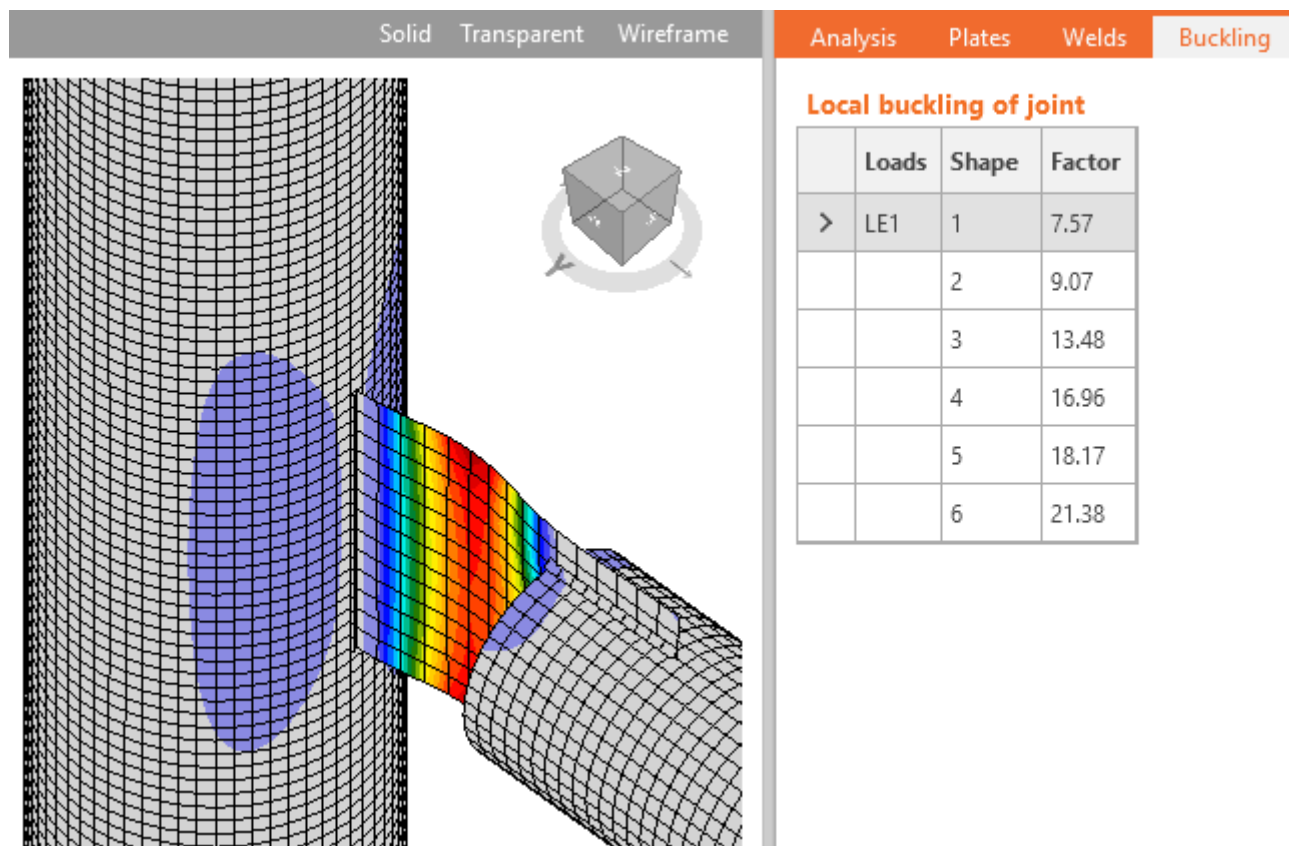
I risultati del caso di carico definito dall'utente vengono visualizzati a meno che il fattore di resistenza di progettazione giunto non sia inferiore al 100%, il che significa che il calcolo non converge e viene mostrato l'ultimo passo convergente del caso di carico

The results of user defined load case are shown unless the Joint design resistance Factor is smaller than 100 % which means that the calculation did not converge and the last converged step of the load case is shown.

### 3.9 Analisi di stabilità

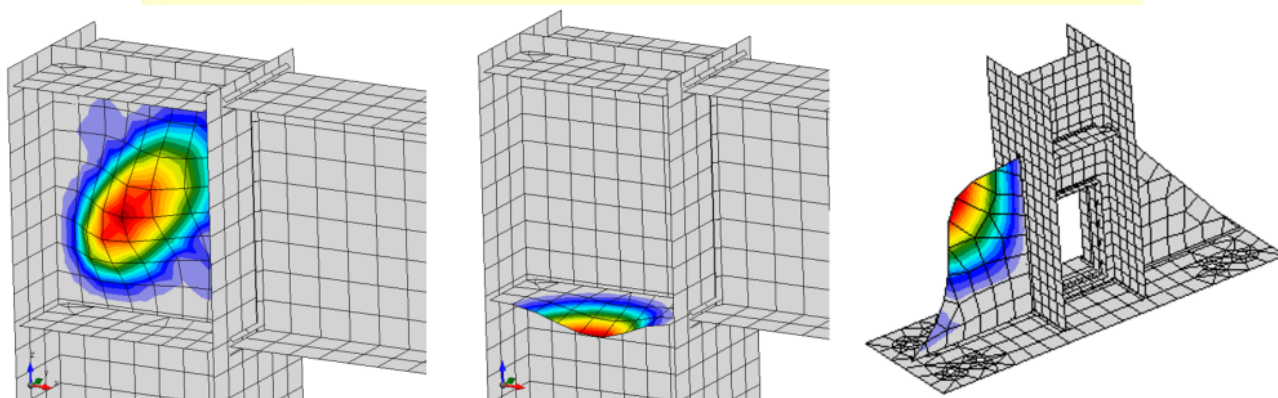
IDEA StatiCa Connection è in grado di eseguire analisi di instabilità lineare e fornire all'utente il fattore di instabilità.

È importante riconoscere l'instabilità globale (instabilità di interi elementi) e l'instabilità locale (instabilità delle singole piastre). Nel caso di instabilità globale ( la piastra è un allungamento di un elemento, vedere la figura sotto), è necessario verificare che fattore di buckling inferiore a 15. Per fattore di instabilità inferiore a 15, il buckling deve essere preso in considerazione nella progettazione dell'elemento connesso.



Fattore critico di stabilità per una piastra che serve come allungamento di una trave reticolare

Nel caso della maggior parte delle piastre nelle connessioni, è possibile che si verifichi l'instabilità locale e il valore massimo del fattore critico di instabilità che richiede un'analisi approfondita è solitamente inferiore; è stato verificato che per gli irrigidimenti e le piastre della colonna a taglio, non è necessario prendere in considerazione l'instabilità se il fattore critico di instabilità è superiore a 3.



Esempi di forme di stabilità dove l'instabilità può essere trascurata se il fattore critico di stabilità è superiore a 3

È possibile seguire i risultati di IDEA StatiCa Connection con calcoli o con analisi geometricamente non lineari con imperfezioni iniziali nel software FEM avanzato, se il fattore di instabilità è inferiore al valore critico. Tuttavia, spesso è più economico utilizzare nel progetto irrigidimenti o piastre più spesse.

### 3.10 Capacità di deformazione

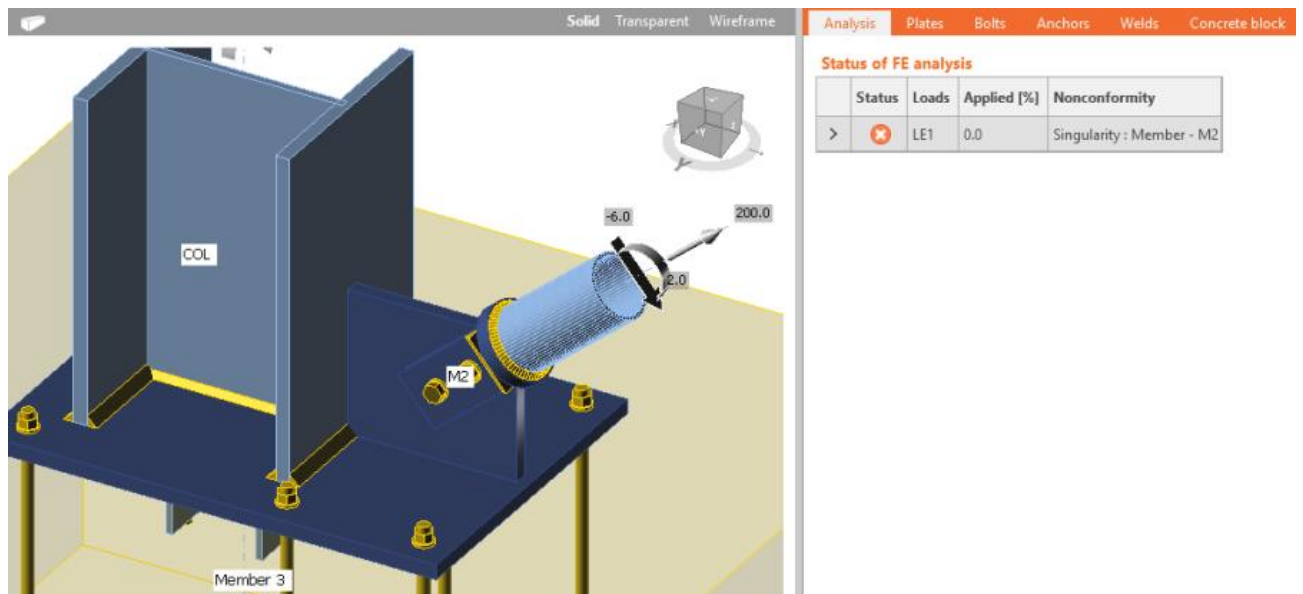
La capacità di deformazione/ duttilità  $\delta_{cd}$  appartiene insieme alla resistenza e alla rigidità ai tre parametri di base che descrivono il comportamento delle connessioni. Nelle connessioni a momento-resistente, la duttilità è ottenuta mediante una sufficiente capacità di rotazione  $\varphi_{cd}$ . La deformazione/capacità di rotazione viene calcolato per ciascuna connessione nell'unione separatamente.

La stima della capacità di rotazione è importante nei collegamenti esposti a sismi, si veda Gioncu e Mazzolani (2002) e Grecea (2004) e il carico estremo, vedere Sherbourne e Bahaari (1994 e 1996). La capacità di deformazione delle componenti è stato studiato a partire dalla fine del secolo scorso (Foley and Vinnakota, 1995). Faella e al. (2000) effettuate prove su T-stubs e derivate le espressioni analitiche per la capacità di deformazione. Kuhlmann e Kuhnemund (2000) hanno eseguito test sull'anima della colonna sottoposta a compressione trasversale a diversi livelli di forza di compressione assiale. Da Silva e al. (2002) è stata prevista la capacità di deformazione a diversi livelli di forze assiali nella trave collegata. In base ai risultati dei test combinati con analisi agli elementi finiti, la capacità di deformazione è stabilita per le componenti base da modelli analitici di Beg e al. (2004). Nel lavoro, le componenti sono rappresentate da molle non-lineari e opportunamente combinati al fine di determinare la capacità di rotazione del giunto per le connessioni flangiate, con piastra a filo o estesa e connessioni saldate. Per queste connessioni, le componenti più importanti che possono contribuire in modo significativo alla capacità di rotazione sono state riconosciute nell'anima della colonna in compressione, l'anima della colonna in trazione, l'anima della colonna a taglio, l'ala della colonna a momento e la fangia a momento. Le componenti collegate all'anima della colonna Sono rilevanti solo quando non ci sono dei rinforzi nella colonna che resistono alla compressione, alla tensione o alle forze di taglio. La presenza di un elemento di rinforzo elimina la corrispondente componente, e il suo contributo alla capacità di rotazione del giunto può quindi essere trascurato. Le fangie e le anime delle colonne sono importanti solo per connessioni flangiate in cui le componenti agiscono come un T-stub, dove anche la capacità di deformazione dei bulloni in tensione è incluso. Le domande e i limiti della capacità di deformazione delle connessioni in acciaio ad alta resistenza meccanica sono stati studiati da Girao e al. (2004).

### 3.11 La convergenza di analisi

L'analisi agli elementi finiti richiede un diagramma sforzo-deformazione leggermente più elevato dei modelli dei materiali. In alcuni casi di modelli complicati, ad es. con più contatti, l'aumento delle iterazioni divergenti potrebbe aiutare con la convergenza. Questo valore può essere impostato in Impostazione codice. La causa più comune di errore di analisi sono le singolarità quando le parti di un modello non sono collegate correttamente e sono libere di muoversi o ruotare. L'utente viene avvisato e dovrebbe controllare la mancanza di saldature o bulloni nel modello. La forma deformata viene mostrata con gli elementi che hanno causato la prima singolarità spostata di 1 m in modo che la singolarità possa essere facilmente rilevata.





Saldature mancanti nelle piastre del fazzoletto di rinforzo che producono la singolarità





## 4 Verifica delle componenti secondo Eurocodice

Piastre

Saldature

Bulloni

Bulloni precaricati

Ancoraggi

Blocco di calcestruzzo

Taglio nel blocco di calcestruzzo

Verifica della capacità dell'elemento

Analisi della stabilità

Capacità di deformazione

Dettagli costruttivi

Il metodo CBFEM combina i vantaggi del metodo generale agli elementi finiti (FEM) e il metodo standard delle componenti (CM). Le tensioni e le forze interne calcolate col modello CBFEM vengono quindi usate nelle verifiche di tutte le componenti.

Le singole componenti vengono verificate in accordo con l'Eurocodice EN 1993-1-8.

### 4.1 Piastre

La tensione equivalente (Huber-Mises-Hencky – HMH, von Mises) e la deformazione plastica vengono calcolate sulle piastre. Il modello elasto-plastico del materiale viene utilizzato per le piastre in acciaio. Viene eseguita la verifica della deformazione plastica equivalente. Il valore limite del 5% è suggerito dall'Eurocodice (EN 1993-1-5, app. C, par. C8, note 1), questo valore può però essere modificato dall'utente nella finestra Impostazione codice.

L'elemento piastra è diviso in 5 layers e il comportamento elastico/plastico viene indagato in ciascuno di essi. Il riepilogo dell'output elenca la verifica più critica tra tutti e 5 i layers.

#### Check of members and steel plates for extreme load effect

	Status	Item	Th [mm]	Loads	$\sigma_{Ed}$ [MPa]	$\epsilon_{Pl}$ [%]
>	✓	COL-bf1 1	19,0	LE1	164,2	0,0
	✓	COL-tf1 1	19,0	LE1	159,8	0,0
	✓	COL-w 1	11,0	LE1	55,8	0,0
	✓	BP1	20,0	LE1	189,9	0,0

#### Design data

	Material	Fy [MPa]	$\epsilon_{lim}$ [%]
>	S 355	355,0	5,0

Il metodo CBFEM può fornire tensioni abbastanza superiori rispetto al valore di snervamento. La ragione di ciò è la leggera inclinazione del ramo plastico del diagramma sforzo-deformazione che è utilizzato nell'analisi per migliorare la stabilità nel calcolo delle interazioni. Questo non è un problema per il progetto pratico del nodo

A carichi elevati, la deformazione plastica equivalente aumenta ed il giunto cede mentre oltrepassa il limite di deformazione plastica.

## 4.2 Saldature

### 4.2.1 Saldature a cordone d'angolo

#### Resistenza di progetto

La deformazione plastica nella saldatura è limitata al 5 % come nelle piastre (EN1993-1-5 App. C, Par. C.8, Nota 1). Le tensioni nella sezione di gola di una saldatura riempita è determinato secondo EN 1993-1-8 Cl. 4.5.3. Le tensioni vengono calcolate dalle forze di tensione nelle saldature. Il momento flettente attorno all'asse longitudinale della saldatura non viene preso in considerazione.

$$\sigma_{w,Ed} = [\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0.5}$$

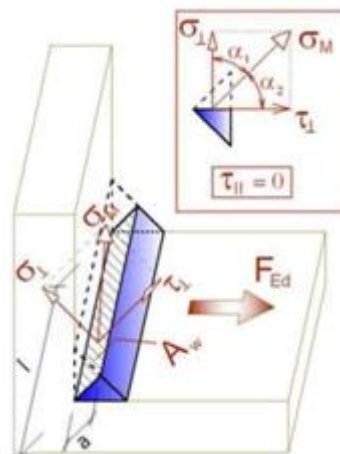
$$\sigma_{w,Rd} = f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

#### Utilizzazione delle saldature

$$U_t = \min \left\{ \frac{\sigma_{w,Ed}}{\sigma_{w,Rd}}, \frac{\sigma_{\perp}}{0.9 f_u / \gamma_{M2}} \right\}$$

dove:

- $\beta_w$  – fattore di correlazione (EN 1993-1-8 – Tabella 4.1)
- $f_u$  – tensione ultima a rottura, scelto come il valore più basso tra i due materiali collegati
- $\gamma_{M2}$  – coefficiente di sicurezza (EN 1993-1-8 – Tabella 2.1; modificabile in Impostazione codice).



Tensioni nella saldatura

Tutti i valori richiesti per la verifica sono riportati nelle tabelle.  $U_t$  è l'utilizzazione dell'elemento più sollecitato. Poiché viene utilizzata la redistribuzione plastica della tensione nella saldatura è il decisivo l'utilizzo.  $U_{tc}$  fornisce informazioni sulla sua utilizzazione lungo la lunghezza di saldatura. È il rapporto tra la sollecitazione effettiva di tutti gli elementi della saldatura e la resistenza di progetto della sollecitazione dell'intera lunghezza della saldatura.

#### 4.2.2 Saldature di testa

Le saldature possono essere specificate come saldature di testa. Per tali saldature viene considerata la completa penetrazione, per tale motivo non sono verificate.

