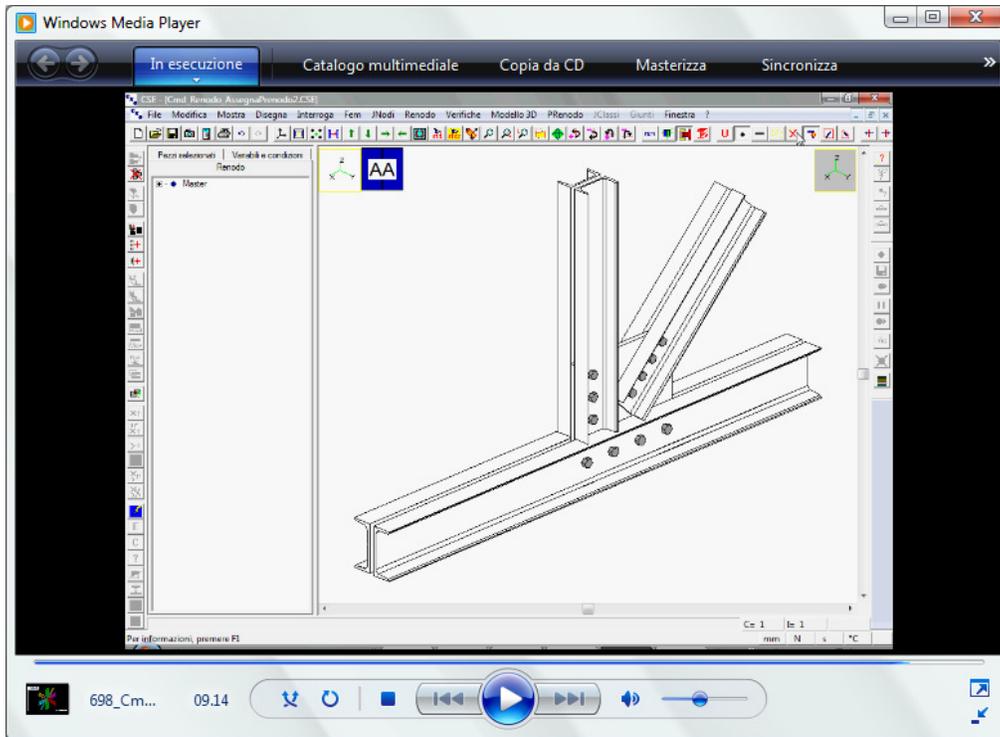


# CSE – CONNECTION STUDY ENVIRONMENT

## TESTI DELLE LEZIONI MULTIMEDIALI



<http://www.castaliaweb.com> - <http://www.steelchecks.com>

Via Pinturicchio, 24

20133 Milan - Italy

[info@castaliaweb.com](mailto:info@castaliaweb.com)

Copyright © 2000-2012 – Castalia s.r.l.

Rev.2 Gennaio 2012 – Versione 4.43 di CSE



Le lezioni multimediali di CSE sono scaricabili gratuitamente al seguente indirizzo internet:

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

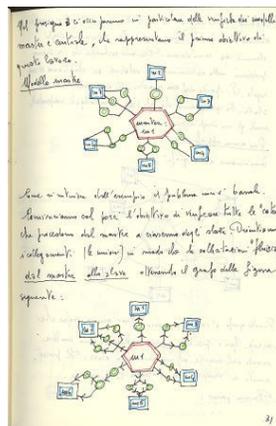
Si tenga presente che possono essere presenti delle differenze, generalmente trascurabili, tra i filmati multimediali e il documento con i testi disponibili, perché i filmati e il documento pdf possono non essere stati aggiornati nello stesso momento. In caso di differenze sulle funzionalità, si prenda come riferimento la guida del programma, che è sempre aggiornata all'ultima versione rilasciata.



## 001 PANORAMICA: Progetto CSE

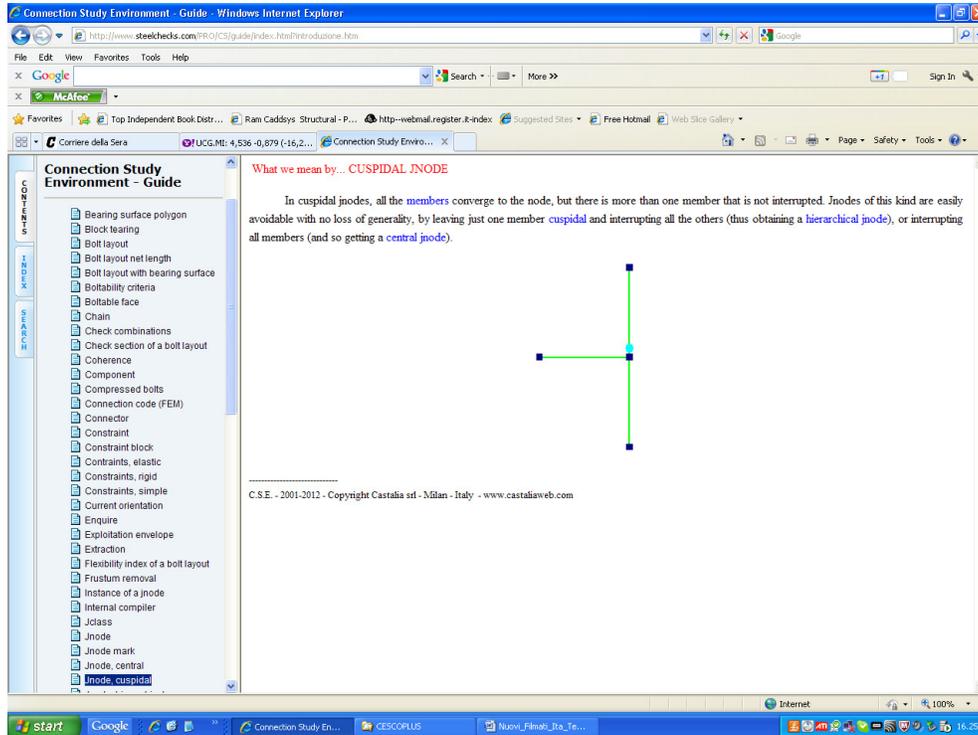
CSE è un software dedicato al calcolo ed al progetto delle connessioni degli elementi strutturali. Sebbene al momento esso tratti soltanto connessioni di elementi in acciaio, esso è anche generalizzabile al calcolo di collegamenti tra elementi in legno o in altro materiale. E' probabile che nei prossimi anni una delle direzioni di sviluppo del programma sarà il suo ampliamento ai collegamenti tra elementi in altro materiale.

Il calcolo di verifica ed il progetto delle connessioni è un ambito **molto complesso e molto poco automatizzato** data la **estrema** complessità e generalità delle problematiche che coinvolge. CSE è nato per essere uno strumento di ampia generalità dedicato allo scopo di progettare e verificare connessioni, ed ha dunque affrontato problemi molto difficili in modo innovativo.

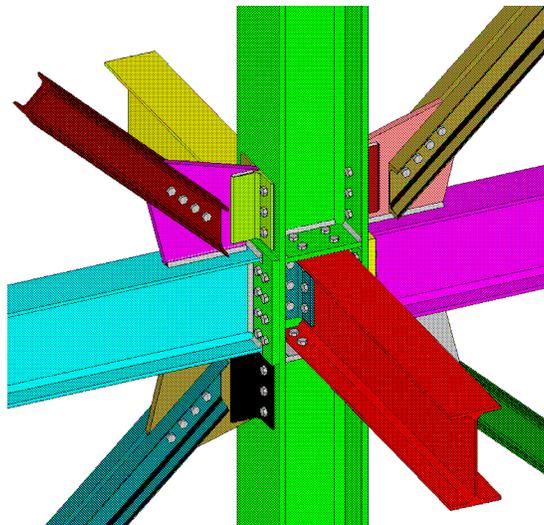


CSE è un progetto che ha richiesto anni ed anni di ricerca e sviluppo, ed è stato condotto seguendo metodologie di approccio del tutto originali. Nato come strumento diretto agli specialisti, dal 2012 dispone di una versione semplificata e limitata (detta LIGHT) che si rivolge anche a progettisti meno esperti.

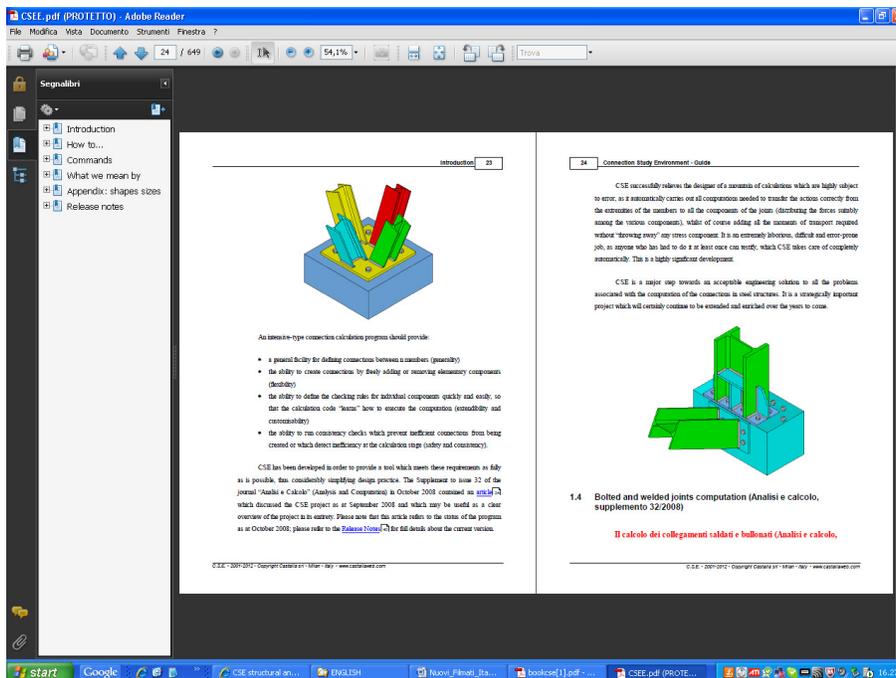
Il progetto prevede ulteriori ampliamenti (ad esempio alle connessioni tra elementi in legno) e si ritiene che esso proseguirà nei prossimi lustri, ampliando il suo già ampio raggio di azione, con il fine di trattare collegamenti sempre più complessi in modo sempre più rapido, sicuro e completo.



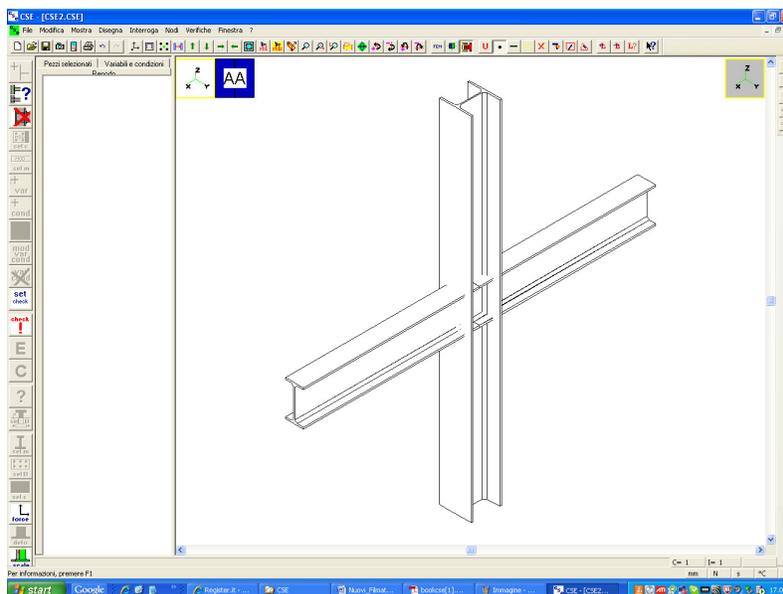
Lo studio dei collegamenti ha richiesto la soluzione di numerosi problemi non descritti in letteratura ed anche la introduzione di una specifica terminologia, che è opportuno apprendere se si vuole usare propriamente il programma.



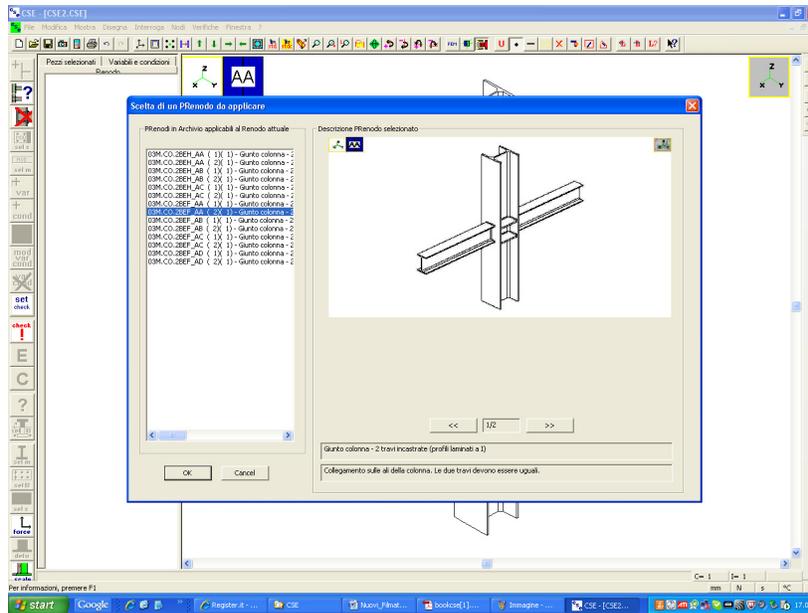
La principale difficoltà di sviluppo del programma, ed anche il suo maggior merito, è **la generalità** con la quale si è voluto affrontare il problema dei collegamenti, normalmente affrontato per famiglie di collegamenti elementari simili (**ricette di cucina**). Invece, CSE cerca di affrontare anche collegamenti complessi e inediti per mezzo di metodologie di analisi di tipo generale.