### 4.3 Bulloni

La rigidità iniziale e la resistenza di progetto a taglio dei bulloni, sono modellati nel CBFEM secondo Cl. 3.6 e 6.3.2 in EN 1993-1-8. Viene considerato il comportamento lineare fino a rottura. La molla che rappresenta il bullone ha un comportamento sforzo-deformazione bilineare secondo la Cl. 3.6 and 6.3.2 in EN 1993-1-8.

Resistenza a trazione di progetto del bullone (EN 1993-1-8 – Tab. 3.4):

$$F_{t,Rd} = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

Resistenza di progetto a punzonamento della testa del bullone e del dado (EN 1993-1-8 – Tabella 3.4):

$$B_{p,Rd} = 0.6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$

Design shear resistance per one shear plane (EN 1993-1-8 – Tab. 3.4):

$$F_{V,Rd} = \alpha_V f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

La resistenza di progetto a taglio può essere moltiplicata per il fattore di riduzione  $\beta_p$  se è presente (EN 1993-1-8 – Cl. 3.6.1. (12)) e questa opzione è selezionata in Impostazione codice.

Resistenza a rifollamento della piastra (EN 1993-1-8 – Tab. 3.4):

$$F_{b,Rd} = k_1 a_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad \text{per fori standard}$$

$$F_{b,Rd} = 0.6 k_1 a_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad \text{per fori asolati}$$

Utilizzazione in trazione [%]:

$$U_{t_t} = F_{t,Ed} / \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})$$

Utilizzazione a taglio [%]:

$$U_{t_t} = V / \min(F_{V,Rd}, B_{b,Rd})$$

Interazione taglio-trazione [%]:

$$U_{t_{ts}} = V / F_{V,Rd} + F_{t,Ed} / 1.4 F_{t,Rd}$$

dove:

- $A_s$  – area resistente del bullone
- $f_{ub}$  – resistenza ultima di trazione del bullone
- $d_m$  – La media delle dimensioni dei punti sopra e la parte piatta della testa del bullone o del dado, il minore dei due

- $d$  – diametro del bullone
- $t_p$  – spessore della piastra sotto alla testa/dado del bullone
- $f_u$  – resistenza ultima dell'acciaio
- $\alpha_v = 0.6$  per classi (4.6, 5.6, 8.8) o 0.5 per classi (4.8, 5.8, 6.8, 10.9)
- $k_1 = \min(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5)$  – coefficiente dalla Tabella 3.4
- $\alpha_b = 1.0$  se la verifica con  $\alpha_b$  is è disattivata nella finestra Impostazione codice; se la verifica è attivata, il valore di  $\alpha_b$  è determinato secondo EN 1993-1-8 – Tab. 3.4:  

$$a_d = \min(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4})$$
- $e_1, e_2$  – distanze dal bordo nella direzione del carico e perpendicolare al carico
- $p_1, p_2$  – passo del bullone nella direzione del carico e perpendicolare al carico
- $F_{t,Ed}$  – forza di trazione di progetto agente sul bullone
- $V$  – risultante delle forze di taglio nel bullone
- $\gamma_{M2}$  – coefficiente di sicurezza (EN 1993-1-8 – Tabella 2.1; modificabile in Impostazione codice)

#### Check of bolts for extreme load effect

		Status	Item	Loads	Ft [kN]	V [kN]	Fb,Rd [kN]	Utt [%]	Uts [%]	Utts [%]
>	+	✓	B1	LE1	5,9	19,9	92,5	6,5	33,1	37,8
	+	✓	B2	LE1	2,6	20,1	92,5	2,9	33,3	35,3

#### Design data

	Item	Ft,Rd [kN]	Bp,Rd [kN]	Fv,Rd [kN]
>	M16 8.8 - 1	90,4	109,0	60,3

## 4.4 Bulloni precaricati

Resistenza allo scorrimento di progetto per bullone per bulloni di classe 8.8 o 10.9 (EN 1993-1-8, Cl. 3.9 – Equazione 3.8):

$$F_{s,Rd} = k_s n \mu (F_{p,C} - 0.8 F_{t,Ed}) / \gamma_{M3}$$

Il precarico (EN 1993-1-8 – Equazione 3.7)

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} A_s$$

Il coefficiente della forza di precarico 0.7 può essere modificato nell'Impostazione codice.

Utilizzazione [%]:

$$U_{ts} = V / F_{s,Rd}$$

dove:

- $A_s$  – area di trazione del bullone
- $f_{ub}$  – resistenza ultima di trazione del bullone

- $k_s$  – coefficiente (EN 1993-1-8 – Tab.3.6;  $k_s = 1$  per fori normali,  $k_s = 0.63$  per fori asolati)
- $\mu$  – fattore di scorrimento modificabile nella finestra Impostazione codice (EN 1993-1-8 – Tab. 3.7)
- $n$  – numero delle superfici di attrito. La verifica è calcolato per ogni superficie di attrito separatamente
- $\gamma_{M3}$  – coefficiente di sicurezza (EN 1993-1-8 – Tab. 2.1; editabile in Impostazione codice – i valori raccomandati sono 1.25 per lo stato limite ultimo e 1.1 per lo stato limite di esercizio)
- $V$  – forza di taglio di progetto nel bullone
- $F_{t,Ed}$  – forza di trazione di progetto nel bullone.

## 4.5 Ancoraggi

La resistenza del bullone di ancoraggio causata dalla rottura del calcestruzzo è valutata secondo l'ETAG 001 Annesso C e Cl. 6.2.6.12 in EN 1993-1-8. La modalità di rottura dell'acciaio per trazione è determinato secondo la EN 1993-1-8 – Cl. 3.6.1.

Resistenza a trazione (EN 1993-1-8 – Cl. 3.6.1):

$$F_{t,Rd} = \frac{ck_2f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} \geq F_t$$

dove:

- $c$  – diminuzione della resistenza a trazione dei bulloni con taglio filettato secondo la EN 1993-1-8 – Cl. 3.6.1. (3) editabile in Impostazione codice
- $k_2 = 0.9$  – coefficiente dalla Tab. 3.4, EN 1993-1-8
- $f_{ub}$  – resistenza ultima di trazione dell'ancoraggio
- $A_s$  – area di trazione dell'ancoraggio
- $\gamma_{M2}$  – coefficiente di sicurezza (EN 1993-1-8 – Tab. 2.1; editabile in Impostazione codice)

### Rottura del cono di calcestruzzo

Resistenza a rottura del cono di calcestruzzo di un ancoraggio o di un gruppo di ancoraggi (ETAG-001 – 5.2.2.4):

$$N_{Rd,c} = \frac{N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N}}{\gamma_{Mc}} \geq F_t$$

Valore iniziale di resistenza caratteristica di un ancoraggio (si assume il calcestruzzo fessurato):

$$N_{Rk,c}^0 = 7.2 \sqrt{f_{ck,cube}} h_{ef}^{1.5}$$

dove:

- $A_{c,N}^0$  – area di calcestruzzo di un ancoraggio senza effetti di interassi e distanza dal bordo sulla superficie del calcestruzzo gio singolo con ampia spaziatura e distanza dal bordo sulla superficie del calcestruzzo, schematizzando il cono di calcestruzzo come un apiramide con un'altezza uguale a  $h_{ef}$  e una base uguale a  $s_{cr,N}$

- $h_{ef}$  – lunghezza dell'ancoraggio nel calcestruzzo (per tre o più bordi vicini, si applica la ETAG 001 – Annesso C – Cap. 5.2.2.4 f))
- $f_{ck,cube}$  – resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo
- $A_{c,N}$  – area effettiva del cono di calcestruzzo dell'ancoraggio sulla superficie del calcestruzzo. È definito dalla sovrapposizioni dei coni di calcestruzzo di gruppi adiacenti, così come dall'effetto di bordo dell'elemento di calcestruzzo.
- $\psi_{s,N} = 1.0$
- $\psi_{re,N} = 1.0$
- $\gamma_{Mc} = \gamma_c \cdot \gamma_{inst}$  – coefficiente di sicurezza (ETAG 001 – Annesso C – Cap. 3.2.2.1)
- $\gamma_c$  – coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo (editabile in Impostazione codice)
- $\gamma_{inst}$  – fattore di sicurezza parziale che tiene conto della sicurezza dell'installazione di un sistema di ancoraggio (editabile in Impostazione codice)

Resistenza a taglio dell'ancoraggio nel caso di trasferimento del taglio con contatto diretto. L'attrito non è preso in considerazione. Valido nel caso in cui la rottura dell'ancoraggio preceda quella del calcestruzzo (ETAG-001 – 5.2.3.2 a):

$$V_{Rd,s} = \frac{\alpha_M M_{Rk,s}/l}{\gamma_{Ms}} \geq V$$

dove:

- $\alpha_M = 2$  – è assunto il vincolo incastro, il fissaggio non può ruotare (ETAG 001 – Annesso C – Cap. 4.2.2.4)
- $M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 \left(1 - \frac{F_t}{F_{t,Rd}}\right)$  – resistenza caratteristica a flessione è ridotta dalla trazione nell'ancoraggio
- $M_{Rk,s}^0 = 1.2 W_{el} f_{ub}$  – resistenza caratteristica a flessione dell'ancoraggio
- $W_{el} = \frac{\pi d_{nom}^3}{32}$  – modulo di resistenza della sezione dell'ancoraggio
- $d_{nom}$  – diametro nominale del bullone di ancoraggio
- $f_{ub}$  – resistenza ultima dell'ancoraggio
- $F_t$  – forza di trazione dell'ancoraggio
- $F_{t,Rd}$  – resistenza a trazione dell'ancoraggio
- $l = 0.5 d_{nom} + t_{mortar} + 0.5 t_{bp}$  – braccio di leva
- $t_{mortar}$  – spessore del giunto di malta (grout)
- $t_{bp}$  – spessore della piastra di base
- $\gamma_{Ms}$  – coefficiente di sicurezza parziale per la rottura dell'acciaio (ETAG 001 – Annesso C – Cap. 3.2.2.2)

**Rottura per pryout / scalzamento del calcestruzzo (ETAG-001 – 5.2.3.3):**

$$V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp}/\gamma_{Mc} \geq V$$

$$V_{Rk,cp} = k N_{Rk,c}$$

dove:



- $V$  – taglio di progetto nell'ancoraggio
- $N_{Rk,c}$  – in accordo alla 5.2.2.4 determinato per gli ancoraggi caricati a taglio
- $k = 1$  per  $h_{ef} < 60$  mm;  $k = 2$  per  $h_{ef} \geq 60$  mm
- $\gamma_{Mc} = \gamma_c$  – coefficiente di sicurezza (ETAG 001 – Annesso C – Cap. 3.2.2.1,  $\gamma_{inst} = 1.0$  for shear loading)
- $\gamma_c$  – coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo (editabile in Impostazione codice)

#### Rottura del bordo di calcestruzzo (ETAG-001 – 5.2.3.4):

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc} \geq V$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 A_{c,v} / A_{c,v}^0 \psi_{s,v} \psi_{h,v} \psi_{\alpha,v} \psi_{ec,v} \psi_{re,v}$$

$$V_{Rk,c}^0 = 1.7 d_{nom}^\alpha h_{ef}^\beta f_{ck,cube}^{0.5} c_1^{1.5}$$

$$\alpha = 0.1 (h_{ef} / c_1)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1 (d_{nom} / c_1)^{0.2}$$

dove:

- $h_{ef}$  – lunghezza dell'ancoraggio nel calcestruzzo
- $l_f = \min(h_{ef}, 8 d_{nom})$  – lunghezza effettiva dell'ancoraggio a taglio
- $c_1$  – distanza dal bordo
- $d_{nom}$  – diametro nominale dell'ancoraggio
- $\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1.0$  – fattore che tiene conto del disturbo della distribuzione delle tensioni nel calcestruzzo sulla resistenza al taglio a causa di ulteriori spigoli dell'elemento in calcestruzzo
- $\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h}\right)^{0.5} \leq 1.0$  – fattore che tiene conto del fatto che la resistenza al taglio non diminuisce proporzionalmente allo spessore dell'elemento come ipotizzato dal rapporto  $A_{c,v} / A_{c,v}^0$ .
- $\psi_{\alpha,v} = 1.0$  – tiene conto dell'angolo  $\alpha_v$  tra il carico applicato,  $V$ , e la direzione perpendicolare al bordo libero dell'elemento in calcestruzzo; conservativamente è assunto pari a 1.0
- $\psi_{ec,v} = 1.0$  – fattore che tiene conto di un effetto di gruppo quando diversi carichi di taglio agiscono sui singoli ancoraggi del gruppo; ogni ancoraggio viene controllato separatamente in IDEA StatiCa
- $\psi_{re,v} = 1.0$  – fattore che tiene conto dell'effetto del tipo di rinforzo utilizzato nel calcestruzzo fessurato
- $c_2$  – distanza minore dal bordo del calcestruzzo perpendicolare alla distanza  $c_1$
- $h$  – altezza del blocco di calcestruzzo
- $A_{c,v}^0$  – area del cono di calcestruzzo di un singolo ancoraggio alla superficie laterale del calcestruzzo non influenzata dagli spigoli ( $4.5 c_1^2$ )
- $A_{c,v}$  – area effettiva del cono di calcestruzzo dell'ancoraggio alla superficie laterale del calcestruzzo

- $\gamma_{Mc} = \gamma_c$  – fattura di sicurezza (ETAG 001 – Annesso C – Cap. 3.2.2.1,  $\gamma_{inst} = 1.0$  per il carico di taglio)
- $\gamma_c$  – coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo (editabile in Impostazione codice)

#### Check of anchors for extreme load effect

		Status	Item	Grade	Loads	Ft [kN]	V [kN]	Nrdc [kN]	Vrds [kN]	Utt [%]	Uts [%]	Utts [%]	Vrd,cp [kN]	Vrd,c [kN]	Vrd,cp,s	Vrd,c,s
>	+	✓	A1	M16 8.8 - 1	LE1	35,5	8,9	58,3	50,2	60,9	17,7	57,0	109,0	42,8	✓	✓
	+	✓	A2	M16 8.8 - 1	LE1	46,2	9,7	58,3	50,2	79,2	19,2	81,2	109,0	42,8	✓	✓
	+	✓	A3	M16 8.8 - 1	LE1	0,0	7,2	-	50,2	0,0	14,4	6,9	109,0	42,8	✓	✓
	+	✓	A4	M16 8.8 - 1	LE1	0,0	6,8	-	50,2	0,0	13,6	6,4	109,0	42,8	✓	✓

#### Design data

	Item	Ft,Rd [kN]	Bp,Rd [kN]
>	M16 8.8 - 1	76,9	369,5

### 4.5.1 Ancoraggi con gioco (stand-off)

L'ancoraggio con gioco (stand-off) è progettato come una barra caricata da forza di taglio, momento flettente e forza di compressione o trazione. Queste forze interne sono determinate dal modello ad elementi finiti. L'ancoraggio è fissato su entrambi i lati, un lato è  $0.5 \times d$  sotto il livello calcestruzzo, l'altro lato è nella metà dello spessore della piastra. La lunghezza libera di inflessione è conservativamente assunta come il doppio della lunghezza della barra. Viene utilizzato il modulo di resistenza plastico della sezione. La barra è progettata in accordo alla EN 1993-1-1. La forza di taglio può diminuire la resistenza allo snervamento dell'acciaio secondo Cl. 6.2.8, ma la lunghezza minima dell'ancoraggio per adattarsi al dado sotto la piastra di base assicura che l'ancoraggio non arrivi a rottura per flessione prima che la forza di taglio raggiunga la metà della resistenza a taglio. La riduzione non è pertanto necessaria. L'interazione del momento e della tensione di compressione o trazione è valutata secondo Cl. 6.2.1.

Resistenza a trazione (EN 1993-1-1 Cl. 6.2.6):

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

- $A_v = 0,844 A_s$  – area di taglio
- $A_s$  – area di bullone ridotto dalla filettatura
- $f_y$  – carico di snervamento del bullone
- $\gamma_{M0}$  – coefficiente di sicurezza parziale

Resistenza a trazione (EN 1993-1-1 Cl. 6.2.3):

$$F_{t,Rd} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{M0}}$$

Resistenza a compressione (EN 1993-1-1 Cl. 6.3):

$$F_{c,Rd} = \frac{\chi A_s f_y}{\gamma_{M1}}$$

- $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$  – coefficiente di riduzione per la modalità di instabilità
- $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$  – valore per determinare il fattore di riduzione  $\chi$ ,
- $\alpha = 0.49$  – il fattore di imperfezione corrispondente alla curva di instabilità c (EN 1993-1-1 Table 6.2),
- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_s \cdot f_y}{N_{cr}}}$  – snellezza relativa,
- $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2}$  – carico critico di Eulero,
- $I = \frac{\pi d_s^4}{64}$  – momento di inerzia del bullone,
- $L_{cr} = 2l$  – lunghezza libera di inflessione,
- $l$  – la lunghezza dell'elemento del bullone uguale a metà dello spessore della piastra di base + gap + metà del diametro del bullone.

Resistenza alla flessione (EN 1993-1-1 Cl. 6.2.5):

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M2}}$$

- $W_{pl} = \frac{d_s^3}{6}$  modulo di resistenza della sezione del bullone.

Interazione (EN 1993-1-1 Cl. 6.2.1):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

- $N_{Ed}$  – sforzo di progetto di trazione (positiva) o di compressione (segno negativo),
- $N_{Rd}$  – resistenza di progetto (positiva,  $F_{t,Rd}$ ) o di compressione (segno negativo,  $F_{c,Rd}$ ),
- $M_{Ed}$  – momento flettente di progetto,
- $M_{Rd} = M_{pl,Rd}$  – resistenza a flessione di progetto.

#### 4.6 Blocco di calcestruzzo

La resistenza del calcestruzzo in compressione 3D è determinata sulla base dell'EN 1993-1-8: 2006 calcolando la capacità portante di progetto del calcestruzzo nel giunto  $f_{jd}$  sotto l'area effettiva  $A_{eff}$  della piastra di base. La capacità portante di progetto del calcestruzzo del nodo  $f_{jd}$  è valutata in base alla Cl. 6.2.5 in EN 1993-1-8: 2006 e Cl. 6,7 in EN 1992-1-1: 2005. La qualità e lo spessore della malta è introdotta nel nodo dal coefficiente  $\beta_{jd}$ . Per qualità della malta uguale o maggiore della qualità del blocco di calcestruzzo ci si attende che  $\beta_{jd} = 1,0$ . L'area efficace  $A_{eff}$  sotto la piastra di base si considera di forma della sezione della colonna aumentata di un'ulteriore larghezza portante  $c$ .

$$c = t \sqrt{\frac{f_y}{3f_j \gamma_{M0}}}$$

dove  $t$  è lo spessore della piastra di base,  $f_y$  è la forza di snervamento della piastra di base e  $\gamma_{M0}$  è il coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio.

L'area efficace è calcolata per iterazione fino a quando la differenza tra le larghezze supplementari portanti di iterazione corrente e precedente  $|c_i - c_{i-1}|$  è inferiore a 1 mm.

La zona in cui il calcestruzzo è in compressione è ricavata dai risultati di FEA. Questa zona in compressione  $A_{\text{eff,FEM}}$  permette di determinare la posizione dell'asse neutro. L'utente può cambiare quest'area modificando "Area effettiva - influenza della dimensione della mesh" in Impostazione codice. Il valore predefinito è 0.1 per il quale sono stati effettuati gli studi di verifica. Non è consigliabile diminuire questo valore. L'incremento di tale valore rende più sicura la valutazione della resistenza portante del calcestruzzo. Il valore nell'Impostazione codice, determina il contorno dell'area,  $A_{\text{eff,FEM}}$ , per es. Il valore di 0.1 tiene conto solo delle aree in cui la tensione nel calcestruzzo è superiore a 0,1 volte la tensione massima nel calcestruzzo,  $\sigma_{c,\text{max}}$ . L'intersezione della zona in compressione  $A_{\text{eff,FEM}}$  e l'area efficace  $A_{\text{eff,cm}}$  permette di valutare la resistenza di colonne generalmente caricate di forma qualsiasi con eventuali rinforzi ed è etichettato  $A_{\text{eff}}$ . La tensione media  $\sigma$  sull' area efficace  $A_{\text{eff}}$  è determinata come forza di compressione diviso per l'area effettiva. La verifica della componente è per tensioni  $\sigma \leq f_{jd}$ .

Resistenza del calcestruzzo ad un carico di compressione concentrato:

$$F_{jd} = \beta_j k_j f_{ck} / \gamma_c$$

Tensione media alla base della piastra:

$$\sigma = N / A_{\text{eff}}$$

Utilizzazione in termini di compressione [%]

$$U_t = \sigma / F_{jd}$$

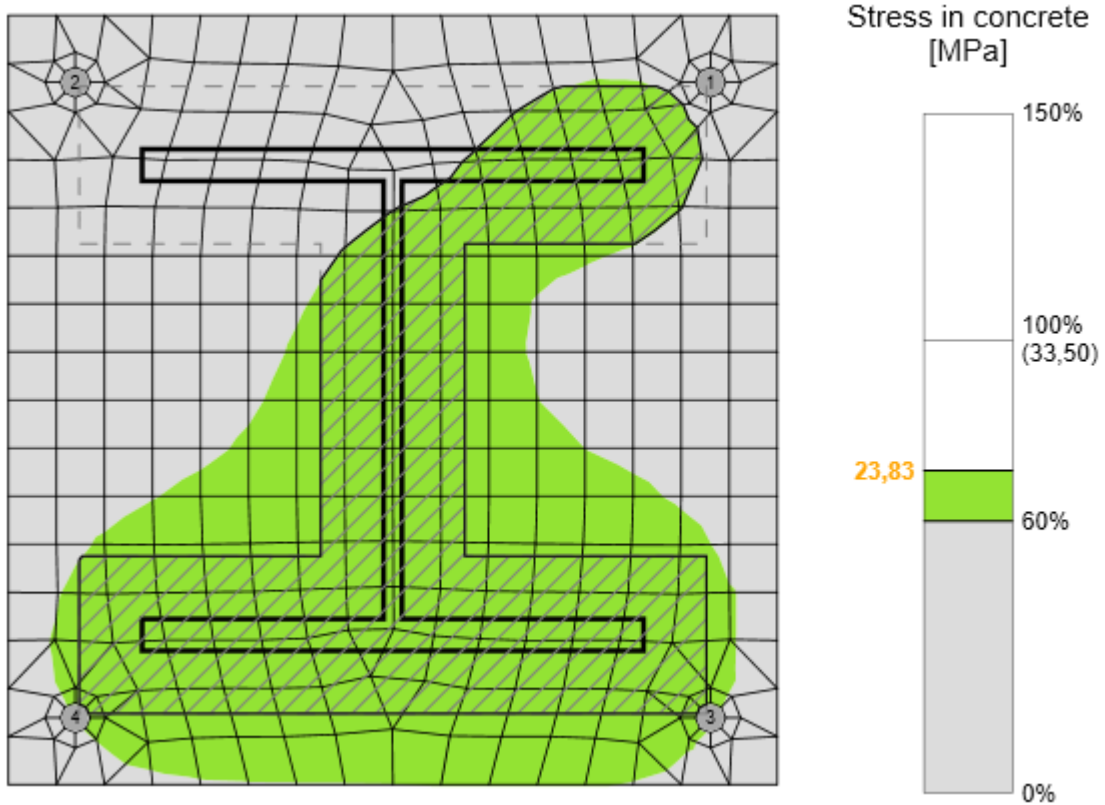
dove:

- $f_{ck}$  - resistenza a compressione caratteristica del calcestruzzo,
- $\beta_j = 0.67$  - un fattore di qualità della malta modificabile in Impostazione codice,
- $k_j$  - fattore di concentrazione,
- $\gamma_c$  - coefficiente di sicurezza,
- $A_{\text{eff}}$  - area effettiva su cui è distribuita la forza  $N$  proveniente dal pilastro.

#### Check of contact stress in concrete for extreme load effect

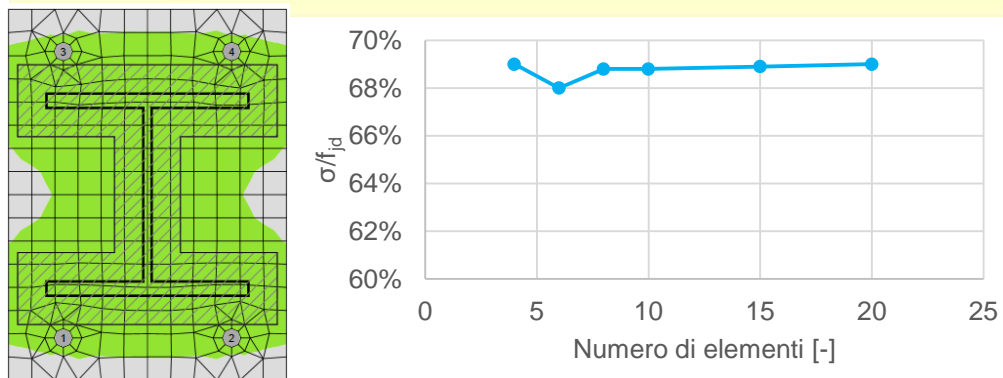
		Status	Item	Loads	c [mm]	Aeff [m2]	$\sigma$ [MPa]	Kj	Fjd [MPa]	Ut [%]
>	+	✓	CB 1	LE1	38	0,04	10,2	3,00	33,5	30,6

L'area effettiva  $A_{\text{eff,cm}}$  è calcolata in accordo all'Eurocodice per compressione pura, è marcata con una linea tratteggiata. La rappresentazione grafica mostra il modo di verifica. L'area effettiva calcolata  $A_{\text{eff,fem}}$  è evidenziata in verde. L'area effettiva finale  $A_{\text{eff}}$ , per la verifica delle tensioni di contatto è evidenziata con i retino.

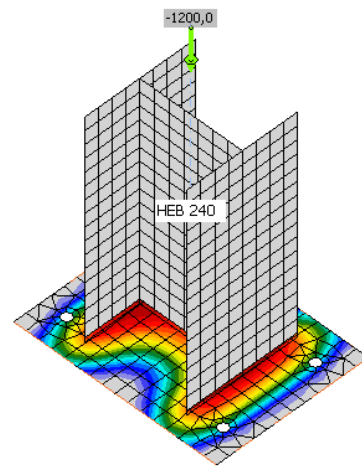


#### 4.6.1 4.6.1 Sensibilità della mesh

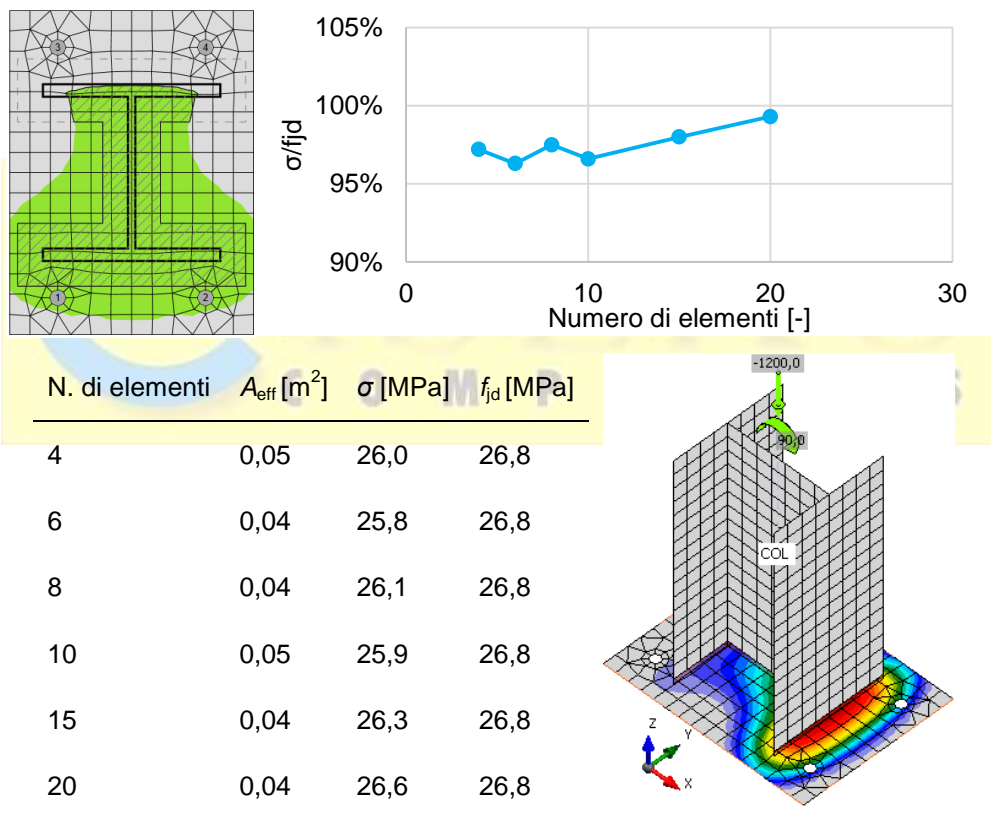
Questa procedura di valutazione della resistenza del calcestruzzo in compressione è indipendente sulla mesh della piastra di base come si vede nelle figure sotto riportate. È mostrato nell'esempio del calcestruzzo in compressione nella valutazione secondo EC. Sono stati studiati due casi: carico per pura compressione 1200 kN e carico tramite la combinazione di forza di compressione 1200 kN e momento flettente 90 kN.



N. di elementi	$A_{\text{eff}}$ [m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [MPa]	$f_{jd}$ [MPa]
4	0,06	18,5	26,8
6	0,06	18,2	26,8
8	0,06	18,5	26,8
10	0,06	18,4	26,8
15	0,06	18,5	26,8
20	0,06	18,5	26,8



Influenza del numero di elementi nella previsione della resistenza del calcestruzzo in compressione nel caso di pura compressione



Influenza del numero di elementi sulla previsione di resistenza del calcestruzzo in compressione nel caso di compressione e momento flettente

## 4.7 Taglio nel blocco di calcestruzzo

Il taglio nel blocco di calcestruzzo può essere trasferito tramite uno dei tre seguenti metodi:

1. Attito

$$V_{Rd,y} = NC_f$$



$$V_{Rd,z} = NC_f$$

## 2. Ferro a taglio

$$V_{Rd,y} = \frac{A_{V,y}f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$V_{Rd,z} = \frac{A_{V,z}f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

$$V_{c,Rd} = A\sigma_{Rd,max}$$

anche il ferro a taglio e le saldature sono verificate dal FEM.

## 3. Ancoraggi

la verifica è eseguita secondo ETAG 001 – Annesso C.

dove:

- $A_{V,y}$ ,  $A_{V,z}$  – Area di taglio del ferro a taglio nelle direzioni degli assi y e z
- $f_y$  – tensione di snervamento
- $\gamma_{M0}$  – coefficiente di sicurezza
- $V_y$  – componente della forza di taglio nel piano della piastra di base in direzione y
- $V_z$  – componente della forza di taglio nel piano della piastra di base in direzione z
- $N$  – forza perpendicolare alla piastra di base
- $C_f$  – coefficiente di attrito
- $A = l b$  – area di progetto del ferro a taglio esclusa la porzione sopra projected area of the shear lug excluding the portion al di sopra del calcestruzzo
- $l$  – lunghezza del ferro a taglio escludendo la porzione al di sopra del calcestruzzo
- $b$  – larghezza di progetto del ferro a tagli nella direzione della sollecitazione di taglio
- $\sigma_{Rd,max} = \frac{k_1 v' f_{ck}}{\gamma_c}$  – tensione massima che può essere applicata ai bordi del nodo
- $k_1$  – coefficiente (EN 1992-1-1 – Equazione (6.60))
- $v' = 1 - f_{ck} / 250$  – coefficiente (EN 1992-1-1 – Equazione (6.57N))
- $f_{ck}$  – resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo
- $\gamma_c$  – coefficiente di sicurezza del calcestruzzo

### Shear in contact plane for extreme load effect

		Status	Item	Loads	Vy [kN]	Vz [kN]	Vrdy [kN]	Vrdz [kN]	Vcrd [kN]	Ut [%]
>	+	✓	BP1	LE1	-50,0	-99,8	2336,5	972,7	603,9	18,5

### Design data

	Friction	Css
>	0,25	CON1(HEB300)

## 4.8 Verifica della capacità dell'elemento

La verifica della capacità dell'elemento viene eseguita secondo EN 1998

$$R_d \geq 1.1 \gamma_{ov} R_{fy}$$

dove:

- $R_d$  – resistenza della connessione non dissipativa
- $R_{fy}$  – la resistenza di snervamento
- $\gamma_{ov} = 1.25$

## 4.9 Analisi di stabilità

Esistono cinque categorie di analisi strutturale degli elementi finiti con le seguenti ipotesi:

1. Linearità del materiale, linearità geometrica
2. Non linearità del materiale, linearità geometrica
3. Linearità del materiale, perdita lineare di stabilità – fenomeni di instabilità (buckling)
4. Linearità del materiale, non linearità geometrica usando le imperfezioni
5. Non linearità del materiale, non linearità geometrica usando le imperfezioni

Nel capitolo 8 del codice CSN EN 1993-1-6 viene menzionata una procedura, che combina le analisi di cui ai punti 2 e 3 – combinazione di non linearità di materiale e analisi di stabilità. L'applicazione dei risultati ottenuti col modello FEM viene descritta nell'appendice B del codice EN 1993-1-5. Questa procedura è utilizzata per un'ampia varietà di strutture, eccezion fatta per le piastre sottili, dove un'analisi geometricamente non lineare per imperfezioni iniziali è più indicata (4 e 5).

La procedura utilizza amplificatori di carico  $\alpha$  ottenuti come risultati dell'analisi FEM e consentono di prevedere la resistenza dopo l'instabilità dei giunti.

Il coefficiente di carico,  $\alpha_{ult,k}$ , è determinato raggiungendo la capacità plastica senza considerare la non linearità geometrica. La verifica della capacità plastica e la determinazione automatica generale di  $\alpha_{ult,k}$  è implementata nel software sviluppato.

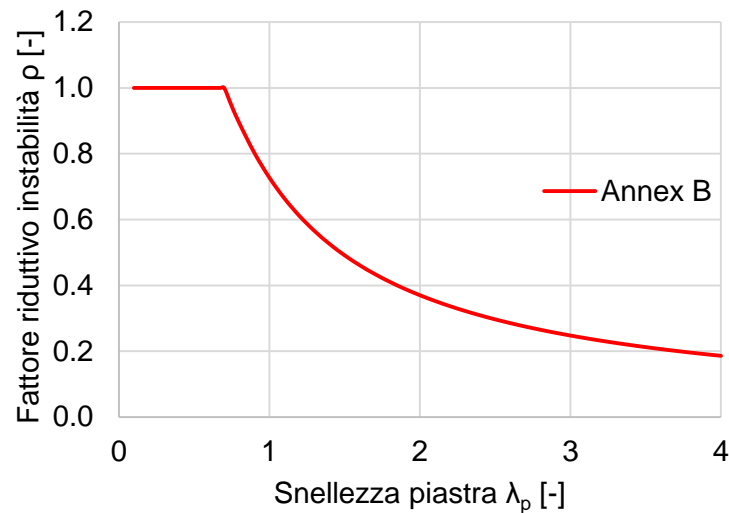
Successivamente è determinato il fattore critico di buckling  $\alpha_{cr}$ , ottenuto usando l'analisi di stabilità FEM. E' determinato automaticamente nel software usando lo stesso modello FEM utilizzato per  $\alpha_{ult,k}$ .