Per queste ragioni, nella sua versione FULL, esso è uno strumento **unico** per gli specialisti di strutture in acciaio di tutto il mondo. Infatti CSE è dotato di una interfaccia in inglese, oltre a quella in italiano, e di una vastissima documentazione, anche multimediale, in entrambe le lingue, che consentono ad ogni esperto, in ogni angolo del globo, di avvalersi del lavoro di ricerca e sviluppo compiuto su CSE.



La versione LIGHT, per la sua completezza e generalità, ma anche per la maggior facilità d'uso rispetto alla versione FULL, è diretta a progettisti junior e senior che abbiano frequentemente a che fare con nodi tipici (o tipizzabili).



Dato che la versione LIGHT utilizza una biblioteca di collegamenti tipici, e dato che la versione FULL è in grado di ampliare questa biblioteca, è possibile creare archivi personalizzati per un certo utente, al fine di rendere rapida ed efficiente la fase di studio e calcolo dei collegamenti stessi.

Ad oggi, dopo molti anni di lavoro, si può considerare CSE come uno dei più avanzati e generali strumenti di studio e analisi dei collegamenti presenti al mondo.

## 006 PANORAMICA: Nodoteca (aggiornata a gennaio 2012)

In questo filmato vengono mostrati i \_\_\_ nodi parametrici disponibili nella versione 4.43 di CSE, rilasciata nel gennaio del 2012.

Poiché la nodoteca viene periodicamente ampliata, al momento della visione di questo filmato potrebbero essere disponibili più nodi di quelli mostrati qui.

Verrà ora aperto l'archivio e tutti i nodi presenti saranno visualizzati. Tali nodi sono parametrizzati, e l'utente può modificarne i parametri durante l'applicazione. Si ricorda inoltre che gli utenti della versione FULL possono salvare nuovi nodi nell'archivio, registrando la costruzione libera dei nodi desiderati.

## 007 PANORAMICA: Creazione di un nodo con la versione Light

In questo filmato vedremo la creazione di un nodo utilizzando la versione LIGHT di CSE. Questo nodo sarà costruito dapprima creando un modellino FEM che descrive la topologia delle aste e il modo in cui sono orientate, e poi – pescando da una nodoteca – andremo a costruire automaticamente il nodo scegliendo tra le possibili soluzioni disponibili.

Con il comando di aggiunta delle strutture tipiche selezioniamo, tra i vari schemi disponibili, un semplice giunto trave-colonna. La membratura numero 1, rossa, è la colonna; la membratura numero 2, nera, è la trave.

Assegniamo alle due membrature un materiale, ad esempio S275.

Scegliamo dall'archivio un profilo di tipo HEB ad esempio 200, e lo assegniamo alla membratura numero 1, che è la colonna. Torniamo nell'archivio e selezioniamo un profilo di tipo IPE, ad esempio 220 e lo assegniamo alla membratura numero 2, che è la trave.

Lasciamo come asse l'asse forte e NON introduciamo una cerniera all'estremo della trave. Sarà quindi un nodo di incastro.

Premiamo OK. Ci viene chiesto di salvare il modello, dopodiché viene creato un nodo tridimensionale su cui potremo andare a lavorare. Al momento questo nodo non è costruito. Per farlo, nella versione LIGHT andiamo a scorrere l'archivio per vedere quali nodi predefiniti si adattano a questa tipologia.

Nella versione del programma utilizzata per questo filmato sono disponibili 7 diversi nodi selezionati dal programma in quanto applicabili al nostro nodo. Vediamo le diverse soluzioni. Trattandosi di un incastro, scegliamo un nodo con costole di irrigidimento.

Scorriamo tra le immagini per vedere come verrà costruito il nodo. Premiamo il tasto OK.

Viene ora mostrata la lista delle operazioni che consentiranno di costruire automaticamente il nodo. In una prima fase premiamo OK e diciamo al programma di costruire il nodo con i parametri predefiniti.

Ci vengono dati dei messaggi per informarci che ci sono cordoni di saldatura con una sezione di gola troppo piccola.

Il nodo a questo punto è stato costruito. Se però, per qualche ragione, il risultato non è di nostro gradimento, ad esempio perché vogliamo che questa piastra sia più spessa, possiamo azzerare il nodo, riapplicare la macro e chiedere di modificare i parametri desiderati in tempo reale, durante la costruzione.

Per poter modificare la piastra, dobbiamo sapere il suo nome. Un modo per farlo è quello di attivare il pannello “pezzi selezionati”, deselezionare tutti i pezzi e selezionare la piastra che ci interessa. La piastra si chiama P1, e attualmente ha uno spessore di 10mm.

Azzeriamo il nodo per tornare all’inizio e riappliciamo il nodo predefinito.

Ora, nella lista delle operazioni, togliamo la spunta corrispondente all’aggiunta della piastra P1, per dire che vogliamo modificare i parametri di quel piatto.

Quella mostrata, e la parametrizzazione impostata per questa piastra. Lo spessore, in particolare, è definito in funzione dello spessore della flangia della membratura 2 (m2.tf). Questa formula ha dato luogo ai 10mm che abbiamo visto prima. Possiamo modificare la formula aggiungendo, dei termini moltiplicativi o additivi, oppure digitare un numero, ad esempio 11, che è lo spessore che vogliamo.

Premiamo OK e la costruzione del nodo viene completata, con una piastra di spessore maggiorato. vediamo infatti che ora la piastra P1 ha uno spessore di 11mm.

Scegliendo un nodo già parametrizzato, possiamo comunque andare a modificare i suoi parametri in modo da costruire i nodi come li vogliamo, data la tipologia che è stata scelta.

A questo punto siamo pronti per eseguire le verifiche. In primo luogo dovremo decidere se le impostazioni predefinite per la verifica degli elementi fanno al caso nostro.

Ad esempio, selezioniamo solo la piastra P1 e modifichiamola con il bottone Sel C, che sta per componente selezionato. Vediamo che, ad esempio, per questa piastra non è prevista la modellazione FEM automatica. Ora lasciamo queste impostazioni e andiamo a occuparci delle impostazioni generali di verifica.

È impostato l'Eurocodice ed è disponibile una serie di scelte sulle verifiche che vogliamo o non vogliamo che vengano eseguite.

In questa sezione, invece, si definiscono le combinazioni con le azioni interne da utilizzare per la verifica del nodo.

Con la versione LIGHT possiamo introdurre le combinazioni sotto forma di tabella incollando delle combinazioni da tabelle Excel oppure introducendo manualmente i dati. oppure possiamo scegliere di usare una opportuna frazione dei limiti elastici o plastici delle membrature. Scegliamo questa modalità e selezioniamo la membratura 2, che è quella che ci interessa.

Diciamo che non vogliamo calcolarla a compressione, non vogliamo calcolarla a trazione, il taglio lo vogliamo pari a 0,3 volte il limite elastico, lungo entrambi gli assi principali; non c'è torsione, il momento attorno all'asse forte è 0,3 volte il limite elastico e non c'è momento attorno all'asse debole.

Quello scelto è solo uno dei modi per definire le combinazioni di verifica. Salviamo le impostazioni.

Andiamo ora a eseguire le verifiche.

Al termine delle verifiche viene aperto il tabulato con i risultati, che non verrà spiegato in questa sede.

Andiamo a visualizzare una mappa a colori degli sfruttamenti che ci dice quali componenti sono verificati e quali no. In questo caso, tutti i componenti sono verificati.

Se andiamo a interrogare lo sfruttamento della saldatura, in basso nella barra di stato vediamo che questo cordone ha uno sfruttamento massimo di 0.956, a causa della verifica di resistenza, nella combinazione 26. Come risulterà chiaro consultando la documentazione, tale combinazione corrisponde al taglio perpendicolare all'anima nella trave orizzontale.

Possiamo assumere come accettabili questi risultati, oppure possiamo modificare la saldatura per aumentare il margine di sicurezza, utilizzando il comando visto prima.

Nell'immagine vediamo tutti i cordoni, possiamo selezionare in verde quello desiderato, scorrendo con le frecce e possiamo variarne lo spessore e quindi la sua sezione di gola.

Rieseguendo le verifiche potremo valutare la variazione nei risultati.

Come abbiamo visto, abbiamo costruito e verificato questo nodo rapidamente, con pochi click.

Qui abbiamo visto solo la mappa a colori con l'involuppo degli sfruttamenti; si rimanda alle lezioni dedicate per la spiegazione dettagliata di tutti gli strumenti per la visualizzazione e l'interrogazione dei risultati.

## 008 PANORAMICA: Registrazione e riassegnazione prenodo

Vedremo in questo filmato come si può creare un nodo parametrico, salvandolo nell'archivio e applicandolo successivamente a nodi simili, ma che hanno magari dimensioni del profilo diverse.

Iniziamo col creare una struttura tipica di un giunto a terra con una colonna incernierata.

Scegliamo come materiale, ad esempio, l'S275 e come sezione un'HEB, ad esempio 400. Assegniamo questo profilo alla membratura 1, che è l'unica presente in questo nodo.

Premiamo OK e ci viene chiesto di salvare il modello. Quindi, ci viene chiesta una impostazione preliminare delle verifiche, che modificheremo in seguito. Per ora lasciamo i valori predefiniti. Ci viene chiesto se vogliamo aggiungere un nuovo nodo: diciamo di no.

Il nodo tridimensionale è stato creato, e presenta al momento solo la membratura. A questo punto è possibile costruire normalmente il nodo, in modo manuale o in modo automatico, ma ciò che vogliamo fare ora è costruire il nodo memorizzandolo in forma parametrica, per aggiungerlo all'archivio e poterlo applicare in seguito. Per fare ciò, si usa il comando di aggiunta di un nuovo P-renodo.

Nel dialogo che viene aperto definiamo il nome del prenodo, ad esempio "Prova", il prefisso da usare per le immagini associate, una descrizione del nodo, ad esempio "nodo a terra, solo taglio e blanda compressione"; e infine una spiegazione.

Premiamo OK e possiamo iniziare a costruire il nodo.

Il fatto che siamo in modalità di registrazione è visibile dal fatto che sono attivi il comando di salvataggio del nodo parametrico, il comando di pausa, quello per l'aggiunta delle immagini e quello per abortire la registrazione.

Incominciamo ad aggiungere una piastra di base.

Le dimensioni della piastra saranno:  $m1.b$ , che è la base della forma sezionale della membratura numero 1, più 200 millimetri. l'altezza sarà  $m1.h$  più 200 millimetri.

Per lo spessore, anziché digitare direttamente la formula usiamo una creazione guidata.

Nella lista con tutte le variabili disponibili abbiamo anche  $m1.tf$ , cioè lo spessore della flangia della membratura  $m1$ . Se facciamo doppio click, la variabile viene aggiunta nella casella superiore, che definisce una formula.

In questa casella potremmo anche definire un numero, ad esempio 12mm oppure, come visto prima, una formula che varia in base alle dimensioni del profilo. Visto che si tratta di un nodo a cerniera, definiamo ad esempio lo spessore della piastra pari a 0,8 volte lo spessore della flangia della membratura. / Se vogliamo arrotondare all'intero superiore scriviamo "cei", che sta per *ceiling*, e poniamo il valore tra parentesi. . In questo modo avremo un numero arrotondato all'intero superiore, rispetto a 0,8 volte lo spessore della flangia della membratura 1. Introduciamo la formula e salviamo i parametri della piastra.

Nel dialogo successivo, orientiamo la piastra allineando il suo lato lungo con l'altezza del profilo e scegliamo come punto di inserimento il centro della faccia superiore.

Premiamo il tasto OK e andiamo a posizionare la piastra nel punto che ci interessa, cioè al centro del profilo. Il clak che si sente testimonia l'assenza di compenetrazioni e la tangenza tra i pezzi.

Aggiungiamo sotto questa piastra un blocco vincolo, Definiamo i parametri sempre in funzione della membratura. Ad esempio  $m1.b*3$ ,  $m1.h*3$  ed  $m1.h*3$ .

Ruotiamo il blocco in modo da allinearlo e inseriamolo. Facciamo coincidere il punto superiore centrale del blocco con il punto inferiore centrale della piastra.

Aggiungiamo ora una bullonatura che colleghi la piastra al blocco vincolo.

Selezioniamo la faccia superiore della piastra e si apre questo dialogo. In questo momento non è il caso di spiegare tutte le funzionalità del dialogo, che consente di parametrizzare la bullonatura. Vediamo però come aggiungere rapidamente una bullonatura parametrica.

Invece di utilizzare le formule di proporzionamento automatico, definiamo un numero fisso di righe e colonne, ad esempio 2 e 2. La bullonatura avrà sempre due righe per due colonne.

Come interasse tra le righe definiamo ad esempio P1.h-100 e come interasse tra le colonne P1.b-100. In questo modo, la distanza tra le righe della bullonatura è pari all'altezza della piastra, P1.h, meno 100 millimetri. Siccome la bullonatura è centrata, avremo 50 millimetri per parte.

Per quanto riguarda il resto, non definiamo offset del baricentro, quindi la bullonatura resta centrata, e andiamo a definire le modalità di funzionamento e verifica della bullonatura.

Questa bullonatura lavorerà prevalentemente a compressione e a taglio, però potranno esserci dei piccoli momenti di trasporto che genereranno delle piccole flessioni sulla bullonatura.

Togliamo la spunta “bulloni solo a taglio”; Non abbiamo però il bisogno di utilizzare un contrasto sul blocco vincolo per sostenere una flessione, in quanto la flessione non c'è. La compressione è blanda e quindi potrà essere calcolata anche assegnandola al gambo dei tirafondi.

Se invece avessimo voluto utilizzare il blocco vincolo come contrasto, allora avremmo dovuto attivare questa opzione definendo la legge costitutiva non lineare di tipo no tension del supporto, nonché la superficie di contrasto.