Viene quindi determinata la snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}_p$  per la forma di perdita di stabilità considerata:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

Il coefficiente riduttivo di instabilità  $\rho$  è determinato secondo l'Annesso B di EN 1993-1-5. Il coefficiente riduttivo dipende dalla snellezza delle piastre. La curva di buckling usato rappresenta la dipendenza del coefficiente riduttivo dalla snellezza. Il fattore di instabilità fornito applicabile agli elementi non uniformi si basa sulle curve di instabilità di una trave. La verifica si basa sul criterio di snervamento di von Mises e il metodo di riduzione dello sforzo. La resistenza all'instabilità è valutata come:

$$\frac{\alpha_{ult,k} \cdot \rho}{\gamma_{M1}} \geq 1$$



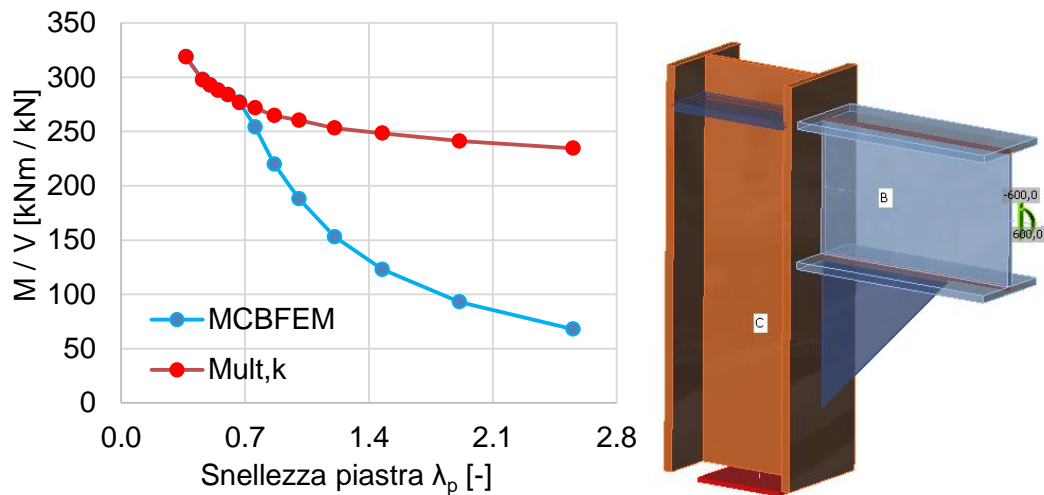
#### Fattore riduttivo dell'instabilità $\rho$ secondo EN 1993-1-5 Annesso B

Nonostante il processo sembri banale, esso è generale, robusto e l'algoritmo può essere sviluppato velocemente. La forza di questo processo è basata sull'analisi FEM avanzata del nodo, che può essere applicata alla geometria generale. Inoltre è inclusa in codici nazionali validi. L'analisi numerica avanzata fornisce una rapida panoramica del comportamento globale della struttura e delle sue parti critiche e permette il rapido irrigidimento per evitare instabilità.

Il limite di snellezza  $\bar{\lambda}_p$  è previsto nell'Allegato B della EN 1993-1-5 e imposta tutti i casi che devono essere valutati in base alla procedura precedente. La resistenza è limitata dalla instabilità per piastre con snellezza superiore a 0.7. Diminuendo la snellezza, la resistenza è governata dalla deformazione plastica. Il fattore critico di instabilità per piastre di snellezza pari a 0.7 e resistenza all'instabilità pari alla resistenza plastica può essere ottenuto come segue

$$\alpha_{cr} = \frac{\alpha_{ult,k}}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1}{0.7^2} = 2.04$$

L'influenza della snellezza della piastra sul momento resistente plastico  $M_{ult,k}$  e sulla resistenza all'instabilità,  $M_{CBFEM}$ , è mostrato nella figura sotto. Il diagramma mostra i risultati di uno studio numerico di irrigidimento triangolare in un giunto intelaiatura a portale.



L'influenza della snellezza sulla resistenza del portale a telaio con rinforzo snello

#### 4.10 Capacità di deformazione

La previsione della capacità di deformazione  $\delta_{Cd}$  delle connessioni è attualmente studiata con il metodo delle componenti (CM), ma non è proposto come procedura standardizzata. Confrontando i metodi diffusi per la determinazione della rigidezza iniziale e la resistenza di molti tipi di nodi strutturali, non ci sono procedure standardizzate generalmente accettate per la determinazione della capacità di rotazione. Si considerano i criteri selezionati per aiutare gli ingegneri in CI 6.4.2 di EN1993-1-8: 2006.

Un giunto trave-colonna in cui il momento resistente di progetto del giunto  $M_{j,Rd}$ , è governato dalla resistenza di progetto del pannello d'anima della colonna a taglio, si considera abbia un'adeguata capacità di rotazione per l'analisi globale di plastica, a condizione che:

$$d/t_w \leq 69\varepsilon$$

dove  $d$  è lo spessore del pannello d'anima della,  $t_w$  è lo spessore dell'anima e  $\varepsilon \leq \sqrt{235/f_y}$  è il rapporto di snervamento dell'acciaio.

In CI 6.4.2 (2) viene limitata la distribuzione plastica tra le file dei bulloni, per giunti con una connessione flangiata imbullonata a condizione che il momento resistente di progetto del giunto sia governato dalla resistenza di progetto dell'ala della colonna o la trave soggetta a flessione all'estremità o lo spessore  $t$  dell'ala della colonna o della trave d'estremità o la trazione del coprigiunto soddisfi:

$$t \leq 0,36 d \sqrt{f_{ub}/f_y}$$

dove  $d$  and  $f_{u,b}$  sono il diametro e la forza del bullone e  $f_y$  è la forza di snervamento di piastre rilevanti.

La clausola 6.4.3 afferma che la capacità di rotazione  $\varphi_{Cd}$  di una connessione trave-colonna saldata si può considerare non inferiore al valore dato dalla seguente espressione purché l'anima della colonna sia irrigidita in compressione, ma non irrigidita in trazione, e il momento resistente non sia governato dalla resistenza a taglio di progetto del pannello d'anima della colonna, vedi 6.4.2 (1):

$$\varphi_{Cd} = 0.025 h_c/h_b$$

dove  $h_b$  è lo spessore della trave e  $h_c$  è l'altezza della colonna. Un giunto trave colonna saldato non irrigidito progettato in conformità con le disposizioni della presente sezione, si può considerare abbia una capacità rotazionale  $\varphi_{Cd}$  di almeno 0.015 radianti.

### 4.11 Dettagli costruttivi

Le verifiche dei dettagli costruttivi dei bulloni sono eseguite se l'opzione è selezionata nella finestra Impostazione codice. Sono verificate le distanze dal centro del bullone ai bordi della piastra e tra i bulloni. La distanza (è un coefficiente moltiplicativo) dal bordo  $e = 1.2$  e la distanza tra i bulloni  $p = 2.2$ , sono raccomandati nella Tabella 3.3 in EN 1993-1-8. L'utente può modificare entrambi i valori nell'Impostazione codice.



## 5 Check of components according to AISC

Piastre

Saldature

Bulloni

Bulloni precaricati

Calcestruzzo in compressione

Trasferimento del taglio

Ancoraggio

Member capacity design

Dettagli costruttivi

Il metodo CBFEM combina i vantaggi del metodo generale agli elementi finiti (FEM) e il metodo standard delle componenti (CM). Le tensioni e le forze interne calcolate col modello CBFEM vengono quindi usate nelle verifiche di tutte le componenti.

Le singole componenti vengono verificate secondo il 360-16 dell'American Institute of Steel Construction (AISC).

### 5.1 Piastre

La tensione equivalente (Huber-Mises-Hencky – HMH, von Mises) e la deformazione plastica vengono calcolate sulle piastre. Il modello elasto-plastico del materiale viene utilizzato per le piastre in acciaio. Viene eseguita la verifica della deformazione plastica equivalente. Il valore limite del 5% è suggerito dall'Eurocodice (EN 1993-1-5, app. C, par. C8, note 1), questo valore può però essere modificato dall'utente nella finestra Impostazione codice.

L'elemento piastra è diviso in 5 layers e il comportamento elastico/plastico viene indagato in ciascuno di essi. Il riepilogo dell'output elenca la verifica più critica tra tutti e 5 i layers.

La tensione equivalente risultante (HMH, von Mises) e la deformazione plastica sono calcolate sulle piastre. Quando si raggiunge la tensione di snervamento (nel Load and Resistance Factor Design, LRFD moltiplicata da coefficiente di resistenza del materiale  $\phi = 0.9$ , nel Allowable Strength Design, ASD diviso dal coefficiente di sicurezza del materiale  $\Omega = 1.67$ , editabili nell'Impostazione codice) sullo schema del materiale bilineare, viene eseguita la verifica della deformazione plastica equivalente. Il valore limite del 5% è suggerito dall'Eurocodice (EN1993-1-5 App. C, Par. C8 nota 1), questo valore può essere modificato nell'Impostazioni codice.

L'elemento plate è diviso in 5 layers e in ognuno di questi è analizzato il comportamento elasto/plastico. Il programma mostra il peggior risultato fra tutti.



### Check of members and steel plates for extreme load effect

	Status	Item	Th [in]	Loads	$\sigma, Ed$ [ksi]	$\epsilon, PI$ [%]
>	✓	C-bfl 1	9/16"	LE1	32.6	0.8
	✓	C-tfl 1	9/16"	LE1	32.9	1.8
	✓	C-w 1	9/16"	LE1	33.3	3.2
	✓	B-bfl 1	5/8"	LE1	32.5	0.4
	✓	B-tfl 1	5/8"	LE1	32.3	0.1
	✓	B-w 1	9/16"	LE1	32.5	0.2
	✓	STIFF1a	3/8"	LE1	32.6	0.6
	✓	STIFF1b	3/8"	LE1	32.6	0.6
	✓	STIFF1c	3/8"	LE1	32.8	1.3
	✓	STIFF1d	3/8"	LE1	32.8	1.3

### Design data

	Grade	Fy [ksi]	$\epsilon, lim$ [%]
>	A36	36.0	5.0

Il metodo CBFEM fornisce valori di sforzo più elevati dello snervamento. La ragione di ciò è la leggera inclinazione del ramo plastico nel diagramma sforzo-deformazione, che è usato in fase di analisi per migliorare la stabilità delle interazioni di calcolo. Questo non è un problema per il progetto pratico. La deformazione plastica equivalente è superata in corrispondenza di tensioni maggiori e il nodo non sarebbe comunque non soddisfatto.

## 5.2 Saldature

### 5.2.1 Saldature a cordone d'angolo

Sono valutate la resistenza di progetto,  $\phi R_n$ , e la resistenza disponibile,  $R_n/\Omega$ , di nodi saldati nella verifica delle saldature di una connessione.

$\phi = 0.75$  (Load and Resistance Factor Design, LRFD, modificabile nell'Impostazione codice)

$\Omega = 2.00$  (Allowable Strength Design, ASD, modificabile nell'Impostazione codice).

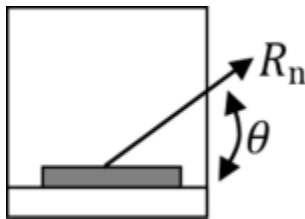
La resistenza disponibile di giunti saldati è valutata secondo AISC 360-16 – J2.4

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{EXX} (1.0 + 0.5 \sin^{1.5} \theta)$$

dove:

- $F_{nw}$  - tensione nominale del materiale della saldatura
- $A_{we}$  - area efficace della saldatura
- $F_{EXX}$  - numero di classificazione dell'elettrode, ossia resistenza minima alla forza di trazione specificata
- $\theta$  - angolo di carico misurato dall'asse longitudinale della saldatura, gradi.



Per saldature a cordone d'angolo caricate alle estremità con una lunghezza fino a 100 volte la dimensione della saldatura, si può assumere la lunghezza efficace uguale alla lunghezza attuale. Quando la lunghezza della saldatura a cordone d'angolo caricata all'estremità supera 100 volte la dimensione della saldatura, la lunghezza effettiva è determinata moltiplicando la lunghezza attuale per il fattore di riduzione,  $\beta$ , determinato come segue:

$$\beta = 1.2 - 0.002(l/w)$$

dove:

- $l$  – lunghezza della saldatura,
- $w$  – dimensione del cordone della saldatura.

Quando la lunghezza della saldatura supera 300 volte la dimensione del cordone,  $w$ , la lunghezza effettiva è presa pari a  $180 w$ .

La resistenza del metallo base è valutata se l'opzione è selezionata in Impostazione codice (Capacità metallo base sulla faccia di fusione).

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} - \text{AISC 360-16} - \text{J2.4 (J2-2)}$$

dove:

- $F_{nBM} = 0.6F_u$  – resistenza nominale del metallo base – AISC 360-16 – J4.2 (J4-4)
- $A_{BM} = A_{we}\sqrt{2}$  – area della sezione del metallo base
- $F_u$  – resistenza a trazione minima specificata

Tutti i valori richiesti per le verifiche sono stampati in tabella.

Check of welds for extreme load effect (Plastic redistribution)												
	Status	Item	Edge	Xu	Th [mm]	Ls [mm]	L [mm]	Lc [mm]	Loads	Fn [kN]	$\phi R_n$ [kN]	Ut [%]
-	✓	B1-bfl 1	SPL1	E70xx	2,8	4,0	59	10	LE1	8,1	9,1	88,7
<p>Weld resistance check            AISC 360-16: J2-4  <math>\phi R_n = \phi \cdot F_{TWE} \cdot A_{we} = 9,1 \text{ kN} \geq F_n = 8,1 \text{ kN}</math>            Where:  <math>F_{TWE} = 434,4 \text{ MPa}</math> – nominal stress of weld material:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>F_{TWE} = 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0,5 \cdot \sin^{1,5} \theta)</math>, where:               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <math>F_{EXX} = 482,6 \text{ MPa}</math> – electrode classification number, i.e. minimum s</li> <li>◦ <math>\theta = 89,4^\circ</math> – angle of loading measured from the weld longitudinal axi</li> </ul> </li> </ul> <math>A_{we} = 28 \text{ mm}^2</math> – effective area of weld's critical element</p>												
+	✓	B2-bfl 1	SPL1	E70xx	2,8	4,0	59	10	LE1	8,1	9,1	88,7
+	✓	B1-bfl 1	SPL3	E70xx	2,8	4,0	59	10	LE1	8,1	9,1	88,7
+	✓	B2-bfl 1	SPL3	E70xx	2,8	4,0	59	10	LE1	8,1	9,1	88,7

### 5.2.2 Saldature a scanalatura CJP

La Tabella delle specifiche della AISC J2.5 individua quattro condizioni di carico che potrebbero essere associate a saldature a scanalatura JP, e mostra che la resistenza del giunto è controllata dal metallo base o che i carichi non devono essere considerati nella progettazione delle saldature che collegano le parti. Di conseguenza, quando le saldature a scanalatura CJP sono realizzate con la corrispondente resistenza del metallo d'apporto, la forza della connessione è regolata o controllata dal metallo di base, e non sono necessari verifiche sulla resistenza della saldatura.

## 5.3 Bulloni

### 5.3.1 Forza di trazione e taglio dei bulloni

La trazione di progetto o la resistenza al taglio,  $\Phi R_n$ , e la trazione ammissibile o la resistenza al taglio,  $R_n/\Omega$  di un bullone ben stretto sono determinate in base agli stati limite di tensione di rottura e di taglio di rottura come segue:

$$R_n = F_n A_b$$

$$\Phi = 0.75 \quad (\text{LRFD, modificabile in Impostazione codice})$$

$$\Omega = 2.00 \quad (\text{ASD, modificabile in Impostazione codice})$$

dove:

- $A_b$  – del corpo non filettata del bullone o parte filettata
- $F_n$  – trazione nominale,  $F_{nt}$ , o sforzo di taglio,  $F_{nv}$ , da Tabella J3.2

La forza di trazione necessaria comprende qualsiasi tensione risultante dalla azione di leva prodotta dalla deformazione delle parti collegate.

### 5.3.2 5.3.2 Trazione e taglio combinato in una connessione di tipo portante

La resistenza a trazione disponibile di un bullone sottoposto a trazione e taglio combinato è determinata in base agli stati limite di tensione e taglio di rottura come segue:

$$R_n = F'_{nt} A_b \quad (\text{AISC 360-16 J3-2})$$

$$\Phi = 0.75 \quad (\text{LRFD, modificabile in Impostazione codice})$$

$$\Omega = 2.00 \quad (\text{ASD, modificabile in Impostazione codice})$$

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - f_{rv} F_{nt}/(\Phi F_{nv}) \quad (\text{AISC 360-16 J3-3a LRFD})$$

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - f_{rv} \Omega F_{nt}/F_{nv} \quad (\text{AISC 360-16 J3-3b ASD})$$

dove:

- $F'_{nt}$  – trazione nominale modificata per includere gli effetti della tensione di taglio
- $F_{nt}$  – sforzo di trazione nominale da AISC 360-10 Tabella J3.2
- $F_{nv}$  – sforzo di taglio nominale da AISC 360-10 Tabella J3.2
- $f_{rv}$  – sforzo di taglio richiesto usando combinazioni di carico LRFD o ASD. Lo sforzo di taglio disponibile dei connettori deve essere uguale o eccedere lo sforzo di taglio richiesto,  $f_{rv}$ .