In questo caso ci limitiamo a utilizzare i bulloni nel modo più semplice, sfruttando la capacità di resistenza a compressione e alla blanda flessione della bullonatura in sé, mentre ci interessa la capacità del gambo dei bulloni di resistere al taglio. Premiamo OK per applicare la bullonatura.

Aggiungiamo infine una saldatura tra la colonna e la piastra. Selezioniamo la faccia terminale della membratura. In questo dialogo abbiamo la possibilità di parametrizzare liberamente la saldatura mediante una serie di comandi e funzionalità; poiché in questo caso abbiamo un profilo standard a I, chiediamo al programma di aggiungere automaticamente una parametrizzazione di saldatura che normalmente va bene. I cordoni d'anima sono relazionati allo spessore del piatto d'anima, quelli sulle ali sono relazionati allo spessore del piatto d'ala. Premiamo il tasto OK per aggiungere la saldatura.

Da un punto di vista geometrico, abbiamo ultimato la creazione del nodo. Potremmo ora andare a definire le modalità di verifica più dettagliatamente, ma lasciamo questo aspetto ad altre lezioni.

Quello che ci interessa ora è l'aggiunta di qualche immagine a questo nodo parametrico, in modo che in futuro si sappia che tipo di nodo si sta applicando.

Aggiungiamo una prima immagine salvando la schermata corrente il nome del file jpeg ci viene proposto in automatico in base al prefisso scelto all'inizio. Salviamo l'immagine. Mettiamoci in una vista dall'alto e aggiungiamo anche questa immagine.

Le immagini salvate sono state associate al nodo parametrico, così che in seguito potremo vedere come il nodo è stato fatto. Salviamo il nodo parametrico nell'archivio.

Apriamo l'archivio per verificare che il nodo parametrico sia stato aggiunto correttamente.

Scorriamo tra i nodi disponibili, che al momento della realizzazione di questo filmato, gennaio 2012, sono circa 170. Alla fine della lista c'è il nodo "prova" che abbiamo appena salvato. Le due immagini che abbiamo aggiunto sono ora disponibili.

Le immagini possono essere viste direttamente in paint nella loro dimensione originale ed eventualmente possono essere modificate con l'aggiunta di scritte o altre informazioni utili.

Vediamo ora come si comporta il nodo parametrico che abbiamo salvato quando andiamo ad applicarlo a una colonna con profilo diverso dall'HEB 400. Apriamo un nuovo modello. Come in precedenza, definiamo un giunto a terra. Scegliamo un materiale diverso, ad esempio S235, una colonna di forma diversa *[click]* ad esempio HEB 160 *[applica]* a otteniamo il nodo desiderato.

Applichiamo un nodo predefinito. CSE ci presenta solo i nodi predefiniti compatibili, e tra essi c'è anche quello che abbiamo salvato in precedenza, chiamato "prova". Assegniamolo. In questa lista sono riportate tutte le operazioni che verranno eseguite automaticamente per costruire il nodo. Se lo si desidera, è possibile rimuovere le spunte per modificare i parametri di una o più operazioni. Ora applichiamo il nodo così com'è stato salvato.

Il nodo è stato costruito automaticamente, secondo la nostra precedente parametrizzazione. Ora non dobbiamo fare altro che impostare le verifiche. Lasciamo l'Eurocodice, e diciamo che vogliamo per esempio calcolare il nodo con i limiti elastici della membratura, con una compressione pari a 0,3 volte il limite elastico, nessuna trazione, un taglio V2 e un taglio V3 pari a 0,2 volte i corrispondenti limiti elastici, nessuna torsione e nessun momento flettente in entrambe le direzioni.

In questo caso le frazioni si riferiscono ai limiti elastici. È anche possibile utilizzare i limiti plastici, oppure dei valori definiti per le azioni, introducendo l'entità di forze e coppie. È possibile importare delle combinazioni da una tabella e, se il modello FEM è stato importato, possiamo utilizzare le combinazioni di verifica del modello FEM, con le azioni interne calcolate.

Lasciamo le altre impostazioni invariate e salviamo le impostazioni.

Eseguiamo le verifiche.

Al termine delle verifiche viene aperto il tabulato, non descritto in questo filmato.

Visualizziamo l'involuppo degli sfruttamenti e vediamo che il nostro collegamento è verificato.

Abbiamo altresì verificato che il nodo parametrico precedentemente registrato usando un profilo HEB 400 si è adattato in maniera automatica anche a un profilo di tipo diverso.

## 010 TOUR – Da FEM – Fasi iniziali

Abbiamo realizzato un modello agli elementi finiti di una struttura in acciaio con uno dei programmi interfacciati con CSE. In questo caso si tratta di Sargon; si consulti la guida del programma per conoscere gli interfacciamento disponibili.

Il modello ha casi di carico e combinazioni di verifica. È stato risolto con un'analisi statica lineare e dispone dei risultati di post-processing. Inoltre, gli elementi finiti sono stati verificati a resistenza e stabilità con il verificatore automatico di Sargon in accordo all'Eurocodice 3 parte 1-1.

La struttura risulta totalmente verificata; possiamo quindi passare il modello a CSE per lo studio dei collegamenti.

Sargon dispone di un comando che esegue direttamente CSE e importa automaticamente il modello. Ora però apriremo CSE e illustreremo l'importazione da lì. Scegliamo la versione FULL del programma.

Partendo da un nuovo progetto, importiamo il modello FEM. Ora importeremo il modello Sargon appena visto, che ha estensione *wsr*. Analogamente si può importare un file da SAP2000 in formato *sdb* o un modello di qualsiasi programma FEM che supporta il formato libero di scambio con estensione *sr3*.

Abbiamo in CSE lo stesso modello visto in Sargon, con tutte informazioni sulla geometria, sugli elementi finiti, sulle proprietà e sulle connessioni. Il modello conserva anche le azioni interne in tutti gli elementi finiti, in tutte le combinazioni di verifica. Tali azioni potranno essere usate per la verifica dei collegamenti.

Dalla vista FEM, passiamo alla vista *jnodi* che contiene un modello unifilare in cui sono presenti le membrature al posto degli elementi finiti. Le membrature, che sono state riconosciute automaticamente durante l'importazione, possono essere composte da più elementi finiti. CSE riconosce infatti le interruzioni “fisiche” degli elementi, scartando i nodi non strutturali utilizzati per la modellazione.

Eseguiamo ora la ricerca dei *jnodi*. Un *jnodo* è l'anello intermedio tra il nodo del modello FEM e il nodo tridimensionale completo di bulloni, saldature, piastre, angolari, ecc. Il *jnodo* ha tutte le informazioni relative alle membrature affluenti, alle sezioni e ai materiali, alle orientazioni, agli svincoli e alle gerarchie tra le membrature. La descrizione dei *jnodi* verrà fatta dettagliatamente in lezioni dedicate.

Il comando **Jnodi – Cerca** lancia la ricerca automatica dei *Jnodi*. In questa struttura sono stati trovati 21 *jnodi* diversi, che possono ripetersi più volte. Viene richiesta una definizione preliminare delle impostazioni di verifica, che non tratteremo in questa sede. Limitiamoci ora a impostare l'Eurocodice 3 come normativa di riferimento, e a indicare come azioni di verifica quelle derivanti dalle combinazioni del modello FEM importato.

Ogni *jnodo* ha una marca e un colore diverso. Se un *jnodo* si presenta più volte nella struttura, si parla di **istanze** diverse dello stesso *jnodo*. Sarà sufficiente costruire un solo nodo reale associato a un *jnodo*, e CSE lo verificherà in tutte le combinazioni e in tutte le istanze. Selezionando un'istanza di un *jnodo*, si selezionano tutte le istanze.

Con il comando **Jnodi-Edita** è possibile avere accesso a tutte le informazioni relative ai *jnodi*, compreso l'involuppo delle azioni interne. Non entreremo ora nel dettaglio di questi dialoghi, descritti in lezioni dedicate.

Le stesse informazioni possono essere stampate in un tabulato.

Selezionando un *jnodo* alla volta, è possibile passare alla vista del nodo reale associato, alla sua costruzione e alla sua verifica.

I filmati successivi mostrano alcuni esempi di costruzione dei nodi di questa struttura.

## 011 TOUR - Piastra di base

In questo filmato vedremo come realizzare un semplice collegamento a terra con piastra di base nella struttura vista nel filmato precedente, in cui sono state mostrate l'importazione di un modello FEM nella versione FULL di CSE e la ricerca dei jnodi.

Il jnodo AH, che verrà qui considerato, è un semplice collegamento a terra di una colonna.

Passiamo alla vista del nodo reale, o *renodo*, associato al *jnodo* AI, che è l'unico correntemente selezionato. Il jnodo si presenta più volte nella struttura, ma sarà sufficiente costruire e verificare un solo renodo associato.

È inizialmente presente solo la membratura, non collegata a nulla. Possiamo costruire *manualmente* il nodo reale aggiungendo *liberamente* i componenti necessari, oppure possiamo assegnare *automaticamente* uno dei nodi predefiniti compatibili, se disponibili nell'archivio. Vediamo ora brevemente l'assegnazione di un nodo predefinito, che si effettua con il comando **Assegna prenodo**.

In questo dialogo vengono presentati solo i nodi predefiniti applicabili al nodo corrente. Senza entrare nel dettaglio di questa funzionalità, scegliamo l'ultimo collegamento.

Viene mostrata una lista con tutte le operazioni che verranno compiute automaticamente per costruire il nodo corrente in funzione del nodo predefinito scelto. I nodi predefiniti sono parametrizzati, adattandosi a dimensioni diverse di nodi simili. È possibile modificare i parametri desiderati durante l'assegnazione; in questo caso, applichiamo il nodo predefinito senza modifiche. il nodo corrente è stato costruito sulla base del nodo predefinito scelto.

L'utente deve assicurarsi della corretta costruzione del collegamento, quindi, se non ritiene necessario apportare aggiunte o modifiche, può procedere all'impostazione e all'esecuzione delle verifiche automatiche.

Abbiamo parlato dell'aggiunta manuale di componenti con posizionamento libero. Azzeriamo il nodo, riportandolo nella sua condizione iniziale, e costruiamolo manualmente.

Inseriamo la piastra di base. Definiamo le dimensioni Possiamo modificare l'orientazione dell'oggetto prima di inserirlo nella scena, quindi scegliamo il punto di inserimento e clicchiamo nella scena il punto a cui deve corrispondere.

Poiché si tratta di un collegamento con un attacco rigido, inseriamo il blocco vincolo simulante la fondazione

Inseriamo il layout di cordoni che collega la colonna alla piastra di base. Diminuiamo lo spessore dei due cordoni sull'anima.

Inseriamo una bullonatura per ancorare la piastra di base. Scegliendo la faccia su cui poggeranno le viti, CSE riconosce automaticamente gli oggetti da forare, in base alla loro posizione. Clicchiamo la faccia superiore della piastra.

Nel dialogo che viene aperto, vanno definiti i parametri della bullonatura. Scegliamo il diametro e la classe dei bulloni. Definiamo la disposizione dei bulloni. Oltre alle disposizioni regolari dei bulloni, sono disponibili disposizioni sfalsate, circolari e libere.

Non entreremo in questa sede nei dettagli delle varie impostazioni di funzionamento della bullonatura, per le quali si rimanda alle lezioni dedicate. In questo caso vogliamo che il layout lavori a taglio e trazione e che sia un ancoraggio. Nell'apposito dialogo vanno definite le proprietà dell'ancoraggio stesso. Vogliamo inoltre che la trazione venga presa dai bulloni e la compressione venga presa dallo schiacciamento tra la piastra e il blocco vincolo: utilizzeremo quindi un contrasto.

Definiamo la legge costitutiva del materiale che costituisce il supporto, in questo caso il blocco di calcestruzzo. Tra le quattro leggi costitutive non lineari di tipo no tension scegliamo quella con andamento parabola-rettangolo, e definiamone i parametri.

Definiamo infine la superficie di contrasto. Attraverso i controlli disponibili possono essere definite una o più superfici di contrasto, in accordo a quanto previsto dalle normative. Le impronte dei vari oggetti coinvolti possono essere utilizzate per definire riunioni e intersezioni di facce, opportunamente orlate da un oggetto in base alla rigidità del supporto e della piastra. Senza entrare nel dettaglio di questo dialogo, descritto ampiamente

nell'opportuna lezione, definiamo come superficie di contrasto l'impronta della membratura orlata di un aggetto 'c' calcolato da CSE in base allo spessore della piastra e delle proprietà dei materiali del blocco in calcestruzzo e della piastra stessa. Attraverso l'utilizzo del contrasto verrà anche valutata la capacità del supporto di resistere alla compressione: l'oggetto su cui sarà eseguita la verifica sarà il blocco vincolo.

Inseriamo il layout.

Eseguiamo il controllo sulle compenetrazioni. Non ci sono compenetrazioni tra gli oggetti. È disponibile anche un controllo sulla corretta connessione tra i vari pezzi; tale controllo viene comunque fatto automaticamente da CSE prima della verifica del collegamento.

L'impostazione delle verifiche non sarà trattata dettagliatamente in questa sede. Limitiamoci scegliere l'Eurocodice e a impostare come combinazioni di verifica quelle del modello FEM importato. In questo dialogo si scelgono anche, tra le altre opzioni, le impostazioni per il tabulato, i fattori di sicurezza, le verifiche da eseguire e il controllo sugli spostamenti.

Eseguiamo la verifica del collegamento.

Le verifiche sono state ultimate; se richiesto il tabulato con i risultati viene aperto automaticamente, e sono ora disponibili tutti i comandi di post processing. È ora mostrato l'involuppo degli sfruttamenti di ciascun componente al variare di tutte le combinazioni e di tutte le istanze del jnode.