### 5.3.3 Forza di rifollamento nei fori dei bulloni

La capacità portante disponibile,  $\Phi R_n$  e  $R_n/\Omega$  ai fori dei bulloni è determinata per gli stati limite del supporto come segue:

$$\Phi = 0.75 \quad (\text{LRFD, modificabile in Impostazione codice})$$

$$\Omega = 2.00 \quad (\text{ASD, modificabile in Impostazione codice})$$

La forza di rifollamento nominale del materiale connesso,  $R_n$ , è determinata come segue:

Per un bullone in una connessione con fori standard:

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \quad (\text{AISC 360-16 J3-6a, J3-6a, c})$$

Per un bullone in una connessione con fori asolati:

$$R_n = 1.0 l_c t F_u \leq 2.0 d t F_u \quad (\text{AISC 360-16 J3-6a, J3-6e, f})$$

dove:

- $F_u$  – resistenza a trazione minima specificata del materiale collegato,
- $d$  – diametro nominale del bullone,
- $l_c$  – distanza libera, nella direzione della forza, tra il bordo del foro e il bordo del foro adiacente o il bordo del materiale
- $t$  – spessore del materiale connesso.

## 5.4 Bulloni precaricati

La resistenza a scorrimento di progetto di bulloni precaricati di classe A325 o A490 senza effetto della forza di trazione  $F_{t,Ed}$

La forza di precarico da utilizzare è (AISC 360-10 tab. J3.1.)

$$T_b = 0.7 f_{ub} A_s$$

Resistenza allo scorrimento di progetto per bullone AISC 360-10 par. J3.8

$$R_n = k_{SC} \mu D_u h_f T_b n_s$$

Utilizzo in termini di taglio [%]:

$$U_{ts} = V / \phi R_n \quad (\text{LRFD})$$

$$U_{ts} = \Omega V / R_n \quad (\text{ASD})$$

dove:

- $A_s$  – area soggetta a trazione del bullone
- $f_{ub}$  – resistenza ultima a trazione
- $k_{SC} = 1 - \frac{F_t}{D_u T_b n_b}$  – factor for combined tension and shear (LRFD) (J3-5a)
- $k_{SC} = 1 - \frac{1.5 F_t}{D_u T_b n_b}$  – factor for combined tension and shear (LRFD) (J3-5b)
- $\mu$  – fattore di scorrimento ottenuto,
- $D_u = 1.33$  – a multiplier that reflects the ratio of the mean installed bolt pretension to the specified minimum bolt pretension
- $h_f = 1.0$  – factor for fillers
- $n_s$  - numero di superfici di attrito. La verifica è calcolata per ogni superficie di attrito separatamente.
- $V$  – forza di taglio nel bullone
- $\phi = 1.0$  – fattore di resistenza per fori di dimensioni standard (LRFD)
- $\phi = 0.7$  – fattore di resistenza per fori asolati (LRFD)
- $\Omega = 1.5$  – fattore di resistenza per fori di dimensioni standard (ASD)
- $\Omega = 2.14$  – fattore di resistenza per fori asolati (ASD)

## 5.5 Calcestruzzo in compressione

Il calcestruzzo in compressione è progettato secondo AISC 360-16, Sezione J8. Quando la superficie supportata del calcestruzzo è più grande della piastra di base, la resistenza portante di progetto è definita come

$$f_{p(\max)} = 0.85f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7f_c'$$

dove:

- $f_c'$  – la resistenza a compressione del calcestruzzo
- $A_1$  – area della piastra di base a contatto con la superficie del calcestruzzo (superficie superiore del tronco)
- $A_2$  – superficie di appoggio in calcestruzzo (area inferiore geometricamente simile del tronco con le sue pendenze da 1 verticale a 2 orizzontale)

La valutazione del calcestruzzo portante è la seguente

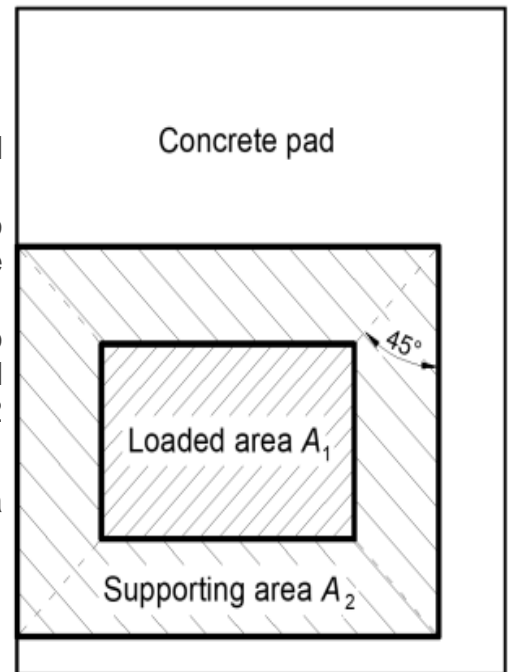
$$\sigma \leq \phi_c f_{p(\max)} \quad (\text{LRFD})$$

$$\sigma \leq \frac{f_{p(\max)}}{\Omega_c} \quad (\text{ASD})$$

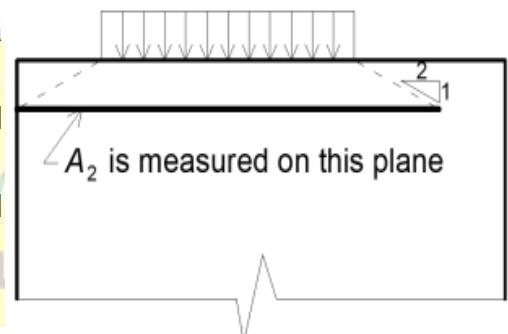
dove:

- $\sigma$  è lo sforzo di compressione medio sotto la piastra di base
- $\phi_c = 0.65$  – coefficiente di compressione per il calcestruzzo
- $\Omega_c = 2.31$  – coefficiente di sicurezza per il calcestruzzo

Plan



Elevation



## 5.6 Trasferimento del taglio

Le forze di taglio possono essere trasferite tramite una delle tre opzioni:

- Ferro a taglio,
- Attrito,
- Ancoraggi.

### 5.6.1 Ferro a taglio

È disponibile solo LFRD. Il taglio è trasferito tramite il ferro a taglio. The concrete in bearing and, unless reinforcement is provided to develop the required strength, concrete breakout checks are necessary.

La capacità portante del ferro a taglio sul calcestruzzo è determinato secondo ACI 349-01 – B.4.5 e ACI 349-01 RB11 come:

$$\phi P_{br} = \phi 1.3 f_c' A_1 + \phi K_c (N_y - P_a)$$

dove:

- $\phi = 0.7$  – coefficiente riduttivo per il calcestruzzo portante secondo ACI 349



- $f'_c$  – resistenza a compressione del calcestruzzo
- $A_1$  – area proiettata del ferro a taglio annesso nella direzione della forza escludendo la porzione del ferro a taglio a contatto con la malta sopra l'elemento in calcestruzzo
- $K_c = 1.6$  – coefficiente di confinamento
- $N_y = n A_{se} F_y$  – tensione di snervamento degli ancoraggi tesi
- $P_a$  – carico assiale esterno

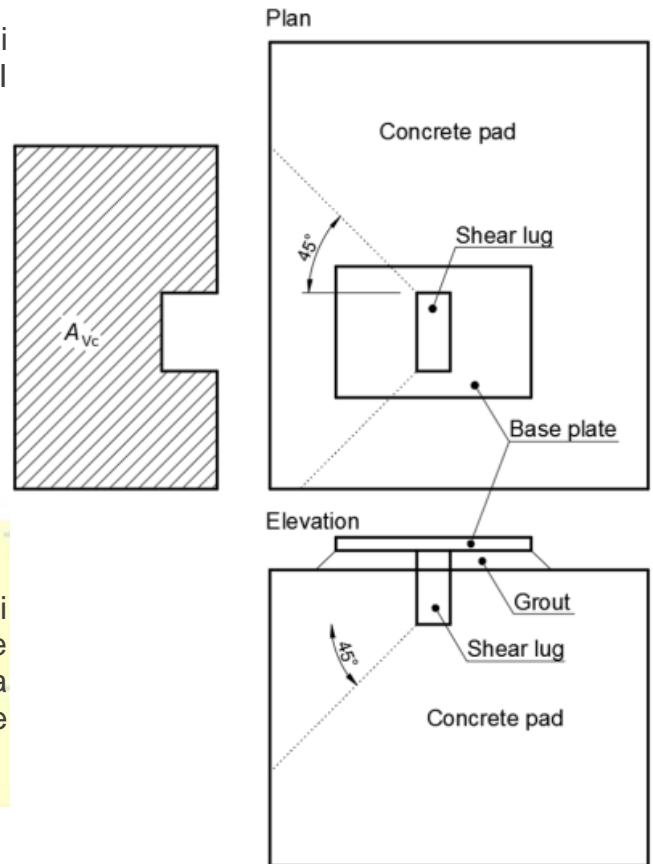
La forza di estrazione del cono di calcestruzzo del ferro a taglio secondo ACI 349 – B11 è:

$$\phi V_{cb} = A_{vc} 4\phi \sqrt{f'_c}$$

dove:

- $\phi = 0.85$  – coefficiente di riduzione per il taglio secondo ACI 349
- $A_{vc}$  – area di tensione efficace definita da un piano a  $45^\circ$  dai bordi portanti del ferro a taglio alla superficie libera nella direzione del carico di taglio. L'area resistente del ferro a taglio è esclusa dall'area di progetto.

Se in Impostazione codice la verifica di rottura del cono di calcestruzzo è deselezionata, all'utente viene fornita la forza che deve essere trasferita tramite calcestruzzo.



### 5.6.2 Attrito

Il taglio è trasferito tramite attrito. La resistenza a taglio è determinata come:

$$\phi_c V_r = \phi_c \mu C \quad (\text{LRFD})$$

$$V_r / \Omega = \mu C / \Omega_c \quad (\text{ASD})$$

dove:

- $\phi_c = 0.65$  – coefficiente di resistenza (LRFD)
- $\Omega_c = 2.31$  – coefficiente di sicurezza (ASD)
- $\mu = 0.4$  – coefficiente di attrito tra piastra di base e calcestruzzo (valore raccomandato 0.4 in AISC Design guide 7 – 9.2 e ACI 349 – B.6.1.4, modificabile in Impostazione codice)
- $C$  – forza di compressione



### 5.6.3 Bulloni di ancoraggio

Se il carico di taglio viene trasferito solo tramite bulloni di ancoraggio, la forza di taglio che agisce su ciascun ancoraggio è determinata dal FEA e i bulloni di ancoraggio sono valutati secondo ACI 318-14 come descritto nei seguenti capitoli.

## 5.7 Ancoraggi

È disponibile solo LFRD. Le barre di ancoraggio sono progettate secondo AISC 360-16 – J9 e ACI 318-14 – Cap. 17. Vengono valutate le seguenti resistenze dei bulloni di ancoraggio:

- Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio  $\phi N_{sa}$ ,
- Resistenza di estrazione del cono di calcestruzzo a trazione  $\phi N_{cbg}$ ,
- Resistenza a sfilamento del calcestruzzo  $\phi N_p$ ,
- Resistenza a rottura della superficie laterale del blocco di calcestruzzo  $\phi N_{sb}$ ,
- Resistenza a taglio dell'acciaio dell'ancoraggio  $\phi V_{sa}$ ,
- Forza di estrazione del cono di calcestruzzo a taglio  $\phi V_{cbg}$ ,
- Resistenza a scalzamento del calcestruzzo dell'ancoraggio a taglio  $\phi V_{cp}$ .

L'utente deve scegliere la condizione del calcestruzzo (fessurato o non fessurato – senza fessurazioni in condizioni di esercizio) e il tipo di ancoraggio (cast-in headed, cast-in hooked o installati dopo il getto).

### 5.7.1 Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio

La resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio è determinata secondo ACI 318-14 – 17.4.1 come

$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} f_{uta}$$

dove:

- $\phi = 0.7$  – coefficiente di riduzione della tensione per ancoraggi in trazione secondo ACI 318-14 – 17.3.3, modificabile in Impostazione Codice
- $A_{se,N}$  – tensile stress area
- $f_{uta}$  – specified tensile strength of anchor steel and shall not be greater than  $1.9 f_{ya}$  and 120 ksi

### 5.7.2 Concrete breakout strength

La forza di estrazione del cono di calcestruzzo è progettata secondo il Concrete Capacity Design (CCD) in ACI 318-14 – Cap. 17. Nel metodo CCD, il cono di calcestruzzo è considerato formato approssimativamente da un angolo di  $34^\circ$  (pendenza verticale da 1 a 1.5 orizzontale). Per semplificazione, il cono è considerato quadrato anziché rotondo. Nel metodo CCD la tensione di rottura del cono di calcestruzzo diminuisce con l'aumentare delle dimensioni della superficie di rottura. Di conseguenza, nel metodo CCD l'aumento della forza di rottura è proporzionale alla profondità dell'ancoraggio elevato 1.5. Gli ancoraggi i cui coni di calcestruzzo si sovrappongono creano un gruppo di ancoraggi che creano un cono di calcestruzzo comune. Si noti che non esiste una soluzione ASD equivalente per la progettazione della capacità del calcestruzzo.

$$\phi N_{cgb} = \phi \frac{A_{Nc}}{A_{Nc0}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b$$

dove:

- $\phi = 0.7$  – fattore di riduzione della forza per gli ancoraggi in trazione secondo ACI 318-14 - 17.3.3, il fattore è modificabile nell'Impostazione codice
- $A_{Nc}$  – area effettiva del cono di rottura del calcestruzzo per un gruppo di ancoraggi che creano un cono di calcestruzzo comune
- $A_{Nc0} = 9 h_{ef}^2$  – area del cono di rottura del calcestruzzo per ancoraggio singolo non influenzato dai bordi
- $\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + \frac{2e_N}{3h_{ef}}}$  – fattore di modifica per gruppi di ancoraggi caricati eccentricamente in tensione
- modification factor for anchor groups loaded eccentrically in tension; nel caso in cui esista un carico eccentrico su due assi, il fattore di modifica  $\psi_{ec,N}$  viene calcolato individualmente per ciascun asse e viene utilizzato il prodotto di questi fattori
- $\psi_{ed,N} = \min\left(0.7 + \frac{0.3c_{a,min}}{1.5h_{ef}}, 1\right)$  – fattore di modifica per la distanza dal bordo
- $c_{a,min}$  – distanza minima dall'ancoraggio al bordo
- $\psi_{c,N}$  – fattore di modifica per condizioni del calcetsruzzo ( $\psi_{c,N} = 1$  per calcestruzzo fessurato)
- $\psi_{cp,N} = \min\left(\frac{c_{a,min}}{c_{ac}}, 1\right)$  – fattore di modifica per sfilamento in caso di progettazione di ancoraggi post-installati per calcestruzzo non fessurato senza rinforzo supplementare per il controllo dello sfilamento;  $\psi_{cp,N} = 1$  per tutti gli altri casi
- $N_b = k_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$  – resistenza di rottura del calcestruzzo di base di un singolo ancoraggio in tensione nel calcestruzzo fessurato; per ancoraggi in opera e  $11 \text{ in.} \leq h_{ef} \leq 25 \text{ in.}$   $N_b = 16 \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3}$
- $k_c = 24$  per ancoraggi in opera
- $h_{ef}$  – profondità di infissione; secondo il Cap. 17.4.2.3 in ACI 318-14, l'effettiva profondità di infissione  $h_{ef}$  è ridotto a  $h_{ef} = \max\left(\frac{c_{a,min}}{1.5}, \frac{s}{3}\right)$  se gli ancoraggi si trovano a meno di  $1.5 h_{ef}$  da tre o più bordi
- $s$  – spazio tra gli ancoraggi
- $c_{a,max}$  – distanza massima da un ancoraggio a uno dei tre bordi vicini
- $\lambda_a = 1$  – fattore di modifica per calcestruzzo leggero
- $f'_c$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo [psi]

Secondo ACI 318-14 – 17.4.2.8, in case of headed anchors, the projected surface area  $A_{Nc}$  is determined from the effective perimeter of the washer plate, which is the lesser value of  $d_a + 2 t_{wp}$  or  $d_{wp}$ , where:

- $d_a$  – diametro dell'ancoraggio
- $d_{wp}$  – diametro della rondella o dimensione del bordo
- $t_{wp}$  – spessore della rondella

Il gruppo di ancoraggi è verificato contro la somma delle forze di trazione in ancoraggi caricati in trazione e creando un cono di calcestruzzo comune.

Secondo ACI 318-14 – 17.4.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con ACI 318-14 – 25 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di tensione e la forza di rottura del calcestruzzo non sia valutata.

### 5.7.3 Forza di estrazione del calcestruzzo

Forza di estrazione del calcestruzzo per un ancoraggio è definito nell'ACI 318-14 – 17.4.3 come  $\phi N_{pn} = \phi \Psi_{c,P} N_p$

dove:

- $\phi = 0.7$  – fattore di riduzione della resistenza per ancoraggi in trazione ACI 318-14 – 17.3.3, modificabile in Impostazione codice
- $\Psi_{c,P}$  – fattore di modifica in base alle condizioni del calcestruzzo,  $\Psi_{c,P} = 1.0$  per calcestruzzo fessurato
- $N_p = 8 A_{brg} f'_c$  per ancoraggi con testa
- $A_{brg}$  – area portante della testa del perno o del bullone di ancoraggio
- $f'_c$  – resistenza a compressione del calcestruzzo

Forza di estrazione del calcestruzzo per altri tipi di ancoraggi da quelli con testa non sono validati dal software deve essere specificato dal produttore.