Sono state svolte verifiche a resistenza dei vari bulloni e cordoni di saldatura, verifiche a sfilamento delle barre d'ancoraggio, verifica a compressione del blocco in calcestruzzo, verifiche a rifollamento, punzonamento e block tear degli oggetti forati da bulloni e verifica delle sezioni nette della membratura inclinata, che presenta riduzioni dell'area lorda.

Oltre alle verifiche qui svolte, è possibile richiedere la creazione automatica di modelli FEM dei componenti e la loro soluzione automatica; CSE dispone di solutori lineari e nonlineari, ed è inoltre possibile utilizzare altri programmi FEM interfacciati. Infine, è possibile introdurre nuovi criteri di verifica stabiliti dall'utente, che il programma eseguirà automaticamente.

Oltre all'involuppo degli sfruttamenti, in cui si possono interrogare i vari pezzi per conoscere lo sfruttamento massimo, la causa e la condizione in cui si verifica, è possibile visualizzare le deformate del collegamento nelle varie combinazioni e istanze, le forze scambiate tra i vari pezzi, i risultati sulle sezioni nette e quelli sulle superfici di contrasto.

Visualizziamo l'involuppo dei coefficienti di sfruttamento al variare delle combinazioni.

Oltre alle mappe a colori, sono disponibili viste deformate, percorsi di rottura per block tearing, risultati sulle superfici di contrasto, risultati sulle sezioni nette delle membrature, forze scambiate tra i vari componenti, stress analysis dei modelli FEM automatici, ecc. Per questi aspetti si rimanda alle varie lezioni dedicate.

## 012 TOUR – Giunto di prosecuzione flangiato

In questo filmato vedremo come realizzare un giunto di prosecuzione colonna-colonna flangiato nella struttura vista nel filmato 10, in cui sono state mostrate l'importazione in CSE di un modello fem e la ricerca dei jnodi.

Il jnodo AK, che verrà qui considerato, è di tipo gerarchico e non sono presenti attacchi.

Passiamo alla vista del renodo associato al jnodo AK, che è l'unico correntemente selezionato. Il jnodo si presenta più volte nella struttura, ma sarà sufficiente costruire e verificare un solo renodo associato.

Sono inizialmente presenti solo le membrature, che in questo caso arrivano a toccarsi in quanto nel modello fem non sono stati definiti offset rigidi. Innanzitutto accorciamo la membratura slave in modo da avere lo spazio in cui inserire le piastre.

Inseriamo la prima piastra.

Scegliamo il punto di inserimento e clicchiamo nella scena il punto a cui deve corrispondere.

Otteniamo la seconda piastra copiando la prima.

Applichiamo ora i layout di cordoni di saldatura.

Applichiamo ai vari lati della sezione terminale della membratura dei cordoni aventi uno spessore di 10mm.

Modifichiamo lo spessore dei cordoni sull'anima, inseriamo il layout.

Applichiamo un altro layout di cordoni sull'altra membratura.

Infine, inseriamo un layout di bulloni per collegare le due piastre. Scegliendo la faccia su cui poggeranno le viti, CSE riconosce automaticamente gli oggetti da forare, in base alla loro posizione.

Definiamo il diametro e la classe dei bulloni.

Definiamo la disposizione.

Vogliamo che i bulloni lavorino a taglio e a trazione. Vogliamo inoltre valutare lo schiacciamento su una delle due piastre. Utilizziamo quindi una poligonale di contrasto.

Definiamo la legge costitutiva del materiale del supporto. . Tra le quattro leggi non lineari di tipo no tension utilizziamo quella indefinitamente elastica, definendo un fattore di omogeneizzazione rispetto al modulo dei bulloni e un opportuno valore di sigma massimo, nelle unità correnti. Il valore di sigma massima è stato ottenuto attraverso opportune considerazioni sulla pressione che porterebbe a raggiungere la tensione di snervamento della piastra in determinate zone critiche, come mostrato in sovrapposizione.

Scegliamo la superficie di contrasto. Per semplicità, imponiamo che la compressione possa avvenire su tutta la superficie della piastra. Come mostrato nel filmato precedente, in CSE è possibile definire superfici di contrasto più accurate, in accordo con la normativa. Definiamo anche l'oggetto che sarà sottoposto alla verifica del contrasto.

Applichiamo il layout.

Eseguiamo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento. Non ci sono compenetrazioni tra gli oggetti. Tutti i componenti sono correttamente connessi, quindi viene riportata l'unica catena presente in questo caso, cioè l'unico percorso possibile per andare da una membratura all'altra.

Modifichiamo la piastra superiore e chiediamo la creazione automatica del modello FEM. Lasciamo i parametri di default relativi alle proprietà della mesh.

Impostiamo le verifiche, senza entrare nel dettaglio. In questo dialogo si scelgono, tra le altre opzioni, la norma di riferimento, i fattori di sicurezza, le modalità di calcolo delle azioni interne, le verifiche da eseguire e il controllo sugli spostamenti.

Scegliamo l'Eurocodice e come combinazioni di verifica scegliamo quelle del modello FEM importato. Poiché sono presenti 48 combinazioni per 16 istanze dello stesso nodo, al fine di ridurre i tempi di calcolo chiediamo che vengano preventivamente selezionate le combinazioni che massimizzano le azioni interne. Di ciascuna delle combinazioni selezionate, verrà comunque mantenuta la contemporaneità delle 6 componenti delle azioni interne.

Eseguiamo la verifica del collegamento. poiché è stata richiesta, viene effettuata la creazione automatica del modello FEM della piastra... viene ora eseguita automaticamente l'analisi statica del modello...

Le verifiche sono state ultimate; se richiesto il tabulato con i risultati viene aperto automaticamente, e sono ora disponibili tutti i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

Sono state svolte, tra le altre, le verifiche di bulloni e cordoni di saldatura nelle varie combinazioni e istanze. Vediamo in particolare il confronto tra la piastra verificata tramite modello FEM e quella sottoposta a verifica della superficie di contrasto.

Come si vede dall'involuppo, in questo caso di collegamento compresso, lo sfruttamento massimo dato dalla verifica sul contrasto è paragonabile a quello dato dall'analisi di un modello FEM raffinato che coglie lo stato di sforzo nella piastra in base alle forze trasmesse dai bulloni, dai cordoni e dalla superficie di contrasto. Vediamo i risultati correnti e posizioniamoci ad esempio nella combinazione 2. Se interroghiamo gli sfruttamenti, vediamo che i valori sulle due piastre sono molto vicini, pur derivando da verifiche diverse. Spostiamoci in un'altra combinazione, ad esempio la 7, e interroghiamo nuovamente gli sfruttamenti.

Vediamo ora il modello FEM creato automaticamente per Sargon da CSE, a cui si accede direttamente con l'apposito comando. Poiché in CSE è stata richiesta l'analisi automatica del modello, sono ora disponibili i comandi di post processing. Vediamo gli sforzi di Von Mises nella combinazione 7. Il rapporto tra il massimo sforzo di Von Mises e la tensione di snervamento è pari al valore di sfruttamento letto in precedenza in CSE.

## 013 TOUR – Trave-colonna flangiato

In questo filmato vedremo come realizzare un collegamento trave-colonna flangiato nella struttura vista nel filmato 10, in cui sono state mostrate l'importazione in CSE di un modello FEM e la ricerca dei jnodi.

Il jnodo AA, che verrà qui considerato, è di tipo gerarchico e non sono presenti attacchi.

Passiamo alla vista del renodo associato al jnodo AA, che è l'unico correntemente selezionato. Il jnodo si presenta più volte nella struttura, ma sarà sufficiente costruire e verificare un solo renodo associato.

Sono inizialmente presenti solo le membrature, e poiché nel modello fem non sono state definite eccentricità per una delle due travi, questa compenetra la colonna; la accorceremo ora, e CSE aggiungerà automaticamente nel calcolo i momenti di trasporto necessari.

Aggiungiamo la flangia

Saldiamo la trave alla piastra

Applichiamo il layout di bulloni. Scegliendo la faccia su cui poggeranno le viti, CSE riconosce automaticamente gli oggetti da forare, in base alla loro posizione. Scegliamo il diametro e la classe dei bulloni e definiamone la disposizione. Vogliamo che i bulloni lavorino a taglio e a trazione. Inseriamo il layout

Aggiungiamo ora la prima costola d'irrigidimento alla colonna. Trasliamola nella posizione opportuna. Se non conosciamo già l'esatta distanza, è possibile interrogare le distanze tra i punti notevoli desiderati.

Aggiungiamo i layout di saldatura per collegare la costola alla colonna.

Selezionando ora la costola e i layout di saldatura, creiamo una loro copia.

Selezioniamo entrambe le costole e tutti i layout di cordoni e creiamo delle loro copie dall'altro lato della colonna.

Inseriamo ora la piastra a cui bulloneremo l'anima della seconda trave, il cui collegamento alla colonna non sarà flangiato.

Saldiamo la piastra alle costole e all'anima della membratura

Aggiungiamo il layout di bulloni per collegare la piastra all'anima della trave.

Eseguiamo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento. Non ci sono compenetrazioni tra gli oggetti. Tutti i componenti sono correttamente connessi, quindi vengono riportate le catene, cioè i possibili percorsi di collegamento tra le membrature slave e il master.

L'impostazione delle verifiche è già stata definita. In questo dialogo si scelgono, tra le altre opzioni, la norma di riferimento, i fattori di sicurezza, le modalità di calcolo delle azioni interne, le verifiche da eseguire e il controllo sugli spostamenti.

Eseguiamo la verifica del collegamento.

Le verifiche sono state ultimate; se richiesto il tabulato con i risultati viene aperto automaticamente, e sono ora disponibili tutti i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

È ora visualizzato l'involuppo degli sfruttamenti di ciascun pezzo al variare delle combinazioni e delle istanze. Sono state svolte le verifiche a resistenza dei vari cordoni e dei vari bulloni, le verifiche a rifollamento di tutti i pezzi forati dai bulloni e le verifiche delle sezioni nette delle membrature che presentano riduzioni dell'area lorda.



In questo collegamento è stata omessa la verifica dello schiacciamento tra la piastra e la flangia della colonna e non sono state eseguite verifiche dei pezzi tramite modelli FEM creati in modo automatico. Per entrambi gli aspetti si veda il filmato precedente.

## 014 TOUR – Trave-trave con squadretta

In questo filmato vedremo come realizzare un collegamento trave-trave con squadrette nella struttura vista nel filmato 10, in cui sono state mostrate l'importazione in CSE di un modello fem e la ricerca dei jnodi.

Il jnodo AC, che verrà qui considerato, è di tipo gerarchico e non sono presenti attacchi.

Passiamo alla vista del renodo associato al jnodo AC, che è l'unico correntemente selezionato. Il jnodo si presenta più volte nella struttura, ma sarà sufficiente costruire e verificare un solo renodo associato.

Sono inizialmente presenti solo le membrature, e poiché nel modello fem non è stata definita un'eccentricità assiale per la trave secondaria, questa compenetra la principale. La secondaria ha però un'eccentricità che riporta il suo filo superiore alla stessa altezza della principale.

Abbiamo visto nei filmati precedenti come costruire un nodo manualmente e liberamente. Ora vedremo come applicare un nodo predefinito dell'archivio, con la possibilità di modificarne i parametri.

Vengono mostrati solo i nodi parametrici compatibili con il nodo corrente. Scegliamo il terz'ultimo nodo, che prevede un collegamento a squadretta con l'eccentricità della secondaria

Torneremo in seguito in questo dialogo, che consente di modificare in tempo reale alcuni parametri del collegamento. Ora applichiamo così com'è.

Vengono dati dei messaggi di avvertimento riguardanti lo spostamento di una membratura nel nodo corrente, in quanto CSE considera i momenti di trasporto aggiuntivi. Poiché l'eccentricità era già presente nel modello FEM, gli spostamenti nel nodo risultano nulli e il messaggio è ininfluenza, in quanto l'eccentricità è già stata considerata nella soluzione del modello FEM.

Il collegamento è ora ultimato. Eseguiamo un controllo sulle compenetrazioni e uno sulla coerenza del collegamento. Non ci sono compenetrazioni. Vengono elencate le catene, cioè i possibili percorsi per andare da una membratura slave alla membratura master: significa che tutti i pezzi sono correttamente connessi.

Impostiamo le verifiche, senza entrare nel dettaglio. In questo dialogo si scelgono, tra le altre opzioni, la norma di riferimento, i fattori di sicurezza, le modalità di calcolo delle azioni interne, le verifiche da eseguire e il controllo sugli spostamenti. Scegliamo l'Eurocodice e come combinazioni di verifica scegliamo quelle del modello FEM importato.

Eseguiamo le verifiche.

Se richiesto nelle impostazioni, viene aperto automaticamente il listato con i risultati delle verifiche, quindi è disponibile il post processing.

Visualizziamo l'involuppo degli sfruttamenti al variare di tutte le combinazioni e le istanze del nodo. Gli sfruttamenti non sono molto elevati.

In questa sede non entreremo nel dettaglio degli altri strumenti per lo studio dei risultati, per i quali si rimanda ad altre lezioni. Vediamo invece una riapplicazione del nodo predefinito con la modifica di alcuni suoi parametri, e come ciò influenzerà i risultati.

Azzeriamo il nodo e riappliciamo lo stesso nodo predefinito applicato in precedenza.

Nella lista delle operazioni, togliamo la spunta all'aggiunta della bullonatura B1. In questo modo, potremo modificarne i parametri durante la costruzione automatica.

La costruzione si interrompe all'aggiunta della bullonatura, e possiamo ad esempio sostituire la formula parametrica che ottimizza il calcolo del numero di colonne con il numero 1, imponendo una sola colonna per B1. Salviamo la modifica, senza entrare nel dettaglio della parametrizzazione, spiegata in altre lezioni.

Il nodo risente ora delle modifiche apportate; poiché le altre bullonature sono parametrizzate in funzione della prima, anch'esse hanno ora una sola colonna.

Eseguiamo le verifiche nuovamente e mostriamo l'inviluppo.

Con un numero inferiore di bulloni, ora gli sfruttamenti sono più alti.

## 015 TOUR – Nodo di controvento

In questo filmato vedremo come realizzare un nodo di controvento della struttura vista nel filmato 10, in cui sono state mostrate l'importazione in CSE di un modello fem e la ricerca dei jnodi.

Il jnodo AQ, che verrà qui considerato, è di tipo gerarchico e non sono presenti attacchi.

Passiamo alla vista del renodo associato al jnodo AQ, che è l'unico correntemente selezionato. Il jnodo si presenta più volte nella struttura, ma sarà sufficiente costruire e verificare un solo renodo associato.

Sono inizialmente presenti solo le membrature, e poiché nel modello fem non sono stati definiti opportuni offset rigidi, i due controventi e la trave si compenetrano. Accorciamo i controventi. Valutiamo l'entità dell'accorciamento da applicare.

Mettiamoci nella vista più comoda per inserire la piastra da saldare alla trave principale.

Inseriamo una piastra rettangolare.

Aggiungiamo un layout di saldatura per collegare la piastra alla trave.

Inseriamo il primo layout di bulloni per collegare un controvento alla piastra. Scegliendo la faccia su cui poggeranno le viti, CSE riconosce automaticamente gli oggetti da forare, in base alla loro posizione.

Aggiungiamo il secondo layout per collegare l'altro controvento.

Eseguiamo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento. Non ci sono compenetrazioni tra gli oggetti. Tutti i componenti sono correttamente connessi, quindi

vengono riportate le catene, cioè i possibili percorsi di collegamento tra le membrature slave e il master.

L'impostazione delle verifiche è già stata definita. In questo dialogo si scelgono, tra le altre opzioni, la norma di riferimento, i fattori di sicurezza, le modalità di calcolo delle azioni interne, le verifiche da eseguire e il controllo sugli spostamenti. Assicuriamoci che l'Eurocodice sia impostato come normativa di riferimento e che le combinazioni di verifica siano quelle del modello FEM importato.

Eseguiamo la verifica del collegamento.

Le verifiche sono state ultimate; se richiesto il tabulato con i risultati viene aperto automaticamente, e sono ora disponibili tutti i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

È possibile ad esempio visualizzare l'involuppo degli sfruttamenti per conoscere la condizione peggiore di ciascun componente, oppure vedere la deformata nella combinazione e nell'istanza corrente. Scorrendo tra le varie combinazioni o istanze i risultati vengono aggiornati in tempo reale.

Il collegamento che qui abbiamo costruito manualmente è già presente in archivio. Dopo aver azzerato il contenuto del nodo corrente, vediamo una sua rapida applicazione automatica, senza entrare nei dettagli.

Nel caso si vogliano dimensioni diverse, è possibile modificare in tempo reale alcuni parametri durante la costruzione automatica, oppure apportare le modifiche desiderate al termine della costruzione.

## 019 TOUR – Partendo da CSE

Se non si dispone di programmi agli elementi finiti interfacciati con CSE, è possibile creare i modelli FEM dei collegamenti che si vogliono studiare all'interno dello stesso CSE.

Ci sono tre modalità per creare un modello FEM direttamente in CSE. La *prima* è la creazione totalmente libera, aggiungendo gli elementi singolarmente, definendo sezioni, materiali, vincoli, svincoli, eccentricità, ecc. La *seconda* è la scelta di uno degli schemi tipici disponibili, definendo sezioni, materiale e svincoli e in certi casi le inclinazioni degli elementi. La *terza* possibilità è quella mista, che consiste nel partire da uno schema predefinito per poi modificarlo manualmente. Se si utilizza la versione LIGHT di CSE, la seconda modalità è l'unica possibile.

Ottenuto il modello FEM, si passa alla ricerca automatica di membrature e jnodi. Se si usano gli schemi predefiniti, queste operazioni possono essere eseguite automaticamente e in background. Con la versione LIGHT, sono sempre in background.

Per creare un modello agli elementi finiti bisogna innanzitutto attivare la vista FEM. In essa andranno aggiunti i vari elementi di tipo trave o biella necessari, assegnando loro sezioni e materiali, e si dovranno definire i segni di connessione, gli svincoli e i vincoli opportuni. Per la definizione della mesh si può attingere a modelli fem predefiniti, quali giunti di prosecuzione, giunti trave-colonna, giunti a terra, ecc.

Terminata la creazione del modello fem, andranno ricercate prima le membrature e poi i jnodi, con gli appositi comandi che eseguono automaticamente tali operazioni. Quindi il renodo dovrà essere costruito posizionando piastre, squadrette, estrusi di forma generica, bulloni e saldature secondo le esigenze.

Infine, definite le impostazioni di verifica, il renodo potrà essere verificato considerando i limiti elastici o plastici delle membrature, opportunamente fattorizzati, per ottenere lo stato di sforzo desiderato.

Per l'aggiunta manuale degli elementi finiti si consultino i filmati 643 e seguenti. Vedremo ora come aggiungere in modo automatico il modello FEM di un giunto di prosecuzione. Attraverso il comando **Nodi tipici**, nel menu FEM, si accede a un dialogo in cui è possibile

scegliere tra diversi tipi di collegamenti tipici, che potranno essere poi modificati secondo le esigenze. . Negli schemi sono mostrati gli elementi finiti, i segni di connessione e i vincoli previsti per i vari collegamenti.

In questa lezione vogliamo studiare un giunto di prosecuzione orizzontale. Dopo il click sulla struttura scelta, si accede a un dialogo in cui vanno definiti materiale e forme sezionali.

E' possibile definire un nuovo materiale o sceglierne uno dall'archivio. In questo caso, assegniamo l'S235.

Come per il materiale, è possibile definire una nuova forma sezionale o sceglierne una dall'archivio.

Impostiamo un filtro sulle sezioni HEA e accediamo all'archivio. [click] Vengono mostrate solo le sezioni del tipo scelto, in un archivio di oltre 10000 profili, ampliabile con il software SAMBA. Scegliamo l'HEA300. Assegniamo la sezione corrente a entrambe le membrature del nodo.

Sopraffacciamo in questa sede sulla possibilità di definire cerniere e ruotare i profili. È possibile richiedere che la ricerca di membrature e jnodi venga fatta automaticamente in background. Togliamo la spunta, così che dovremo essere noi a lanciare la ricerca automatica. In questo modo vedremo meglio i vari passaggi. Con la versione LIGHT, questa scelta non è possibile.

Nella versione FULL ci viene chiesto se aggiungere un nuovo nodo. Ora diciamo di no.

Il modello FEM del giunto di prosecuzione è ultimato. Una delle due membrature ha un segno di connessione, per indicare che in quel punto c'è un'interruzione e si tratta quindi di due membrature distinte. Visualizziamo le etichette di sezione e materiale degli elementi.

Eseguiamo la ricerca automatica delle *membrature*. Passiamo ora alla vista jnodi, in cui sono presenti le membrature trovate da CSE.

Eseguiamo la ricerca automatica dei *jnodi*: CSE troverà tutti i diversi collegamenti che dovranno poi essere lavorati. Se ve ne sono due o più uguali, saranno associati allo stesso *jnode*. In questo caso avremo naturalmente una sola istanza di un solo *jnode*.

Selezionando un *jnode* si può passare alla vista *renodo*, in cui il collegamento reale, tridimensionale, può essere costruito e verificato.

Nei filmati seguenti viene mostrato come costruire i nodi reali; in particolare, nel filmato 022 viene costruito il nodo qui ottenuto.

## 020 TOUR – Trave-colonna (squadretta)

In questo filmato vedremo come costruire rapidamente un collegamento trave-colonna con squadrette, aggiungendo i vari componenti manualmente. Si ricorda che CSE dispone di un archivio di nodi *tipici* predefiniti in forma parametrica, che possono essere applicati in modo automatico. Per questa funzionalità si veda, ad esempio, il filmato 22.

Nel modello fem è stato definito un opportuno offset rigido per la trave, quindi non c'è compenetrazione con il master e non è necessario un accorciamento della membratura.

Aggiungiamo una squadretta doppia.

Inseriamo i layout di bulloni necessari a collegare le squadrette alla trave e alla colonna.

Il collegamento è costruito con tutti i componenti correttamente connessi. Se necessario, è possibile irrigidire la colonna con costole saldate.

Dopo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento, qui omessi, è possibile eseguire la verifica del giunto in base alle impostazioni scelte. La definizione delle impostazioni non è qui mostrata, si vedano i filmati precedenti. Analizziamo il collegamento.

Eseguita la verifica, sono disponibili i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

Visualizziamo ad esempio l'involuppo degli sfruttamenti, oppure mostriamo la deformata nella combinazione corrente. È possibile visualizzare le forze scambiate, i risultati sulle sezioni nette delle membrature, o sulle superfici di contrasto, qui non definite.

## 021 TOUR – Trave-trave (saldato)

In questo filmato vedremo come costruire rapidamente un collegamento trave-trave con saldatura, aggiungendo i vari componenti manualmente. Si ricorda che CSE dispone di un archivio di nodi *tipici* predefiniti in forma parametrica, che possono essere applicati in modo automatico. Per questa funzionalità si veda, ad esempio, il filmato 22.

Nel modello FEM è stato definito un opportuno offset rigido per la trave secondaria in modo da avere lo spazio per inserire la piastra da saldare. Inseriamo la piastra stessa.

Saldiamo l'anima della secondaria alla piastra.

Inseriamo il layout di bulloni che collega la piastra all'anima della principale.

Il collegamento è costruito con tutti i componenti correttamente connessi. Dopo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento, qui omessi, è possibile eseguire la verifica del giunto in base alle impostazioni scelte. La definizione delle impostazioni non è qui mostrata, si vedano i filmati precedenti. Analizziamo il collegamento.

Eseguita la verifica, sono disponibili i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

Visualizziamo ad esempio l'involuppo degli sfruttamenti. Mostriamo la deformata nella combinazione corrente. Scorrendo tra le varie combinazioni la vista viene aggiornata in tempo reale.

## 022 TOUR – Giunto di prosecuzione (coprigiunti)

In questo filmato vedremo come costruire rapidamente un giunto di prosecuzione con coprigiunti.

Inseriamo il coprigiunto sulla flangia superiore.

Inseriamo i layout di bulloni che collegano la piastra alle flange delle due membrane.

Creiamo una copia del coprigiunto e dei bulloni sulle flange inferiori.

Analogamente a quanto appena fatto per le flange, aggiungiamo i coprigiunti sulle anime e bulloniamoli.

Il collegamento è costruito con tutti i componenti correttamente connessi. Dopo i controlli sulle compenetrazioni e sulla coerenza del collegamento, qui omessi, è possibile eseguire la verifica del giunto in base alle impostazioni scelte.

Eseguita la verifica, sono disponibili i comandi di post processing per l'analisi dei risultati.

Visualizziamo ad esempio l'involuppo degli sfruttamenti. Mostriamo la deformata nella combinazione corrente. Scorrendo tra le varie combinazioni la vista viene aggiornata in tempo reale.

## 030 TOUR – Giunti non standard

In CSE è possibile realizzare giunti generici non riconducibili a tipologie standard: i collegamenti possono quindi essere modellati secondo le esigenze senza la limitazione di doversi attenere a schemi predefiniti. Ciò è possibile grazie alla disposizione libera dei pezzi nella scena e al riconoscimento automatico delle varie connessioni da parte di CSE in base alla posizione dei pezzi.

In questo filmato vedremo alcuni esempi di connessioni realizzate in CSE.

Il collegamento ora mostrato è molto complesso, con nove membrature coinvolte, numerosi tramite costituiti da squadrette, piastre rettangolari, piastre con forme definite ad hoc e decine di unitori costituiti da layout di bulloni e layout di cordoni di saldatura

L'esempio mostrato ora è il collegamento di due diagonali a C a un montante realizzato con un profilo formato a freddo.

È stato realizzato il collegamento a terra di quattro diagonali convergenti nello stesso punto, bullonati a un estruso con pianta a croce, smussato.

Abbiamo quindi il collegamento a terra di un profilo formato a freddo a cui sono bullonati due angolari accoppiati. Alla base è presente un profilo che abbraccia il montante ed è irrigidito da una piastra saldata.

Nel giunto di prosecuzione mostrato è stata rimossa una porzione delle anime delle due membrature. La riduzione dell'area lorda può essere considerata nell'analisi con una verifica automatica delle sezioni nette.

In questo collegamento è stata rimossa una porzione della flangia della colonna, e la sua anima è collegata a quella della trave inclinata; delle piastre bullonate collegano le anime delle due membrature.

Il collegamento mostrato ora è un giunto di prosecuzione tra due membrature che hanno una sezione composta, in cui l'anima di un profilo HEA320 è collegata alla flangia superiore di un profilo HEA220.

L'esempio mostrato ora è un giunto tra due travi eccentriche.

In questo collegamento 4 travi si connettono alla colonna a livelli diversi; la colonna è irrigidita da costole a tutti questi livelli.



## 100 FULL-LIGHT: Fasi di lavoro

CSE è proposto in due versioni differenti, denominate FULL e LIGHT.

La prima si rivolge a progettisti esperti che vogliono trarre il maggior profitto dalla completezza delle funzionalità di CSE.

La seconda si rivolge a progettisti interessati ad avere uno strumento rapido ed approfondito per la progettazione di nodi tipici.

Dato il differente obiettivo, le due versioni del programma differiscono per la interfaccia, per la disponibilità dei comandi, ed anche per la terminologia usata nell'interfaccia stessa.

Mentre nel caso della versione FULL si dà per scontato che l'utente abbia speso un po' di tempo per imparare alcuni concetti di base, con la versione LIGHT si prevede un utilizzo meno approfondito, anche se una miglior fruizione può essere ottenuta imparando i concetti fondamentali che stanno alla base di CSE, sia esso FULL o LIGHT.