### 5.7.4 Forza di rottura del bordo di calcestruzzo

La forza di rottura del bordo di calcestruzzo di un ancorante con testa soggetto a trazione è definito in ACI 318-14 – 17.4.4 come

$$\phi N_{sb} = \phi 160 c_{a1} \sqrt{A_{br}} \sqrt{f'_c}$$

La forza di rottura del bordo di calcestruzzo è viene moltiplicato per uno dei fattori di riduzione:

- $\frac{1 + \frac{c_{a2}}{6c_{a1}}}{4} \leq 1$
- $\frac{1 + \frac{s}{6c_{a1}}}{2} \leq 1$

dove:

- $\phi = 0.7$  – fattore di riduzione della resistenza per ancoraggi in trazione secondo ACI 318-14 – 17.3.3, modificabile in Impostazione codice
- $c_{a1}$  – distanza minore dalla linea centrale di un'ancoraggio a un bordo
- $c_{a2}$  – distanza maggiore, perpendicolare a  $c_{a1}$ , dalla linea centrale di un'ancoraggio a un bordo
- $A_{brg}$  – area portante della testa del perno o del bullone di ancoraggio
- $f'_c$  – resistenza a compressione del calcestruzzo

- $h_{ef}$  – profondità di infissione; secondo il Cap. 17.4.2.3, ACI 318-14, l'effettiva profondità di infissione è ridotto  $h_{ef}$  a  $h_{ef} = \max(\frac{c_{a,max}}{1.5}, \frac{s}{3})$  se gli ancoraggi si trovano a meno di  $1.5 h_{ef}$  da tre o più bordi
- $s$  – spazio tra due ancoraggi adiacenti vicino a un bordo

### 5.7.5 Resistenza dell'acciaio a taglio

La resistenza dell'acciaio a taglio è determinata secondo ACI 318-14 – 17.5.1 come

$$\phi V_{sa} = \phi 0.6 A_{se,V} f_{uta}$$

dove:

- $\phi = 0.65$  – fattore di riduzione della resistenza per ancoraggi in tensione secondo ACI 318-14 – 17.3.3, modificabile nell'Impostazione codice
- $A_{se,V}$  – area soggetta a taglio
- $f_{uta}$  – specificata resistenza alla trazione dell'ancoraggio in acciaio e non deve essere superiore a  $1.9 f_{ya}$  e 120 ksi.

Se è selezionato giunto di malta, resistenza dell'acciaio a taglio  $V_{sa}$  è moltiplicato per 0.8 (ACI 318-14 – 17.5.1.3).

Il taglio sul braccio di leva, che è presente nel caso di piastra di base con fori di dimensioni molto grandi e rondelle o piastre aggiunte alla parte superiore della piastra di base per trasmettere la forza di taglio, non è considerato.

### 5.7.6 Forza di estrazione del calcestruzzo di un ancoraggio a taglio

La forza di estrazione del calcestruzzo di un ancoraggio o un gruppo di ancoraggi a taglio è progettato secondo ACI 318 14 – 17.5.2.

$$\phi V_{cgb} = \phi \frac{A_v}{A_{v0}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} \psi_{\alpha,V} V_b$$

dove:

- $\phi = 0.65$  – fattore di riduzione della forza per gli ancoraggi a taglio secondo ACI 318-14 – 17.3.3, modificabile nell'Impostazione codice
- $A_v$  – area di rottura proiettata del calcestruzzo di un ancoraggio o di un gruppo di ancoraggi projected concrete failure area of an anchor or group of anchors
- $A_{v0}$  – area di rottura proiettata del calcestruzzo di un ancoraggio quando non è limitato dall'influenza dell'angolo, dallo spazio e dallo spessore dell'elemento
- $\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \frac{2e_V}{3c_{a1}}}$  – fattore di modifica per gruppi di ancoraggi caricati eccentricamente a taglio
- $\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \leq 1.0$  – fattore di modifica per effetto del bordo
- $\psi_{c,V}$  – fattore di modifica per la condizione di calcestruzzo;  $\psi_{c,V} = 1.0$  per calcestruzzo fessurato
- $\psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \geq 1$  – fattore di modifica per ancoraggi posizionati in un blocco di calcestruzzo dove  $h_a < 1.5 c_{a1}$

- $\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0.5 \sin \alpha_V)^2}}$  – coefficiente di modifica per ancoraggi caricati con un angolo di  $90^\circ - \alpha_V$  con il bordo di calcestruzzo; in ACI 318-14 – 17.5.2.1 sono solo valori discreti, l'equazione è tratta dal bollettino FIB 58 – Design of anchorages in concrete (2011)
- $h_a$  – altezza di una superficie di rottura sul lato del calcestruzzo
- $V_b = \min\left(7\left(\frac{l_c}{d_a}\right)^{0.2} \lambda_a \sqrt{d_a} \sqrt{f'_c} c_1^{1.5}, 9 \lambda_a \sqrt{d_a} \sqrt{f'_c} c_1^{1.5}\right)$
- $l_e = h_{ef} \leq 8 d_a$  – lunghezza portante dell'ancoraggio soggetto a taglio
- $d_a$  – diametro dell'ancoraggio
- $f'_c$  – resistenza a compressione del calcestruzzo
- $c_{a1}$  – distanza dal bordo nella direzione del carico
- $c_{a2}$  – distanza dal bordo nella direzione perpendicolare al carico

Se  $c_{a2} \leq 1.5 c_{a1}$  e  $h_a \leq 1.5 c_{a1}$ ,  $c_{a1} = \max\left(\frac{c_{a2}}{1.5}, \frac{h_a}{1.5}, \frac{s}{3}\right)$ , dove  $s$  è la spaziatura massima perpendicolare alla direzione di sollecitazione di taglio, tra gli ancoraggi all'interno di un gruppo.

Secondo ACI 318-14 – 17-5.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con ACI 318-14 – 25 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di taglio e la forza di rottura del calcestruzzo non venga valutata.

### 5.7.7 Forza di sfilamento del calcestruzzo di un ancoraggio soggetto a taglio

La forza di sfilamento del calcestruzzo è definita in accordo a ACI 318-14 – 17.5.3.

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cp}$$

dove:

- $\phi = 0.65$  – fattore di riduzione della resistenza per ancoraggi in taglio secondo ACI 318-14 – 17.3.3, editabile in Code setup
- $k_{cp} = 1.0$  per  $h_{ef} < 2.5$  in.,  $k_{cp} = 2.0$  per  $h_{ef} \geq 2.5$  in
- $N_{cp} = N_{cb}$  (tensione di rottura del calcestruzzo - tutte gli ancoraggi sono assunti tesi) in caso di ancoraggi in opera

Secondo ACI 318-14 – 17.4.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con ACI 318-14 – 25 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di tensione e che la forza di rottura del calcestruzzo non venga valutata.

### 5.7.8 Interazione delle forze di trazione e taglio

L'interazione delle forze di trazione e taglio sono valutate secondo ACI 318-14 – R17.6.

$$\left(\frac{N_{ua}}{N_n}\right)^\zeta + \left(\frac{V_{ua}}{V_n}\right)^\zeta \leq 1.0$$

dove:

- $N_{ua}$  e  $V_{ua}$  – forze di progetto che agiscono su un ancoraggio



- $N_n$  e  $V_n$  – le resistenze di progetto più basse determinate da tutte le modalità di rottura appropriate
- $\zeta = 5 / 3$

### 5.7.9 5.6.3 Ancoraggi con gioco

La barra è progettata in accordo alla AISC 360-16. L'interazione della forza di taglio è trascurata perché la lunghezza minima dell'ancoraggio per adattarsi al dado sotto la piastra di base assicura che l'ancoraggio non arrivi a rottura per flessione prima che la forza di taglio raggiunga la metà della resistenza a taglio e l'interazione di taglio è trascurabile (fino al 7 %). L'interazione del momento flettente e delle forze di compressione o di trazione è assunta come lineare a vantaggio di sicurezza. Gli effetti di secondo ordine non sono presi in considerazione.

#### Resistenza a taglio (AISC 360-16 – G):

$$V_n = \frac{0.6 \cdot A_v \cdot F_y}{\Omega_v} \quad (\text{ASD})$$

$$V_n = \phi_v \cdot 0.6 \cdot A_v \cdot F_y \quad (\text{LRFD})$$

- $A_v = 0,844 \cdot A_s$  – area di taglio,
- $A_s$  – area del bullone ridotta della filettatura,
- $F_y$  – resistenza allo snervamento del bullone,
- $\Omega_v$  – coefficiente di sicurezza, il valore consigliato è 1.67,
- $\phi_v$  – coefficiente di resistenza, il valore consigliato è 0.9.

#### Resistenza a trazione (AISC 360-16 – D2):

$$P_n = \frac{A_s \cdot F_y}{\Omega_t} \quad (\text{ASD})$$

$$P_n = \phi_t \cdot A_s \cdot F_y \quad (\text{LRFD})$$

- $\Omega_t$  – coefficiente di sicurezza, il valore consigliato è 1.67,
- $\phi_t$  – coefficiente di resistenza, il valore consigliato è 0.9.

#### Resistenza a compressione (AISC 360-16 – E3)

$$P_n = \frac{F_{cr} \cdot A_s}{\Omega_c} \quad (\text{ASD})$$

$$P_n = \phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_s \quad (\text{LRFD})$$

- $F_{cr} = 0.658^{F_y/E} \cdot F_y$  per  $\frac{L_c}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ,  $F_{cr} = 0.877 \cdot F_y$  per  $\frac{L_c}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  – tensione critica,
- $F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2}$  – tensione elastica di buckling,
- $L_c = 2l$  – lunghezza di inflessione,
- $l$  – lunghezza dell'elemento bullone uguale a metà spessore della piastra di base + gap + metà diametro del bullone.
- $r = \sqrt{\frac{I}{A_s}}$  – raggio di rotazione del bullone,



- $I = \frac{\pi d_s^4}{64}$  – momento di inerzia del bullone,
- $\Omega_c$  – coefficiente di sicurezza, il valore consigliato è 1.67,
- $\phi_c$  – coefficiente di resistenza, il valore consigliato è 0.9.

### Resistenza a flessione (AISC 360-16 – F11):

$$M_n = \frac{ZF_y}{\Omega_b} \leq \frac{1.6S_x F_y}{\Omega_b} \quad (\text{ASD})$$

$$M_n = \phi_b ZF_y \leq \phi_b 1.6S_x F_y \quad (\text{LRFD})$$

- $Z = \frac{d_s^3}{6}$  – modulo di resistenza plastico del bullone,
- $S_x = \frac{2 \cdot I}{d_s}$  – modulo di resistenza plastico del bullone,
- $\Omega_b$  – coefficiente di sicurezza, il valore consigliato è 1.67,
- $\phi_b$  – coefficiente di resistenza, il valore consigliato è 0.9.

### Interazione lineare:

$$\frac{N}{P_n} + \frac{M}{M_n} \leq 1$$

- $N$  – sforzo fattorizzato di trazione (positivo) o di compressione (segno negativo),
- $P_n$  – tensione di progetto o ammissibile di trazione (positivo) o di compressione (segno negativo),
- $M$  – momento flettente fattorizzato,
- $M_n$  – resistenza a flessione di progetto o ammissibile.

## 5.8 Verifica della capacità dell'elemento

La verifica della capacità dell'elemento viene eseguita secondo la AISC 341-10

$$M_{pe} = 1.1 R_y F_y Z_x$$

dove:

- $M_{pe}$  – momento previsto in corrispondenza della cerniera plastica
- $R_y$  – rapporto tra tensione di snervamento atteso in corrispondenza dello snervamento minimo specificato (Tabella A3.1)
- $F_y$  – tensione di snervamento
- $Z_x$  – modulo di resistenza plastico.

## 5.9 Dettagli costruttivi

Viene verificata la spaziatura minima tra i **bulloni** e la distanza dal centro del bullone a un bordo di una parte collegata. La distanza minima di 2.66 volte (modificabile in Code setup) il diametro nominale del bullone tra i centri dei bulloni è verificato secondo AISC 360-16 – J.3.3. La distanza minima dal centro del bullone a un bordo di una parte collegata viene controllata in base a AISC 360-16 – J.3.4; i valori sono in Tabella J3.4 e J3.4M.

Vengono verificate le dimensioni minime e massime della **saldatura** e la lunghezza sufficiente della saldatura.

La dimensione massima della saldatura è verificata in base a AISC 360-16 – J2.2b:

- Per spessore del piatto più sottile fino a  $3/16$  in. la dimensione della saldatura non deve essere maggiore dello spessore della piastra.
- Per spessore del piatto più sottile superiore a  $3/16$  in e più piccolo di  $1/4$  in la dimensione della saldatura non dovrebbe essere più grande di  $3/16$  in.
- Per spessore del piatto maggiore di  $1/4$  nella dimensione della saldatura non dovrebbe essere più grande di  $1/4-1/16$  in.

La dimensione minima della saldatura è controllata in base alla tabella J2.4:

- Per spessore del piatto più sottile fino a  $1/4$  la dimensione della saldatura dovrebbe essere superiore o uguale a  $1/8$  in.
- Per spessore del piatto maggiore da  $1/4$  a  $1/2$  la dimensione della saldatura dovrebbe essere superiore o uguale a  $3/16$  in.
- Per spessore del piatto maggiore da  $1/2$  a  $3/4$  la dimensione della saldatura dovrebbe essere superiore o uguale a  $1/4$  in.
- Per spessore del piatto maggiore di  $3/4$  la dimensione della saldatura dovrebbe essere superiore o uguale a  $5/16$  in.

La lunghezza minima delle saldature riempite non deve essere inferiore a quattro volte la dimensione della saldatura secondo J2.2b (c).

La distanza tra gli **ancoraggi** dovrebbe essere maggiore di 4 volte il diametro dell'ancora secondo ACI 318-14 – 17.7.1..



## 6 Verificare delle componenti secondo CISC

Piastre

Saldature

Bulloni

Calcestruzzo in compressione

Trasferimento del taglio

Ancoraggio

Member capacity design

Dettagli costruttivi

Il metodo CBFEM combina i vantaggi del metodo generale agli elementi finiti (FEM) e il metodo standard delle componenti (CM). Le tensioni e le forze interne calcolate col modello CBFEM vengono quindi usate nelle verifiche di tutte le componenti.

Le componenti sono progettate secondo Canadian standard (Canadian Institute of Steel Construction, CISC) S16-14 Design of steel structures and CSA A23.3 Design of concrete structures.

### 6.1 Piastre

La tensione equivalente (Huber-Mises-Hencky – HMH, von Mises) e la deformazione plastica vengono calcolate sulle piastre. Il modello elasto-plastico del materiale viene utilizzato per le piastre in acciaio. Viene eseguita la verifica della deformazione plastica equivalente. Il valore limite del 5% è suggerito dall'Eurocodice (EN 1993-1-5, app. C, par. C8, note 1), questo valore può però essere modificato dall'utente nella finestra Impostazione codice.

L'elemento piastra è diviso in 5 layers e il comportamento elastico/plastico viene indagato in ciascuno di essi. Il riepilogo dell'output elenca la verifica più critica tra tutti e 5 i layers.

### 6.2 Saldature

#### 6.2.1 Saldature riempite

La resistenza per taglio diretto e trazione o compressione o taglio indotto da compressione è progettata secondo S16-14 – 13.13.2.2. Plastic redistribution in weld material is applied in Finite Element Modelling.

$$V_r = 0.67\phi_w A_w X_u (1 + 0.5 \sin^{1.5}\theta) M_w$$

dove:

- $\phi_w = 0.67$  – fattore di resistenza per il metallo della saldatura, modificabile in Impostazione codice
- $A_w$  – area della gola efficace della saldatura
- $X_u$  – resistenza ultima come valutato mediante il numero di classificazione dell'elettrodo

- $\theta$  – angolo tra l'asse del segmento della saldatura e la linea di azione della forza applicata (ad es.,  $0^\circ$  per la saldatura longitudinale e  $90^\circ$  per la saldatura trasversale)
- $M_w = \frac{0.85+\theta_1/600}{0.85+\theta_2/600}$  – fattore di riduzione della tensione per saldatura cordone d'angolo multiorientate; uguale a 1.0 in IDEA e la resistenza di saldature multiorientate è determinata dall'analisi agli elementi finiti dove è valutato l'elemento più sollecitato
- $\theta_1$  – l'orientamento del segmento di saldatura in esame
- $\theta_2$  – l'orientamento del segmento di saldatura nel giunto che è più vicino a  $90^\circ$

Capacità del metallo di base sulla faccia di fusione:

$$V_r = 0.67\phi_w A_m F_u$$

dove:

- $A_m = zL$  – l'area del lato di fusione
- $z$  – la dimensione della gola della saldatura
- $L$  – la lunghezza della saldatura
- $F_u$  – la resistenza alla trazione specificata

### 6.2.2 CJP Saldature a completa penetrazione

La resistenza delle saldature a completa penetrazione (Complete Joint Penetration, CJP) è assunta uguale a quella del metallo di base.

## 6.3 Bulloni

### 6.3.1 Resistenza a trazione dei bulloni

La resistenza a trazione di un bullone è valutata secondo la clausola 13.12.1.3 come

$$T_r = 0.75 \phi_b A_b F_u$$

dove:

- $\phi_b = 0.8$  – il fattore di resistenza per i bulloni
- $A_b$  – l'area della sezione trasversale di un bullone basata sul suo diametro nominale
- $F_u$  – resistenza alla trazione minima specificata per un bullone

### 6.3.2 Resistenza a taglio dei bulloni

La resistenza a taglio di un bullone è valutata secondo Cl. 13.12.1.2. Ogni piano di taglio del bullone è controllato separatamente. Viene considerato come

$$V_r = 0.6 \phi_b A_b F_u$$

dove:

- $\phi_b = 0.8$  – il fattore di resistenza per i bulloni

- $A_b$  – l'area della sezione trasversale di un bullone basata sul suo diametro nominale
- $F_u$  – resistenza alla trazione minima specificata per un bullone

Quando le filettature del bullone sono intercettate da un piano di taglio, la resistenza a taglio è considerata come  $0.7V_r$ .

### 6.3.3 Taglio e trazione combinato nella connessione di tipo portante

La resistenza di un bullone caricato da tensioni combinate e taglio è valutata secondo la Cl. 13.12.1.4 come

$$\left(\frac{V_f}{V_r}\right)^2 + \left(\frac{T_f}{T_r}\right)^2 \leq 1$$

dove:

- $V_f$  e  $T_f$  sono gli sforzi di taglio e trazione di progetto agente rispettivamente sul bullone
- $V_r$  e  $T_r$  sono le resistenze di taglio e trazione di progetto agente rispettivamente sul bullone.

### 6.3.4 Resistenza a rifollamento nei fori dei bulloni

La resistenza sviluppata nei bulloni in un giunto bullonato, soggetta a taglio e trazione è valutata secondo la Cl. 13.12.1.2 come

$$B_r = 3 \phi_{br} t d F_u \quad \text{per fori regolari}$$

$$B_r = 2.4 \phi_{br} t d F_u \quad \text{per fori asolati caricati ortogonalmente a tali fori}$$

dove:

- $\phi_{br} = 0.8$  – il fattore di resistenza per bearigine dei bulloni sull'acciaio
- $t$  – lo spessore più sottile delle piastre collegate
- $d$  – il diametro del bullone
- $F_u$  – la resistenza a trazione del materiale collegato.

### 6.3.5 Strappo del foro del bullone

La resistenza a strappo del foro del bullone è verificata per un singoli bulloni secondo Cl. 13.11 come:

$$T_r = \phi_u 0.6 A_{gv} \frac{F_y + F_u}{2}$$

dove:

- $\phi_u = 0.75$  – il fattore di resistenza per l'acciaio strutturale
- $A_{gv} = l t$  – l'area lorda in taglio
- $F_y$  – la tensione di snervamento del materiale connesso
- $F_u$  – la tensione di trazione del material connesso tensile
- $l$  – la distanza dalla linea centrale del bullone al bordo nella direzione della forza di taglio

- $t$  – lo spessore del materiale collegato

Per classi di acciaio con  $F_y > 460$  MPa,  $(F_y + F_u)/2$  deve essere sostituito con  $F_y$  nella determinazione di  $T_r$ .

### 6.3.6 Bulloni in connessioni ad attrito

La resistenza ad attrito di unioni bullonate è valutato secondo la clausola 13.12.2 come

$$V_s = 0.53 c_s k_s A_b F_u$$

dove:

- $c_s$  – coefficiente determinato secondo  $k_s$  e classe del bullone:
 

per $k_s < 0.52$	classe A	$c_s = 1.00$ (A325) o $0.92$ (A490) o $0.78$ (altri)
per $k_s \geq 0.52$	classe B	$c_s = 1.04$ (A325) o $0.96$ (A490) o $0.81$ (altri)
- $k_s$  – coefficiente di attrito modificabile in Impostazioni codice che dovrebbe essere impostato in base alla Tabella 3 nella S16-14, uguale a 0.3 per classi A o 0.52 per classi B
- $A_b$  – l'area della sezione di un bullone in base al suo diametro nominale
- $F_u$  – la resistenza a trazione minima specificata per un bullone

Quando i fori asolati vengono utilizzati in connessioni soggette a slittamento critico per,  $V_s = 0.75 \cdot 0.53 c_s k_s A_b F_u$ .

Un bullone sottoposto a trazione e taglio deve soddisfare la seguente relazione

$$\frac{V_f}{V_s} + \frac{1.9 T}{A_b F_u} \leq 1$$

dove:

- $V_f$  e  $T_f$  sono rispettivamente la forza di taglio e di trazione di progetto che agisce sul bullone

La Cl. 13.12.2 afferma che devono essere verificate le resistenze della connessione come specificato nella Cl. 13.12.1. L'utente dovrebbe quindi controllare lo stato dopo lo scorrimento, cioè cambiare il trasferimento della forza di taglio dei bulloni da "Friction" a "Bearing - interazione di trazione e taglio".



## 6.4 Calcestruzzo in compressione

La resistenza a compressione del calcestruzzo è determinata in accordo con S16-14 – 25.3.1 e CSA A23.3 – 10.8. Quando la superficie supportata del calcestruzzo è più grande della piastra di base, la resistenza portante di progetto è definita come

$$f_{p(max)} = 0.85\phi_c f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7\phi_c f'_c$$

dove:

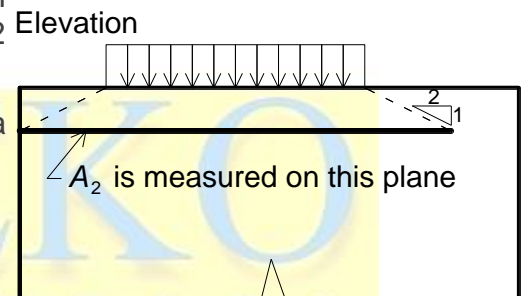
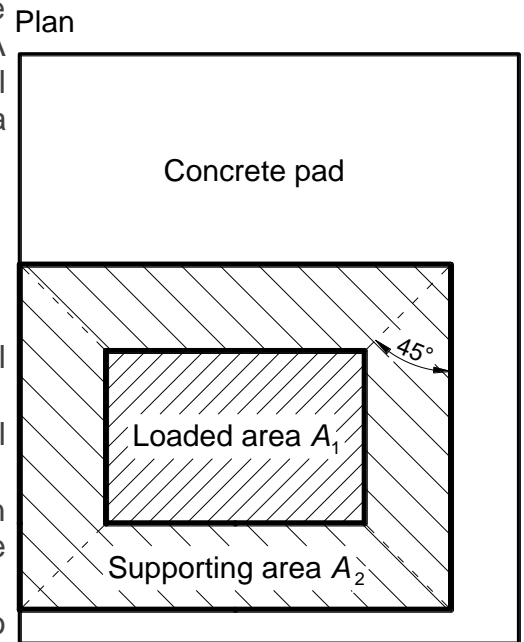
- $\phi_c=0.65$  – fattore di resistenza per il calcestruzzo
- $f'_c$  – la resistenza a compressione del calcestruzzo
- $A_1$  – area della piastra di base a contatto con la superficie del calcestruzzo (superficie superiore del tronco)
- $A_2$  – superficie di appoggio in calcestruzzo (area inferiore geometricamente simile del tronco con le sue pendenze da 1 verticale a 2 orizzontale)

La valutazione del calcestruzzo portante è la seguente:

$$\sigma \leq f_{p(max)}$$

dove:

- $\sigma$  – è lo sforzo di compressione medio sotto la piastra di base.



## 6.5 Tasferimento del taglio

Le forze di taglio possono essere trasferite tramite una delle tre opzioni:

- Ferro a taglio,
- Attrito,
- Ancoraggi.

### 6.5.1 Ferro a taglio

Il taglio è trasferito solo tramite il ferro a taglio. Il calcestruzzo non viene verificato nel software e deve essere verificato dall'utente in altro modo. Il ferro a taglio e le saldature vengono controllate utilizzando il FEM e le componenti della saldatura.

### 6.5.2 Attrito

In caso di forze di compressione, le sollecitazioni di taglio possono essere trasferite tramite attrito tra lo strato di calcestruzzo e la piastra di base. Il coefficiente di attrito è modificabile in Impostazione codice.

### 6.5.3 Bulloni di ancoraggi

Se il taglio viene trasferito solo tramite bulloni di ancoraggio, la forza di taglio che agisce su ciascun ancoraggio è determinata dal FEA e i bulloni di ancoraggio sono valutati secondo ACI 318-14 come descritto nei seguenti capitoli.

## 6.6 Ancoraggi

Le barre di ancoraggio sono progettate secondo A23.3-14 – Annesso D. Vengono valutate le seguenti resistenze dei bulloni di ancoraggio:

- Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio  $N_{sar}$ ,
- Resistenza di estrazione del cono di calcestruzzo a trazione  $N_{cbr}$ ,
- Resistenza a sfilamento del calcestruzzo  $N_{pr}$ ,
- Resistenza a rottura della superficie laterale del blocco di calcestruzzo  $N_{sbr}$ ,
- Resistenza a taglio dell'acciaio dell'ancoraggio  $V_{sar}$ ,
- Forza di estrazione del cono di calcestruzzo a taglio  $V_{cbr}$ ,
- Resistenza a scalzamento del calcestruzzo dell'ancoraggio a taglio  $V_{cpr}$ .

Il calcestruzzo è considerato fessurato. Il tipo di ancoraggi (in opera con rondella circolare o rettangolare, o dritti) è selezionato dall'utente, la forza di sfilamento e la rottura della superficie laterale del calcestruzzo è verificata solo per gli ancorati con testa.

### 6.6.1 Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio

La resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio è determinato secondo CSA A23.3-14 – D.6.1 come

$$N_{sar} = A_{se,N} \phi_s f_{uta} R$$

dove:

- $\phi_s = 0.85$  – fattore di resistenza del materiale di rinforzo
- $A_{se,N}$  – area della sezione effettiva dell'ancoraggio in trazione
- $f_{uta} \leq \min(860 \text{ MPa}, 1.9 f_{ya})$  – tensione di trazione specificata per l'acciaio dell'ancoraggio
- $f_{ya}$  – tensione di snervamento specificata per l'ancoraggio
- $R = 0.8$  – fattore di modifica della resistenza come specificato in CSA A23.3.-14 – D.5.3

### 6.6.2 Forza di estrazione del cono di calcestruzzo dell'ancoraggio in trazione

La forza di estrazione del cono di calcestruzzo è progettata secondo (CCD) in CSA A23.3-14 – D.6.2. Il cono di calcestruzzo è considerato formato approssimativamente da un angolo di  $34^\circ$  (pendenza verticale da 1 a 1.5 orizzontale). Per semplificazione, il cono è considerato quadrato anziché rotondo in piano. La forza di estrazione nel metodo CCD è considerata in diminuzione con un aumento delle dimensioni della superficie di rottura.

$$N_{cbrg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nc0}} \psi_{ed,N} \psi_{ec,N} \psi_{c,N} N_{br}$$

dove:

- $A_{Nc}$  – area effettiva del cono di rottura del calcestruzzo per un gruppo di ancoraggi che creano un cono di calcestruzzo comune
- $A_{Nco} = 9 h_{ef}^2$  – area del cono di rottura del calcestruzzo per ancoraggio singolo non influenzato dai bordi
- $\psi_{ed,N} = \min(0.7 + \frac{0.3c_{a,min}}{1.5h_{ef}}, 1)$  – fattore di modifica per la distanza dal bordo
- $c_{a,min}$  – distanza minima dell'ancoraggio al bordo
- $h_{ef}$  – profondità di infissione; in accordo a A23.3-14 – D.6.2.3, l'effettiva profondità di infissione  $h_{ef}$  è ridotta a  $h_{ef} = \max(\frac{c_{a,min}}{1.5}, \frac{s}{3})$  se gli ancoraggi si trovano a meno di  $1.5 h_{ef}$  da tre o più bordi
- $\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}}$  – fattore di modifica per gruppi di ancoraggi caricati eccentricamente
- $e'_N$  – eccentricità del carico di trazione rispetto al centro di gravità degli ancoraggi caricati dalla trazione e creazione di un cono di calcestruzzo comune
- $\psi_{c,N}$  – fattore di modifica per condizioni del calcestruzzo ( $\psi_{c,N} = 1$  per calcestruzzo fessurato)
- $N_{br} = k_c \phi_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} R$  – resistenza di rottura del calcestruzzo di base di un singolo ancoraggio in tensione nel calcestruzzo fessurato; per ancoraggi in opera e  $275 \text{ mm} \leq h_{ef} \leq 625 \text{ mm}$ ,  $N_{br} = 3.9 \phi_c \lambda_a \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} R$
- $\phi_c = 0.65$  – fattore di resistenza per il calcestruzzo
- $k_c = 10$  per ancoraggi in opera
- $s$  – distanza tra gli ancoraggi
- $c_{a,max}$  – distanza massima da un ancoraggio a uno dei tre bordi vicini
- $\lambda_a = 1$  – fattore di modifica per calcestruzzo leggero
- $f'_c$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo [MPa]
- $R = 1$  – resistance modification factor as specified in CSA A23.3 – D.5.3

Secondo A23.3-14 – D.6.2.8, in caso di ancoraggi con testa, la superficie proiettata  $A_{Nc}$  è determinata dal perimetro effettivo della rondella, che è il valore minore di  $d_a + 2 t_{wp}$  o  $d_{wp}$ , dove:

- $d_a$  – diametro dell'ancoraggio
- $d_{wp}$  – diametro della rondella o dimensione del bordo
- $t_{wp}$  – spessore della rondella

Il gruppo di ancoraggi è verificato contro la somma delle forze di trazione in ancoraggi caricati in trazione e creando un cono di calcestruzzo comune.

Secondo CSA A23.3-14 – D.6.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con la Cl. 12 of A23.3-14 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di trazione e che la forza di rottura del calcestruzzo non venga valutata (può essere impostata in Impostazione codice).

### 6.6.3 Forza di estrazione del calcestruzzo di un ancoraggio in trazione

La forza di estrazione del calcestruzzo di un'ancoraggio con testa è definita in CSA A23.3-14 – D.6.3 come

$$N_{cpr} = \Psi_{c,P} N_{pr}$$

dove:

- $\Psi_{c,N}$  – fattore di modifica per condizioni del calcestruzzo ( $\Psi_{c,N} = 1$  per calcestruzzo fessurato)
- $N_{pr} = 8 A_{brg} \phi_c f'_c R$  per ancoraggio con testa
- $A_{brg}$  – bearing area of the head of stud or anchor bolt
- $\phi_c = 0.65$  – fattore di resistenza per il calcestruzzo
- $d_a$  – diametro dell'ancoraggio
- $f'_c$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo
- $R = 1$  – fattore di modifica della resistenza come specificato in CSA A23.3 – D.5.3

La forza di estrazione del calcestruzzo per altri tipi di ancoraggi rispetto a quello con testa, non viene valutato nel software e deve essere specificato dal produttore.

### 6.6.4 Forza di rottura del bordo di calcestruzzo

La forza di rottura del bordo di calcestruzzo di un ancorante con testa soggetto a trazione è definito in CSA A23.3-14 – D.6.4 come:

$$N_{sbr} = 13.3 c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \phi_c \lambda_a \sqrt{f'_c} R$$

Se  $c_{a2}$  per il singolo ancoraggio caricato a trazione è inferiore a  $3 c_{a1}$ , il valore di  $N_{sbr}$  viene moltiplicato per il fattore  $0.5 \leq \frac{1+c_{a2}}{4 c_{a1}} \leq 1$ .

Un gruppo di ancoraggio con testa con profondità di infissione in prossimità di un bordo ( $h_{ef} > 2.5c_{a1}$ ) e distanza tra gli ancoraggi a meno di  $6c_{a1}$  ha:

$$N_{sbr} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sbr}$$

Viene applicato un solo fattore di riduzione alla volta, dove:

- $c_{a1}$  – la distanza più breve da un dispositivo di ancoraggio ad un bordo
- $c_{a2}$  – la distanza maggiore,  $6c_{a1}$  a  $c_{a1}$ , da un ancoraggio ad un bordo
- $A_{brg}$  – area portante a bearing area of the head of stud or anchor bolt
- $\phi_c$  – fattore di resistenza per il calcestruzzo modificabile in Impostazione codice
- $f'_c$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo
- $h_{ef}$  – profondità di infissione; secondo A23.3-14 – D.6.2.3, la lunghezza di ancoraggio efficace  $h_{ef}$  è ridotta a  $h_{ef} = \max\left(\frac{c_{a,max}}{1.5}, \frac{s}{3}\right)$  se l'ancoraggio si trova a meno di  $5 h_{ef}$  da tre o più bordi
- $s$  – distanza tra gli ancoraggi
- $R = 1$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo specificato in CSA A23.3 – D.5.3

### 6.6.5 Resistenza dell'acciaio dell'ancoraggio a taglio

La resistenza dell'acciaio a taglio è determinata secondo A23.3 – D.7.1 come

$$V_{sar} = A_{se,v} \phi_s 0.6 f_{uta} R$$

dove:

- $\phi_s = 0.85$  – fattore di resistenza dell'acciaio del rinforzo
- $A_{se,v}$  – area efficace di un ancoraggio soggetto a taglio
- $f_{uta}$  – resistenza alla trazione specificata per acciaio di ancoraggio ma non superiore a quella minore di specified tensile strength of anchor steel but not greater than the smaller of  $1.9 f_{ya}$  or 860 MPa
- $R = 0.75$  – fattore di modifica della resistenza come specificato in CSA A23.3 – D.5.3

Se il giunto di malta è selezionato, la resistenza a taglio dell'acciaio  $V_{sa}$  è moltiplicato per 0.8 (A23.3 –D.7.1.3).

Il taglio sul braccio di leva, che è presente nel caso di piastra di base con fori sovradimensionati e rondelle o piastre aggiunte alla sommità della piastra di base per trasmettere la forza di taglio, non è considerata.