In generale la versione LIGHT risulta di più immediato utilizzo e di minor raggio di azione.

A causa delle differenze presenti nelle due versioni, una descrizione unica delle fasi di lavoro non può essere fatta. Invece, sono previste lezioni differenti per descrivere le fasi di lavoro nell'una e nell'altra versione. Sebbene il programma sottostante sia unico, la versione LIGHT occulta e semplifica alcune fasi del lavoro, inoltre, anche per renderne possibile un costo drasticamente minore, alcune delle funzionalità della versione FULL sono inibite alla versione LIGHT.

La versione FULL può funzionare anche in modo LIGHT, mimando il funzionamento della versione LIGHT.

Nelle lezioni aventi numero compreso tra 100 e 149, sono descritte le fasi di lavoro dal punto di vista dell'utilizzatore della versione FULL.

Nelle lezioni aventi numero compreso tra 150 e 199 sono descritte le fasi di lavoro dal punto di vista dell'utilizzatore della versione LIGHT.

Sebbene differenti, le fasi di lavoro nelle due versioni del programma hanno in comune un percorso logico (ma non necessariamente operativo) che verrà qui richiamato.

**Il punto di partenza** è un *modello agli elementi finiti* della struttura che si vuole studiare. La struttura può anche degenerare nell'insieme minimo di elementi che descrivono anche un solo collegamento.

Importare un modello FEM già fatto o crearne uno nuovo all'interno di CSE è dunque il primo passo che occorre compiere. All'interno di CSE esistono solo gli elementi finiti *beam* e gli elementi *truss* (trave e biella, rispettivamente). I primi portano in generale sei componenti di sollecitazione (azione assiale, tagli, momento torcente e due momenti flettenti). I secondi portano solo una azione assiale costante lungo l'elemento.

Il modello FEM può essere visualizzato attivando una opportuna *vista* (ovvero un modo opportuno di vedere il modello CSE).

**Il secondo passo logico da compiere** (fatto automaticamente da CSE a richiesta) è quello di riconoscere le *membrature*, composte in generale da più elementi finiti. Una membratura è un elemento prismatico rettilineo privo di discontinuità fisiche al suo interno (di sezione o di materiale).

**Il terzo passo logico da compiere** è quello di riconoscere (anche in questo caso automaticamente ed in pochi secondi) i *JNodi*, ovvero i punti ideali nello spazio dove trovano collegamento tra loro *due o più* membrature, o dove *una o più* membrature sono fissate a qualcosa altro. Questo *qualcos'altro* può essere o il sistema di riferimento fisso ("terra") o altre parti esistenti che fungono da vincolo, *modellate con elementi diversi da beam e truss* (per esempio, una colonna che si fissi su un solaio di piano modellato con elementi plate-shell).

Al concetto di *JNodo* è dedicata una lezione specifica (si veda la lezione numero 200). Qui basti dire che mentre è certamente vero che tutti i JNodi sono anche *nodi* del modello agli elementi finiti, non tutti i nodi del modello agli elementi finiti sono anche *JNodi*.

La ricerca dei JNodi, fatta automaticamente dal programma, trova anche tutte le ripetizioni identiche del medesimo JNodo, rototraslato nello spazio in varie posizioni. Tali ripetizioni sono dette *istanze del jnodo*.

Le membrature ed i JNodi presenti nella struttura possono essere visualizzati in una opportuna vista, ovvero la vista JNodo.

**Il quarto passo logico** è quello di selezionare uno per volta i JNodi, trasformandoli in Renodi. Al concetto di Renodo (**REal NODE**) è dedicata una specifica lezione, la numero 200. Cosa è il Renodo, in sintesi?

Mentre il JNodo è definito in uno spazio unifilare (le membrature con le loro orientazioni sono ridotte ai loro assi, e non vi è altro che le membrature), il Renodo è definito in uno spazio tridimensionale nel quale la effettiva costruzione del collegamento è definita in ogni dettaglio.

Un singolo JNodo potrà, in generale, essere trasformato in infiniti possibili Renodi, mediante componenti fisici – come saldature, bullonature, piatti o squadrette – differenti.

La creazione del Renodo associato ad un certo JNodo è la costruzione tridimensionale effettiva dei collegamenti in tutti i loro dettagli fisici e computazionali. Tale fase può essere, in certi casi, come le fasi precedenti, completamente automatizzata.

Ogni singolo Renodo può e deve essere mostrato in una opportuna vista, che è la vista Renodo. Tale vista è attivabile se e solo se è selezionato uno e un solo JNodo.

La costruzione e la verifica del generico Renodo avviene nella vista Renodo.

**Il quinto passo logico**, è quello di verificare il Renodo con le sollecitazioni pertinenti a ciascuna membratura di cui è composto, eventualmente modificandone i componenti (numero di bulloni, dimensioni piastre, eccetera).

Una volta costruiti *in tutto o in parte* i Renodi che compongono la struttura (al limite uno solo), **il sesto ed ultimo passo logico** è quello di vedere la struttura completa nella sua effettiva costruzione tridimensionale, mediante l'aggiunta di tutti i componenti di tutte le diverse ripetizioni (o istanze) di tutti i Renodi associati a tutti i JNodi. A quel punto i collegamenti della struttura saranno stati, in tutto o in parte, completamente definiti e verificati.

La struttura 3D complessiva è visibile in una opportuna vista, che è la vista *Solida*.



## 101 FULL Fase 1a: importazione del modello FEM

Partendo da un modello vuoto la importazione di un modello FEM già pronto viene compiuta con un unico comando, il comando **File-Importa modello FEM**.

Il modello FEM potrà essere già stato risolto, ed in questo caso saranno disponibili tutte le azioni interne di tutti gli elementi, in tutte le combinazioni di verifica. Oppure, in casi particolari, potrà essere importato senza che sia disponibile l'insieme delle azioni interne di calcolo. Nel primo caso le azioni interne di calcolo potranno essere utilizzate per le verifiche dei collegamenti, nel secondo caso queste azioni interne saranno definite mediante altri sistemi. Questi sistemi ulteriori sono disponibili anche se il modello FEM è importato con le sue azioni interne.

Il modello FEM può essere importato se è disponibile nei formati supportati da CSE. Si consulti la guida per vedere quali formati sono disponibili nella ultima versione rilasciata.

Se il modello FEM è stato importato con le sue azioni interne, ogni successiva modifica dello stesso modello comporterà la perdita delle azioni interne di calcolo, non più coerenti con il modello. Questa regola generale ammette alcune eccezioni in certi casi particolari.

Un modello FEM importato, generalmente è accettato così com'è. Se questo modello è stato modificato successivamente alla costruzione dei Renodi, è possibile aggiornarlo senza perdere il lavoro già fatto, ove questo sia possibile e non contraddittorio.

Nella costruzione del modello FEM devono essere seguite alcune regole, che definiscono alcune informazioni aggiuntive, necessarie a CSE per comprendere esattamente come sono fatte le membrature. Tali informazioni aggiuntive sono essenzialmente i segni di connessione, associati agli estremi di alcuni elementi finiti. Si veda la lezione numero 390 per una spiegazione dettagliata del problema.

I segni di connessione sono necessari solo in certi casi specifici. In altri casi non è necessario altro che un normalissimo modello FEM.



Una volta importato il modello FEM dentro CSE vengono anche automaticamente riconosciute le membrature, ma non ancora i JNodi. Il riconoscimento dei JNodi deve essere fatto con un comando opportuno (**Jnodi-Cerca!** Si veda la lezione 110).

## 102 FULL Fase 1b: creazione manuale o modifica del modello FEM

Se non si dispone di un modello FEM da importare, o se si vuole modificare un modello FEM già importato (cosa generalmente rara, quest'ultima), l'utente può creare ex novo il modello FEM in CSE o modificare il modello FEM importato o precedentemente definito.

Ciò rende CSE completamente indipendente dai programmi FEM esterni.

A questo fine, nel menu Fem, CSE dispone di svariati comandi, che servono ad aggiungere elementi finiti, nodi fem, ad assegnare le forme sezionali e i materiali agli stessi elementi, ed a assegnare vincoli, svincoli e segni di connessione.

Questi comandi non vogliono e non possono replicare un completo programma agli elementi finiti e sono quindi in numero limitato. Essi sono tuttavia sufficienti a descrivere le mesh (anche eventualmente di una sola connessione tra due o più elementi).

Un modello FEM creato dentro CSE o ivi modificato non ha azioni interne negli elementi derivanti da un calcolo. Dovrà essere l'utente, nella fase di impostazione delle verifiche del singolo Renodo, a scegliere quali azioni interne impiegare.

La creazione manuale di (piccoli) modelli FEM consente all'utente di definire ogni possibile collegamento (anche strano) tra diversi elementi costruttivi, o tra uno o più elementi costruttivi ed il riferimento (terra).

Prima di cercare i JNodi (lezione 110), alla fine della creazione del modello FEM, occorre chiedere al programma di cercare le membrature, con il comando **Fem-Cerca membrature!**.

## 103 FULL Fase 1c: creazione automatica del modello FEM

Dato che usare i comandi per la definizione manuale del modello FEM può essere noioso, e comunque richiede un certo tempo di apprendimento, CSE è stato dotato della possibilità di creare automaticamente, ed in modo molto semplice, dei modellini FEM che corrispondono ad un certo numero di (frequenti) schemi tipici, ad esempio relativi ai collegamenti trave-trave, trave-colonna, colonna al suolo, e così via.

Il comando da usare è Fem-Nodi tipici. Questo comando sa già quale schema dovrà creare, e quindi si limita a chiedere:

- le forme sezionali degli elementi
- i loro materiali
- l'orientazione (asse forte o debole)
- l'eventuale presenza di cerniere

Il comando sa già che schema dovrà creare perché è l'utente a dirglielo, scegliendo tra varie possibilità. Il comando automatizza varie fasi del lavoro, creando automaticamente la mesh necessaria.

Nel caso della versione FULL è possibile aggiungere più schemi elementari (ad indicare ciascuno un diverso JNodo,e, in seguito, Renodo). In questo modo in un unico modello saranno presenti più nodi, in modo da evitare di avere un file per ogni diverso JNodo. Le strutturine corrispondenti agli schemi sono messe una di seguito all'altra, nello spazio, disgiuntamente l'una dall'altra. Ciò che conta ai fini della verifica dei singoli collegamenti infatti è solo lo schema locale, e non quello globale.

Sempre al fine di velocizzare il lavoro questo comando, per default, cerca automaticamente le membrature ed i JNodi, portando direttamente alla fase di creazione del Renodo.

Questa modalità di lavoro è particolarmente utile se si devono definire nodi tipici, ovvero aventi lo schema tra quelli previsti dal comando Fem-Nodi tipici.

## 105 FULL Fase 2: ricerca delle membrature

Le membrature sono elementi fisicamente ininterrotti, generalmente costituiti da più elementi finiti. La trasformazione di un modello FEM costituito da elementi beam e truss e da nodi a un modello, sempre unifilare, costituito da membrature e jnodi, viene fatta automaticamente da CSE. In alcuni casi è l'utente ad avviare tali ricerche automatiche, attraverso opportuni comandi; in altri casi le ricerche vengono eseguite in background senza la necessità di un input da parte dell'utente.

La ricerca automatica delle membrature viene fatta con il comando **Cerca Membrature** del menu **FEM**. L'utente deve eseguire questo comando solo in alcune situazioni particolari, perché in altre è eseguita automaticamente in background dal programma.

In particolare, se il modello FEM è stato importato, la ricerca delle membrature è già stata fatta in background al momento dell'importazione stessa. A meno che l'utente non modifichi il modello in CSE dopo l'importazione, **non** è necessario eseguire il comando di ricerca delle membrature. Lo stesso vale per eventuali aggiornamenti del modello FEM importato in precedenza.

Se sono state definite in CSE delle strutture FEM elementari con il comando **Nodi Tipici**, **non** è necessario eseguire la ricerca delle membrature, che vengono cercate automaticamente in background, a meno che l'utente desideri inibire questa automatizzazione.

Se invece il modello è stato creato liberamente in CSE, oppure è stato modificato dopo l'importazione, o infine è stato ottenuto con il comando **Nodi Tipici** inibendo la ricerca automatica, allora in questi casi l'utente dovrà eseguire il comando **FEM-Cerca membrature**.

## 110 FULL Fase 3: ricerca dei Jnodi

Come già detto in una precedente lezione, la ricerca dei JNodi è indispensabile per la costruzione dei Renodi veri e propri. La ricerca dei JNodi è compiuta dal programma mediante un unico comando, Jnodi-Cerca!.

In certi casi la ricerca dei JNodi è fatta automaticamente, senza bisogno di invocare il comando: ciò avviene quando siano stati creati degli schemi tipici mediante il comando dedicato a questo scopo.

Se si importa un modello FEM già pronto, dopo aver importato si vorrà probabilmente eseguire il comando di ricerca dei JNodi senza ulteriori modifiche.

La ricerca dei JNodi comporta la ricerca di tutte le ripetizioni identiche del medesimo JNodo. Un JNodo, in CSE, ha infatti in generale più istanze ( o ripetizioni). Selezionando un JNodo si selezionano tutte le sue istanze, in generale disseminate in varie parti della struttura.

Ogni JNodo è marcato da un descrittore alfanumerico del tipo “AA”, “AB” e così via.

Prima di passare alla fase di costruzione dei Renodo associato ad ogni JNodo è bene verificare che la ricerca dei JNodi abbia prodotto dei risultati complessivamente accettabili.

Un jnodo può essere un attacco oppure no: nel caso non lo sia, sono presenti solo membrane connesse tra loro; nel caso sia un attacco, oltre a essere connesse tra loro le membrane sono connesse anche al riferimento, che può essere un vincolo nodale (e in questo caso si parla di attacco rigido) o una parte di struttura che nel modello FEM importato era costituita da elementi di tipo diverso da beam e truss (quindi plate, solidi, molle, ecc., che nel modello CSE non sono presenti); in questo secondo caso si parla di attacco elastico.