### 6.6.6 resistenza di rottura del calcestruzzo di un ancoraggio a taglio

La resistenza di rottura del calcestruzzo di un ancoraggio a taglio è progettata secondo A23.3 -D.7.2. Si presume che la forza di taglio agente su una piastra di base sia trasferita dagli ancoraggi che sono più vicini al bordo nella direzione della forza di taglio. La direzione della forza di taglio rispetto al bordo in calcestruzzo influisce sulla resistenza di rottura del calcestruzzo secondo il Bollettino FIB 58 - Progettazione di ancoraggi in calcestruzzo - Guida alle buone pratiche (2011). Se i coni in calcestruzzo degli ancoraggi si sovrappongono, creano un cono di calcestruzzo comune. Anche l'eccentricità in taglio è presa in considerazione

$$V_{cbr} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \psi_{ec,v} \psi_{ed,v} \psi_{c,v} \psi_{h,v} \psi_{\alpha,v} V_{br}$$

dove:

- $A_{vc}$  – area di rottura proiettata del calcestruzzo di un ancoraggio o di un gruppo di ancoraggi divisi da un numero di ancoraggi di questo gruppo
- $A_{vco} = 4.5(c_{a1})^2$  – area di rottura proiettata del calcestruzzo di un ancoraggio quando non è limitata da un angolo di influenza, distanza o spessore dell'elemento
- $\psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_v}{3c_{a1}}}$  – fattore di modifica per gruppi di ancoraggi caricati eccentricamente a taglio
- $\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5 c_{a1}} \leq 1.0$  – fattore di modifica per effetto del bordo
- $\psi_{c,v}$  – fattore di modifica per la condizione di calcestruzzo;  $\psi_{c,v} = 1$  per calcestruzzo fessurato
- $\psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1.5c_{a1}}{h_a}} \geq 1$  – fattore di modifica per ancoraggi posizionati in un blocco di calcestruzzo dove  $h_a < 1.5 c_{a1}$



- $\psi_{\alpha,V} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_V)^2 + (0.5 \sin \alpha_V)^2}}$  – coefficiente di modifica per ancoraggi caricati con un angolo con il bordo di calcestruzzo (FIB Bulletin 58 – Design of anchorages in concrete – Guide to good practice, 2011)
- $h_a$  – altezza di una superficie di rottura sul lato del calcestruzzo
- $V_b = \min\left(0.58 \left(\frac{l_c}{d_a}\right)^{0.2} \sqrt{d_a} \phi_c \lambda_a \sqrt{f'_c} c_{a1}^{1.5} R, 3.75 \lambda_a \phi_c \sqrt{f'_c} c_{a1}^{1.5} R\right)$
- $l_e = h_{ef} \leq 8 d_a$  – lunghezza portante dell'ancoraggio soggetto a taglio
- $d_a$  – diametro dell'ancoraggio
- $f'_c$  – resistenza a compressione del calcestruzzo
- $c_{a1}$  – distanza dal bordo nella direzione del carico
- $c_{a2}$  – distanza dal bordo nella direzione perpendicolare al carico
- $\phi_c = 0.65$  – fattore di resistenza per il calcestruzzo
- $R = 1$  – resistenza alla compressione del calcestruzzo specificato in CSA A23.3 – D.5.3

Se  $c_{a2} \leq 1.5 c_{a1}$  e  $h_a \leq 1.5 c_{a1}$ ,  $c_{a1} = \max\left(\frac{c_{a2}}{1.5}, \frac{h_a}{1.5}, \frac{s}{3}\right)$ , dove  $s$  è la spaziatura massima perpendicolare alla direzione di sollecitazione di taglio, tra gli ancoraggi all'interno di un gruppo.

Secondo A23.3-14 – D.7.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con ACI 318-14 – 25 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di taglio e la forza di rottura del calcestruzzo non venga valutata.

### 6.6.7 Forza di sfilamento del calcestruzzo di un ancoraggio soggetto a taglio

La forza di sfilamento del calcestruzzo è definita in accordo a A23.3 – D.7.3.

$$V_{cpr} = k_{cp} N_{cpr}$$

dove:

- $k_{cp} = 1.0$  per  $h_{ef} < 65$  mm,  $k_{cp} = 2.0$  per  $h_{ef} \geq 65$  mm
- $N_{cpr}$  – tensione di rottura del calcestruzzo - tutte gli ancoraggi sono assunti tesi

Secondo CSA A23.3-14 – D.6.2.9, dove il rinforzo dell'ancoraggio è sviluppato in conformità con ACI 318-14 – 25 su entrambi i lati della superficie di rottura, si presume che il rinforzo dell'ancoraggio trasferisca le forze di tensione e che la forza di rottura del calcestruzzo non venga valutata (può essere impostato in Impostazione codice).

### 6.6.8 Interazione delle forze di trazione e taglio

L'interazione delle forze di trazione e taglio sono valutate secondo A23.3 – Figure D.18.

$$\left(\frac{N_f}{N_r}\right)^{5/3} + \left(\frac{V_f}{r}\right)^{5/3} \leq 1.0$$

dove:

- $N_f$  e  $V_f$  – carichi di progetto che agiscono su un ancoraggio



- $N_r$  e  $V_r$  – le resistenze di progetto più basse determinate da tutte le modalità di rottura appropriate

### 6.6.9 Ancoraggi con gioco

L'ancoraggio con stand-off è concepito come una barra caricata da forza di taglio, momento flettente e forza di compressione o trazione. Queste forze interne sono determinate dal modello ad elementi finiti. L'ancoraggio è fissato su entrambi i lati, un lato è  $0.5 \times d$  sotto il livello del calcestruzzo, l'altro lato è nel mezzo dello spessore del piatto. La lunghezza di instabilità è ipoteticamente assunta come il doppio della lunghezza dell'elemento a barra. È utilizzato il modulo di sezione plastica. L'elemento barra è progettato secondo S16-14. L'interazione della forza di taglio è trascurata perché la lunghezza minima dell'ancoraggio per adattarsi al dado sotto la piastra di base assicura che l'ancoraggio non arrivi a rottura per flessione prima che la forza di taglio raggiunga la metà della resistenza a taglio e l'interazione di taglio è trascurabile (fino al 7 %). L'interazione del momento flettente e delle forze di compressione o di trazione è assunta come lineare a vantaggio di sicurezza. Gli effetti di secondo ordine non sono presi in considerazione.

**Resistenza a taglio** (CSA S16-14 – 13.4.4):

$$V_r = \phi \cdot 0.66 \cdot A_v \cdot F_y$$

- $A_v = 0.844 \cdot A_s$  – area di taglio
- $A_s$  – area del bullone ridotta della filettatura
- $F_y$  – resistenza allo snervamento del bullone
- $\phi$  – coefficiente di resistenza, il valore consigliato è 0.9

**Resistenza a trazione** (CSA S16-14 – 13.2)

$$T_r = \phi \cdot A_s \cdot F_y$$

**Resistenza a compressione** (CSA S16-14 – 13.3.1)

$$C_r = \frac{\phi A_s F_y}{(1 + \lambda^{2n})^{\frac{1}{n}}}$$

- $\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$  – snellezza del bullone di ancoraggio
- $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$  – tensione elastica di buckling
- $KL = 2 \cdot l$  – lunghezza di inflessione
- $l$  – lunghezza dell'elemento bullone uguale a metà spessore della piastra di base + gap + metà diametro del bullone.
- $r = \sqrt{\frac{I}{A_s}}$  – raggio di rotazione del bullone di ancoraggio
- $I = \frac{\pi d_s^4}{64}$  – momento di inerzia del bullone
- $n = 1.34$  – parametro per resistenza a compressione

**Resistenza a flessione (CSA S16-14 – 13.5):**

$$M_r = \phi \cdot Z \cdot F_y$$

$Z = d_s^3 / 6$  – modulo di resistenza plastico del bullone

**Interazione lineare:**

$$\frac{N}{C_r} + \frac{M}{M_r} \leq 1 \text{ per forza normale di compressione}$$

$$\frac{N}{T_r} + \frac{M}{M_r} \leq 1 \text{ per forza normale di trazione}$$

- $N$  – sforzo fattorizzato di trazione (positivo) o di compressione (segno negativo)
- $C_r$  – resistenza a compressione fattorizzata (segno negativo)
- $T_r$  – resistenza a trazione fattorizzata (segno positivo)
- $M$  – momento flettente fattorizzato
- $M_r$  – momento resistente fattorizzato

**6.7 Member capacity design**

Member capacity design viene eseguito secondo S16-14 – Cl. 27:

$$R_d \cdot R_o = 1.3$$

dove:

- $R_d$  – il fattore di modifica della forza relativo alla duttilità che riflette la capacità di una struttura di dissipare energia attraverso il comportamento anelastico
- $R_o$  – il fattore di modifica della forza legato alla sovraresistenza che rappresenta la parte affidabile della forza di riserva in una struttura

**6.8 Dettagli costruttivi**

Nei dettagli costruttivi dei bulloni **bolted connections**, il passo minimo e la distanza minima dal bordo sono controllati in base a S16-14 – 22.3. Sono verificati il passo minimo ( $2.7 d$  – modificabile nell'impostazione del codice) e distanza minima dal bordo ( $1.25 d$ ).

La distanza tra gli ancoraggi dovrebbe essere maggiore di 4 volte il diametro dell'ancoraggio secondo A23.3-14 – D.9.2.

## Riferimenti

- A23.3-14, *Design of concrete structures*, CSA Group, 2014, revised in December 2015, 291 p.
- ACI 318-14, *Building Code Requirements for Structural Concrete* and ACI 318R-14, *Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete*, ACI, 2014, 524 p.
- ANSI/AISC 341-10, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, AISC, Chicago, 2010, 402 p.
- ANSI/AISC 360-16, *An American National Standard – Specification for Structural Steel Buildings*, AISC, Chicago, 2016, 676 p.
- Beg D., Zupančič E., Vayas I., On the rotation capacity of moment connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 60 (3–5), 2004, 601–620.
- Dvorkin E. N., Bathe K. J., Continue A., Mechanics Based Four Node Shell Element for General Nonlinear Analysis, *Engineering Computations*, 1, 1984.
- EN 1992-1-1, Eurocode 2, *Design of concrete structures, Part 1-1, General rules and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2005.
- EN 1993-1-5, Eurocode 3, *Design of steel structures, Part 1-5, Plated Structural Elements*, CEN, Brussels, 2005.
- EN 1993-1-6, Eurocode 3, *Design of steel structures, Part 1-6, Strength and Stability of Shell Structures*, CEN, Brussels, 2007.
- EN 1993-1-8, Eurocode 3, *Design of steel structures, Part 1-8, Design of joints*, CEN, Brussels, 2006.
- EN 1998-1, Eurocode 8, *Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, Seismic actions and rules for buildings*, CEN, Brussels, 2004.
- ETAG 001, *Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete – Annex C: Design Methods for Anchorages*, Brussels, EOTA, 2010.
- Faella C, Piluso V, Rizzano G., Plastic deformation capacity of bolted T-stubs: theoretical analysis and testing, in *Moment resistant connections of steel frames in seismic area, design and reliability*, E&FN Spon. 2000.
- FIB bulletin 58 – *Design of anchorages in concrete – Guide to good practice*. Lausanne: Fédération Internationale du Béton fib / International Federation for Structural Concrete, 2011. ISBN 978-2-88394-098-7
- Foley C.M., Vinnakota S., Toward design office moment–rotation curves for end-plate beam-to-column connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 35, 1995, 217–53.
- Gioncu V., Mazzolani F., *Ductility of seismic resistant steel structures*, Spon Press; 2002.
- Girao A.M.C., Bijlaard F.S.K., da Silva L.S., Experimental assessment of the ductility of extended end plate connections, *Journal of Engineering Structures*, 26, 2004, 1185–1206.
- Gödrich L., Wald F., Sokol Z., Advanced modelling of end plate, in *Eurosteel 2014*, Brussels, ECCS, 2014, 287-288.
- Grecea D., Stratan A., Ciutina A., Dubina D., Rotation capacity of the beam-to-column joints under cyclic loading, in *Connections in Steel Structures V*, Amsterdam, 2004.

Ibrahimbegovic A., Taylor R.L., Wilson E. L., A robust quadrilateral membrane element with drilling degrees of freedom, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 30/3, 1990, 445-457.

ISO 898-1, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel, Part 1, Bolts, screws and studs with specified, property classes, Coarse thread and fine pitch thread*, Geneva, 2009.

Kuhlmann U., Kuhnemund F., *Rotation capacity of steel joints, Verification Procedure and Component Tests*, 2000.

S16-14, *Design of steel structures*, CSA Group, 2014, revised in October 2015, 216 p.

Sherbourne A.N, Bahaari M.R., 3D simulation of end-plate bolted connections, *Journal of Structural Engineering*, 120, 1994, 3122–3136.

Sherbourne A.N., Bahaari M.R., Simulation of bolted connections to unstiffened columns T-stub connections, *Journal of Constructional Steel Research*, 40, 1996, 169–87.

VDI2230 *Systematic calculation of high duty bolted joints – Joints with one cylindrical bolt*, Association of German Engineers, Berlin, 2003.

Virdi K. S. et al, *Numerical Simulation of Semi Rigid Connections by the Finite Element Method*, Report of Working Group 6 Numerical, Simulation COST C1, Brussels Luxembourg, 1999.

Wald F., Sokol Z., Moal M., Mazura V., Muzeau J. P., Stiffness of cover plate connections with slotted holes, in *Eurosteel 2002*, Coimbra, 2002, 1007-1016



# 1 Table of Contents

<b>Background teorico</b> .....	<b>1</b>
<b>Generale</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Introduzione</b> .....	<b>3</b>
Metodo delle componenti.....	3
<b>2 Componenti CBFEM</b> .....	<b>5</b>
2.1 Modello del materiale.....	7
2.2 Modello del Plate e convergenza della mesh.....	9
2.2.1 Modello del plate.....	9
2.2.2 Convergenza della mesh .....	9
2.3 Contatti .....	12
2.4 Saldature .....	14
2.4.1 Ridistribuzione plastica delle tensioni nelle saldature .....	14
2.5 Bulloni.....	15
2.6 Bulloni precaricati .....	17
2.7 Ancoraggi.....	18
2.7.1 4.5.1 Ancoraggi con gioco (stand-off) .....	19
2.8 Blocco di calcestruzzo .....	20
2.8.1 Modello di progetto .....	20
2.8.2 Rigidezza di deformazione.....	20
<b>3 Analisi</b> .....	<b>22</b>
3.1 Modello di analisi .....	22
3.2 Elemento portante e supporti.....	23
3.3 Equilibrio del nodo .....	25
3.4 Carichi .....	26
3.4.1 Importazione dei carichi da programmi FEA.....	32
3.5 Analisi dello sforzo.....	32
3.6 Analisi di rigidezza .....	33
3.7 Verifica della capacità dell'elemento.....	37
3.8 Verifica della resistenza del nodo .....	38
3.9 Analisi di stabilità .....	39
3.10 Capacità di deformazione .....	41
<b>4 Verifica delle componenti secondo Eurocodice</b> .....	<b>43</b>
4.1 Piastre .....	43
4.2 Saldature .....	44

4.2.1 Saldature a cordone d'angolo .....	44
4.2.2 Saldature di testa .....	45
4.3 Bulloni .....	45
4.4 Bulloni precaricati .....	46
4.5 Ancoraggi .....	47
4.5.1 Ancoraggi con gioco (stand-off) .....	50
4.6 Blocco di calcestruzzo .....	51
4.6.1 4.6.1 Sensibilità della mesh .....	53
4.7 Taglio nel blocco di calcestruzzo .....	54
4.8 Verifica della capacità dell'elemento .....	56
4.9 Analisi di stabilità .....	56
4.10 Capacità di deformazione .....	58
4.11 Dettagli costruttivi .....	59
<b>5 Check of components according to AISC .....</b>	<b>60</b>
5.1 Piastre .....	60
5.2 Saldature .....	61
5.2.1 Saldature a cordone d'angolo .....	61
5.2.2 Saldature a scanalatura CJP .....	63
5.3 Bulloni .....	63
5.3.1 Forza di trazione e taglio dei bulloni .....	63
5.3.2 5.3.2 Trazione e taglio combinato in una connessione di tipo portante	63
5.3.3 Forza di rifollamento nei fori dei bulloni .....	63
5.4 Bulloni precaricati .....	64
5.5 Calcestruzzo in compressione .....	64
5.6 Trasferimento del taglio .....	65
5.6.1 Ferro a taglio .....	65
5.6.2 Attrito .....	66
5.6.3 Bulloni di ancoraggio .....	67
5.7 Ancoraggi .....	67
5.7.1 Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio .....	67
5.7.2 Concrete breakout strength .....	67
5.7.3 Forza di estrazione del calcestruzzo .....	69
5.7.4 Forza di rottura del bordo di calcestruzzo .....	69
5.7.5 Resistenza dell'acciaio a taglio .....	70
5.7.6 Forza di estrazione del calcestruzzo di un ancoraggio a taglio ....	70
5.7.7 Forza di sfilamento del calcestruzzo di un ancoraggio soggetto a taglio	71



5.7.8 Interazione delle forze di trazione e taglio .....	71
5.7.9 5.6.3 Ancoraggi con gioco .....	72
5.8 Verifica della capacità dell'elemento .....	73
5.9 Dettagli costruttivi .....	73
<b>6 Verificare delle componenti secondo CISC.....</b>	<b>75</b>
6.1 Piastre .....	75
6.2 Saldature .....	75
6.2.1 Saldature riempite.....	75
6.3.2 Resistenza a taglio dei bulloni .....	76
6.3.3 Taglio e trazione combinato nella connessione di tipo portante... 77	
6.3.4 Resistenza a rifollamento nei fori dei bulloni.....	77
6.3.5 Strappo del foro del bullone .....	77
6.3.6 Bulloni in connessioni ad attrito .....	78
6.4 <b>Calcestruzzo</b> in compressione.....	79
6.5 Trasferimento del taglio .....	79
6.5.1 Ferro a taglio.....	79
6.5.2 Attrito .....	79
6.5.3 Bulloni di ancoraggi .....	80
6.6 Ancoraggi.....	80
6.6.1 Resistenza a trazione dell'acciaio dell'ancoraggio .....	80
6.6.2 Forza di estrazione del cono di calcestruzzo dell'ancoraggio in trazione 80	
6.6.5 Resistenza dell'acciaio dell'ancoraggio a taglio .....	83
6.6.6 resistenza di rottura del calcestruzzo di un ancoraggio a taglio... 83	
6.6.7 Forza di sfilamento del calcestruzzo di un ancoraggio soggetto a taglio 84	
6.6.8 Interazione delle forze di trazione e taglio .....	84
6.6.9 Ancoraggi con gioco .....	85
6.7 Member capacity design .....	86
6.8 Dettagli costruttivi .....	86
<b>Riferimenti.....</b>	<b>87</b>