Al di là della presenza o meno di un attacco, i JNodi sono classificati nel seguente modo (si veda la lezione 201):

- jnodi gerarchici (che sono la maggior parte: a una membratura si attaccano le altre)
- centrali (più membrature collegate tra loro da un componente, come ad esempio una piastra, tutte interrotte)
- semplici (è presente una sola membratura, che in questo caso è inevitabilmente un attacco)
- cuspidali (due o più membrature giungono prive di segno di connessione al JNodo)
- passanti (due o più membrature proseguono ininterrotte da ambo i lati del JNodo)

Di questi CSE può verificare solo i primi tre.

La classificazione di un JNodo dipende da come le membrature sono logicamente e geometricamente collegate. Ciò dipende anche dai segni di connessione eventualmente applicati agli elementi finiti, e, di conseguenza, agli estremi delle membrature.

**Se è stato importato un modello FEM**, è dunque possibile che prima di procedere si voglia modificare il modello FEM (utilizzando il proprio programma) per poi reimportarlo in CSE, al fine di eliminare JNodi cuspidali o passanti, generalmente dovuti a una carenza di informazioni nel modello FEM. Dato che la importazione del modello FEM e la ricerca dei JNodi prendono pochi secondi, ciò non rappresenta un problema.

**Se la struttura è stata creata all'interno di CSE mediante i comandi FEM manuali**, si vorrà invece tornare ai comandi FEM, e meglio precisare i segni di connessione, rieseguendo poi la ricerca delle membrature e la ricerca dei JNodi.

**Se la struttura è stata creata automaticamente dentro CSE mediante il comando Fem-Nodi tipici**, questa è già creata correttamente e non c'è generalmente bisogno di ridefinire nulla.

CSE **nel menu JNodo** mette a disposizione una serie di comandi che consentono di avere informazioni preliminari sul JNodo, desumibili essenzialmente dal modello agli elementi finiti (unifilare) sottostante.

I JNodi sono tutti descritti in un opportuno tabulato, che può essere creato automaticamente da CSE.

Tra le informazioni preliminari su ogni JNodo, oltre alla sua marca ed al numero delle sue ripetizioni, vi è anche l'involuppo delle sollecitazioni sulle membrature al variare delle ripetizioni del JNodo e delle combinazioni, sempre che, naturalmente, si sia importato un modello FEM che fosse già stato calcolato e risolto.

Su modelli vasti e complessi lo studio preliminare dei JNodi è altamente consigliabile, onde evitare di scoprire manchevolezze del modello FEM dopo già aver costruito i Renodi. In questo caso potrebbe essere necessario aggiornare il modello FEM con il comando opportuno (File-Aggiorna modello FEM), al fine di non perdere i Renodi già costruiti.

Se invece non si è ancora costruito alcun Renodo, basterà reimportare il modello e rieseguire la ricerca dei JNodi.

## 120 FULL Fase 4a: creazione manuale del Renodo partendo da zero

Una volta selezionato uno ed un solo JNodo, cliccando sul quadrato che lo identifica in una qualsiasi delle sue ripetizioni,

è possibile passare alla vista Renodo e costruire il Renodo in un ambiente di lavoro 3D.

La selezione del JNodo avviene nella vista JNodo. Selezionando un JNodo tutte le sue ripetizioni (istanze) vengono selezionate.

Con il passaggio alla vista Renodo si ha una rappresentazione solida delle membrature che dovranno essere collegate, tra loro, e/o ad un riferimento. All'inizio le membrature che compongono il Renodo proseguono ininterrotte sino al nodo teorico del modello FEM, e quindi gli elementi in generale si compenetrano o non lasciano spazio per l'inserimento di altri componenti.

Mediante una serie di comandi di tipo generale, volti a modificare la geometria delle membrature,

a posizionare correttamente nuovi componenti nello spazio, generalmente piastre, squadrette, o tronchi di profilato,

e ad aggiungere unitori come layout di bulloni e di cordoni di saldatura,

l'utente costruisce il Renodo, un po' come farebbe usando una specie di "LEGO<sup>TM</sup>" virtuale.

La creazione del Renodo è libera: i comandi sono molto generali e consentono di creare infiniti diversi possibili modi di collegare tra loro le membrature.

Se il JNodo è un attacco (ovvero se le membrature si collegano a qualcosa d'altro non modellato), è necessario aggiungere un blocco vincolo, ovvero un oggetto che schematicamente simula la presenza della parte non modellata.

Un blocco vincolo è un parallelepipedo retto, e può simulare plinti di fondazione, travi rovesce, solai di piano, muri o altro.

Al termine della costruzione del Renodo tutte le membrature e tutti i componenti aggiuntivi (tramite) risulteranno collegati. Se questo non succede, e vi sono componenti liberi, o mal

collegati, il programma lo segnala mediante il comando di controllo della coerenza (si veda la lezione 306).

Completato correttamente il renodo, si potranno impostare le verifiche (lezione 140), ed eseguirle analizzando poi i risultati (lezione 145).

La creazione del Renodo viene fatta anche per mezzo di comandi che consentono di modificare geometricamente i componenti precedentemente aggiunti

...e di impostarne diversamente il funzionamento statico nonché le verifiche a cui saranno assoggettati.

## 130 FULL Fase 4b: creazione automatica o semiautomatica del Renodo

Le funzionalità di creazione del Renodo partendo da zero sono molto potenti. Tuttavia, per rendere ancora più semplice e più rapida la creazione di Renodi **tipici**, è stata prevista una biblioteca di Renodi parametrici (detti P-Renodi).

Tali Prenodi possono essere richiamati a partire da un Renodo vuoto, consentendo la istantanea creazione dell'intero Renodo,

...più o meno interattivamente.

Perché un Renodo possa essere costruito istantaneamente mediante applicazione di un PRenodo al Renodo vuoto, nel database dei PRenodi esistenti ve ne deve essere almeno uno applicabile al Renodo sotto mano.

Ovviamente non tutti i PRenodi possono essere applicati a un generico Renodo vuoto: sicuramente devono essere eguali il numero delle membrature, il loro tipo, e i mutui allineamenti, eccetera.

E' il programma che stabilisce, mediante una complessa serie di controlli automatici, quali PRenodi siano applicabili al Renodo vuoto in esame. Ovviamente può capitare che il Renodo allo studio non sia tra quelli già parametrizzati, e quindi la lista dei PRenodi applicabili può anche essere vuota.

In questo caso il Renodo andrà costruito con i comandi manuali di tipo generale.

In alternativa, l'utente della versione FULL potrà aggiungere un nuovo PRenodo al database dei PRenodi esistenti, costruendo parametricamente il Renodo vuoto allo studio: in questo modo, tutte le volte che in futuro si presenterà lo stesso tipo di Renodo, il PRenodo appena creato sarà disponibile.

E' molto importante comprendere che la diversità della dimensione delle membrature non comporta l'impossibilità di applicare il PRenodo al Renodo. La parametrizzazione, infatti, tiene già conto di questo fatto.

Vi sono casi in cui la parametrizzazione prevista per un ceto PRenodo non si sposa esattamente con le esigenze relative al Renodo allo studio. In questo caso il programma consente di modificare, "al volo", le scelte fatte al momento della parametrizzazione, dando luogo in modo guidato e semplificato, ad un Renodo diverso.

La creazione di un PRenodo è infatti assimilabile ad una lista di operazioni elementari che, partendo dal Renodo vuoto, conducono al Renodo finale.

Ciascuna di queste operazioni elementari è in generale parametrica.

Al momento della applicazione del PRenodo al Renodo, il programma chiede quali operazioni debbano essere eseguite tali e quali e quali operazioni richiedano invece delle correzioni da parte dell'utente.

L'utente può quindi far eseguire automaticamente "n" operazioni, e modificare interattivamente altre "m" dando luogo ad un Renodo finale che, sebbene ottenuto grazie al PRenodo, è diverso da quello originariamente previsto.

Oltre a ciò, l'utente, dopo aver costruito automaticamente il Renodo, può proseguire a modificarlo mediante i normali comandi di creazione e modifica del Renodo, pervenendo alla soluzione che più gli interessa. Per esempio potrà eliminare dei bulloni, oppure spostarli, o, ancora, eliminare o spostare alcuni cordoni.

Grazie a tutte queste funzionalità lo spettro di azione a disposizione dell'utente è davvero ampio.

## 140 FULL Fase 5: impostazione delle verifiche

La fase di impostazione delle verifiche è fondamentale per l'uso corretto di CSE.

Da un punto di vista operativo, essa viene compiuta mediante due distinti insiemi di scelte: quelle che riguardano le modalità di verifica di ciascun componente, e quelle che riguardano le modalità di esecuzione delle verifiche generali di ciascun Renodo.

La scelta delle modalità di verifica di ciascun componente include la scelta di quali verifiche eseguire e quali no,

e, nel caso delle verifiche FEM, la scelta del modo in cui eseguire quelle verifiche (ovvero se usare calcoli lineari o non lineari e con quali caratteristiche creare la mesh del componente).

Tutte queste scelte si fanno nel dialogo di aggiunta o di modifica di ciascun singolo componente.

Nel caso delle bullonature e delle saldature rientrano nelle scelte di verifica fondamentali le modalità di funzionamento statico delle bullonature e delle saldature. Ad esempio se una bullonatura sia solo a taglio, se non lo sia ove sia necessario un contrasto o no,

o, nel caso delle saldature, se queste siano a penetrazione o a cordoni d'angolo.

La scelta delle modalità di esecuzione delle verifiche generali, invece, viene compiuta mediante il comando Verifiche-Imposta,

Qui si decide quali famiglie di verifiche eseguire e quali no, e tale scelta rappresenta un secondo modo per decidere se certe famiglie di verifiche saranno o meno eseguite. Ad esempio si potrà scegliere di eseguire le verifiche delle sezioni nette delle membrature, che a livello di singola membratura si potrà aver deciso di non eseguire, per quella specifica membratura.

Le famiglie di verifiche eseguibili a livello generale sono le seguenti:

- verifiche semplificate dei tramite (lezione 334);
- verifiche di block tear (lezione 336);
- verifiche di rifollamento;
- verifiche di punzonamento;
- verifica delle sezioni nette delle membrature (lezione 333);
- verifiche utente (lezione 335, e tra queste le verifiche standard, lezione 380);
- verifiche FEM dei componenti per cui si è attivata tale richiesta
- verifiche di spostamento (lezione 370).

Il problema della verifica dei collegamenti è molto complesso: non esiste un unico approccio valido sempre e comunque, ma piuttosto, in funzione del tipo di problema da studiare, si potranno dover usare approcci differenti.

Certi tipi di verifica saranno utili in certi casi, ed inutili o non adeguati in altri casi. Una connessione logicamente identica, ad esempio la verifica di una terminale, potrà richiedere scelte differenti in merito alla superficie da adottare per simulare il contrasto, la sua legge costitutiva, il numero e tipo delle verifiche da eseguire (solo verifiche utente, solo verifiche FEM, entrambe, o nessuna delle due) in funzione di molti fattori quali lo spessore relativo della piastra, l'entità del carico che la sollecita, eccetera.

Scopo delle verifiche non è stabilire cosa succeda nella realtà fisica: nessuna verifica ha questo scopo. Piuttosto, scopo delle verifiche è sottoporre i componenti del Renodo ad un insieme minimo di controlli di tipo convenzionale, atti ad escludere certe possibili modalità di crisi del Renodo effettivamente costruito.

Non a caso alcune tra le migliori pubblicazioni oggi disponibili in merito al calcolo dei collegamenti prevedono, per ogni specifica tipologia, un certo specifico elenco di controlli. Tali controlli cambiano da caso a caso. Dato che CSE consente di creare Renodi liberamente, è in generale compito dell'utente stabilire, per il caso in esame, quale lista di controlli sia effettivamente necessaria.

In generale ogni controllo su modalità di crisi ha differenti modi per essere eseguito. Le stesse formule e metodologie previste dalle normative, sono sistemi convenzionali che hanno un certo ambito di applicabilità.

E' compito dell'utente comprendere le verifiche eseguite da CSE e scegliere quali tra queste meglio si attagliano allo specifico caso in esame. Per questo motivo, la ampia gamma di possibili controlli e scelte fattibile con CSE richiede che l'utente sia persona competente.

Nell'ambito della parametrizzazione dei nodi tipici, è possibile scegliere e preconfezionare anche le scelte in merito all'insieme di verifiche da eseguirsi, sollevando in questo modo l'utente dal compito di decidere. I PRenodi presenti in archivio sono distinti in due grandi famiglie per mezzo delle immagini che identificano il Renodo che verrà costruito.

La prima famiglia è quella dei PRenodi per i quali sia stato previsto e preconfezionato anche il corretto insieme di verifiche da eseguirsi: essi non hanno alcun segno distintivo nelle immagini che li descrivono. In questo caso le verifiche potranno essere eseguite direttamente e chi ha costruito il PRenodo ha anche previsto, preparandolo, quali verifiche fossero complessivamente necessarie, e con quali scelte.

Durante la fase di completamento di tutti i prenodi con l'aggiunta delle verifiche dei componenti, i prenodi già pronti per le verifiche possono essere marcati con un bollino verde.

La seconda grande famiglia è quella dei PRenodi per i quali le scelte in termini di verifica non siano state ancora previste, o non siano complete. In questo caso la prima immagine dovrà contenere un cerchio di colore rosso, e una volta costruito il Renodo mediante la applicazione del PRenodo, l'utente dovrà provvedere a fare le scelte necessarie.

CSE, sia nella versione FULL che in quella LIGHT, viene fornito con un database di P-Renodi, che si cerca di far appartenere alla prima famiglia (quelli pronti all'uso). L'utente della versione FULL che aggiunge nuovi PRenodi è consigliato di utilizzare la medesima convenzione per distinguere tra Renodi pronti all'uso (prima famiglia, nessun segno distintivo) e Renodi per i quali dovranno essere riviste le scelte in termini di verifica dei componenti (seconda famiglia, cerchio rosso).

Nel dialogo di impostazione delle verifiche vanno fatte anche le scelte relative alla normativa da adottare, agli eventuali fattori di sicurezza, alle impostazioni per il tabulato con i risultati, al controllo sugli spostamenti e, infine, alla definizione delle azioni di calcolo del nodo.

Per una descrizione dettagliata delle azioni interne utilizzabili per il calcolo, si rimanda alla lezione 330.

## 145 FULL Fase 6: esecuzione delle verifiche e analisi dei risultati

La esecuzione delle verifiche si compie eseguendo un solo comando, il comando Verifiche-Verifica!.

Una volta eseguito il comando è possibile vedere i risultati, studiarne il significato, ed eventualmente procedere a modifiche del Renodo atte a migliorarne il funzionamento.

Le verifiche hanno per risultato un indice di sfruttamento, vale a dire un numero puro minore di 1 se la verifica è soddisfatta, maggiore di 1 se non lo è.

Per ogni componente, in ogni combinazione di verifica, viene memorizzato solo l'indice di sfruttamento maggiore, e la verifica associata a questo indice. In generale infatti ogni componente viene sottoposto a più verifiche nella medesima combinazione di carico, e ciascuna di queste dà luogo ad uno sfruttamento diverso.

Gli sfruttamenti di involuppo sono gli sfruttamenti massimi su un certo componente al variare delle combinazioni di verifica ed al variare della istanza del renodo. La verifica di un Renodo, infatti, non riguarda solo tutte le combinazioni di carico, ma anche tutte le ripetizioni diverse del medesimo Renodo nella struttura.

Oltre alla mappa a colori con gli indici di sfruttamento in una data combinazione ed istanza del Renodo, è disponibile il tabulato, che deve essere inteso come uno strumento per ottenere tutte le informazioni di dettaglio necessarie a ricostruire le verifiche eseguite automaticamente dal programma. La mappa coi colori associati allo sfruttamento e il tabulato non esauriscono le informazioni che il programma dà in merito alle verifiche eseguite.

Per ogni verifica eseguita che dia luogo ad un massimo indice di sfruttamento in una data combinazione ed istanza, sono infatti disponibili a schermo numerose informazioni suppletive. Ad esempio per il block tear si potrà vedere il percorso di rottura. Per le sezioni nette il campo di tensioni normali sulla generica sezione netta, e così via.

I risultati delle verifiche sul contrasto e i risultati dell'analisi FEM sono invece disponibili anche nelle combinazioni in cui non danno luogo allo sfruttamento massimo. per le verifiche FEM si può vedere la mappa con gli sforzi di Von Mises (chiamando il programma esterno Sargon Reader, in dotazione a chi usa CSE, mediante un comando opportuno, da dentro CSE).

Il programma, come output, dà anche una deformata del Renodo e le forze scambiate tra ciascun componente e gli altri a esso collegati.

Tutte queste informazioni, se correttamente analizzate, danno una messe poderosa di informazioni che servono al progettista sia a orientare le sue scelte (accettare il renodo o modificarlo, e se modificarlo, come), sia a documentare nella sua relazione di calcolo quali scelte abbia fatto e a quali risultati sia pervenuto, grazie a CSE.

Ad esempio, anziché mostrare i calcoli relativi ad un presunto “T-stub equivalente”, il progettista potrà allegare l'analisi agli elementi finiti del pezzo che dimostri che non è stata superata la tensione di Von Mises corrispondente allo snervamento, o, ancora, nel caso di calcoli non lineari, che il pezzo non ha raggiunto la sua capacità portante (ovvero il carico limite).

In altri casi il progettista vorrà far capire che distribuzione di compressioni sul contrasto e trazioni nei bulloni porti la terna di azione assiale e momenti flettenti applicati a una bullonatura.

E così via.

## 150 LIGHT Fase 1a: importazione del modello, ricerca Jnodi

La versione LIGHT del programma è stata progettata per rendere più semplice ed immediato l'utilizzo del programma stesso, riducendo la necessità di conoscere il sottostante, articolato, insieme di dati gestiti.

Per questa ragione, la versione LIGHT non evidenzia l'uso del concetto di JNodo, evitando all'utente di dover selezionare JNodi o impiegare la vista corrispondente (peraltro sempre accessibile).

Per ottenere questo obiettivo, la versione LIGHT è stata concepita per gestire un solo JNodo-Renodo in ogni file. Ciò rende impossibile la importazione di modelli FEM completi, nei quali necessariamente i JNodi sono in generale numerosi.

Questa scelta potrebbe facilmente venir rimossa, ove si arrivasse alla conclusione che l'utente medio della versione LIGHT potrebbe imparare a gestire i JNodi senza dover dedicare troppo tempo e impegno all'apprendimento.

Al momento, dunque, con la versione LIGHT non è possibile importare modelli FEM già fatti.

## 151 LIGHT Fase 1b: creazione automatica del modello del nodo singolo

Dato che la versione LIGHT gestisce un JNodo-Renodo per volta, e dato che si vuole evitare all'utente di dover apprendere l'uso dei comandi per la aggiunta e modifica di singoli elementi finiti, per rendere il programma di immediato utilizzo, la versione LIGHT è concepita per consentire l'aggiunta automatica degli schemi elementari di nodi tipici (definiti per semplicità Nodi e non J-Nodi, come sarebbe più corretto: si veda la lezione 200).

La ricerca dei J-Nodi - logicamente necessaria - viene compiuta automaticamente dal programma, senza bisogno di eseguire alcun comando, portando l'utente direttamente a vedere il Renodo nella sua situazione iniziale, con le aste compenetranti e convergenti al nodo teorico ideale.

Il comando da eseguire è Nodi-Nodi tipici, corrispondente al primo bottone della barra a sinistra della interfaccia.

In questo modo, tutto diventa molto semplice ed immediato, anche se meno generale.

L'utente della versione LIGHT sceglie uno schema tipico relativo ad un nodo tipico all'inizio del suo lavoro.

Poi viene automaticamente portato a vedere il Nodo tridimensionale (il Renodo) nella sua situazione iniziale, non ancora costruito, con le sole membrature prive di lavorazioni.

## 160 LIGHT Fase 2: costruzione del Renodo

A differenza della versione FULL, che consente la libera creazione del Renodo, la versione LIGHT, che si immagina operare con nodi tipici, consente la creazione del Renodo soltanto mediante la applicazione di un opportuno P-Renodo, ovvero soltanto scegliendo tra una lista di possibili modi di costruire il Renodo, quello che l'utente preferisce.

Il vantaggio è che la costruzione del Renodo è automatica e immediata. Lo svantaggio è che il programma è meno generale. Ciò ne spiega anche il minor costo.

Ovviamente, dato uno schema, sono disponibili solo alcuni possibili Renodi, che sono in generale quelli più frequenti e tipici. In taluni casi può non essere disponibile alcun P-Renodo.

Operativamente, la costruzione automatica del Renodo viene fatta mediante il comando Nodi-Assegna nodo parametrico. Tale comando corrisponde al secondo bottone della barra di bottoni posta a sinistra della interfaccia.

Al crescere della biblioteca dei P-Renodi disponibili è possibile accrescere il raggio di azione della versione LIGHT di CSE. Si consulti la documentazione aggiornata per vedere il numero attuale dei P-Renodi disponibili (che sono 170 nella versione 4.40 di CSE, rilasciata nell'autunno 2011).

La costruzione del Renodo è meno rigida di quello che si potrebbe credere. Infatti, ogni nodo parametrico (P-Renodo) è visto come una lista di operazioni elementari parametrizzate. Ciascuna di queste operazioni può essere eseguita automaticamente così come a suo tempo prevista e parametrizzata da chi ha creato il P-Renodo, oppure può essere eseguita interattivamente, modificando in tempo reale le singole scelte a suo tempo previste da chi aveva creato il P-Renodo.

Ad esempio, il numero di bulloni di una bullonatura, inizialmente previsto parametrico, può essere fissato direttamente, ad esempio 3 righe per 2 colonne, e così le dimensioni dei piatti e di ogni componente. Là dove nella parametrizzazione è prevista una formula, è sempre anche possibile cambiare formula o inserire direttamente dei numeri.

Ciò consente di personalizzare il P-Renodo secondo le specifiche esigenze del progetto allo studio. L'unica cosa che non si può modificare è la tipologia, la logica del nodo: se ad esempio è prevista una saldatura, una piastra collegata di testa, o una doppia squadretta.

Oltre a modificare le singole operazioni nella fase di assegnazione del P-Renodo al Renodo, l'utente può modificare i singoli componenti mediante i normali comandi che ha anche la versione FULL.

L'utente della versione LIGHT ha però a disposizione un numero limitato di comandi, e ciò di fatto porta alla seguente conseguenza: l'utente della versione LIGHT può essenzialmente lavorare solo sui nodi tipici - eventualmente adattandoli un po' - presenti nella biblioteca dei P-Renodi.

Tale biblioteca di nodi, detta nodoteca, è in continuo aggiornamento ed ampliamento.

Dato che la versione FULL può costruire nuovi P-Renodi è possibile pensare di creare biblioteche di nodi vendute separatamente e capaci di ampliare il raggio di azione della versione LIGHT.

## 165 LIGHT Fase 3: eventuale modifica del Renodo costruito

La modifica del Renodo costruito può essere fatta per varie ragioni: le verifiche non sono risultate soddisfatte, o il proporzionamento dei vari componenti inizialmente previsto nel P-Renodo non si adatta alla situazione particolare allo studio.

La via maestra per modificare un Renodo nella versione LIGHT è azzerarlo e ricostruirlo cambiando alcune delle singole operazioni che, nel loro complesso, costituiscono il P-Renodo.

Per azzerare un Renodo non vuoto si usa il comando Nodi-Azzera nodo!, che corrisponde al terzo bottone della barra di bottoni posta a sinistra della interfaccia.

Riassegnando il P-Renodo al Renodo vuoto così ottenuto, sarà possibile modificare una o più delle singole operazioni che compongono il P-Renodo. In tal modo si potranno fare scelte diverse sulle dimensioni dei pezzi o sul modo in cui questi devono essere verificati.

Se si tratta solo di modificare le opzioni di verifica di un singolo componente, è in verità molto più semplice selezionare quel componente ed utilizzare il comando Nodi-Componenti-modifica.

Se invece si deve variare la dimensione di un pezzo (ad esempio il suo spessore) o il numero dei cordoni e dei bulloni, allora può essere conveniente agire sulle operazioni parametriche che, nel loro complesso, consentono la creazione automatica del Renodo.

## 170 LIGHT Fase 4: eventuale impostazione delle verifiche

Se il Renodo ottenuto è già pronto per le verifiche basta eseguirle. Se invece esso deve essere impostato per la corretta esecuzione delle verifiche allora l'utente vorrà:

1. scegliere per ogni componente le sue opzioni di verifica andando a "modificare" il componente stesso mediante il comando opportuno (Nodi-Componente-Modifica).
2. eseguire il comando Verifiche-Imposta, e fare delle scelte di tipo generale su quali verifiche eseguire e quali no, per tutti i componenti del Renodo.

Per quanto riguarda l'impostazione delle verifiche valgono in generale le osservazioni già fatte nella lezione 140, con questa importante differenza.

Dato che l'utente della versione LIGHT usa nodi pre-confezionati, è molto probabile che questi siano già stati impostati da chi li ha preparati. In tal caso i Renodi costruiti automaticamente sono anche pronti per essere verificati.

I P-Renodi pronti per essere verificati sono individuati dal fatto di avere un cerchio rosso nella prima delle immagini che li descrivono.

Come per la versione FULL, nel dialogo di impostazione delle verifiche vanno fatte anche le scelte relative alla normativa da adottare, agli eventuali fattori di sicurezza, alle impostazioni per il tabulato con i risultati, al controllo sugli spostamenti e, infine, alla definizione delle azioni di calcolo del nodo.

Per una descrizione dettagliata delle azioni interne utilizzabili per il calcolo, si rimanda alla lezione 330. Si ricorda che con la versione LIGHT, non essendo possibile importare modelli FEM esterni, non sono automaticamente disponibili le azioni interne calcolate nelle combinazioni di verifica definite in un modello esterno a CSE. È comunque possibile importare le combinazioni desiderate sotto forma di tabelle.

## **180 LIGHT Fase 5: esecuzione delle verifiche ed analisi dei risultati**

La esecuzione delle verifiche nella versione LIGHT di CSE e l'analisi dei risultati segue esattamente le stesse regole della versione FULL. Si rimanda quindi alla lezione 145, relativa alla versione FULL stessa.

Nella versione LIGHT, il comando per l'esecuzione della verifica del nodo ha un bottone diverso da quello della versione FULL.



## 200 TERMINOLOGIA: Nodo, Jnodo, Renodo

In un modello agli elementi finiti, o modello FEM, gli elementi si attaccano a ben precisi punti dello spazio, detti Nodi.

I Nodi hanno in generale sei gradi di libertà, tre traslazioni e tre rotazioni.

Per ragioni di mesh, non sempre i nodi di un modello agli elementi finiti rappresentano punti ove diverse membrane si connettono tra loro. Molti dei Nodi di un modello agli elementi finiti non corrispondono a "Nodi" nei quali le membrane trovino effettivamente una connessione tra loro.

I "Nodi" del modello agli elementi finiti ai quali corrispondono collegamenti tra più membrane tra loro, e/o con il riferimento sono detti J-Nodi (da Joint e Node).

Per poter distinguere i J-Nodi dai Nodi è necessario prima di tutto trasformare un modello a elementi finiti in un modello a membrature. Una membratura è un pezzo fisicamente unico, che non contiene connessioni al suo interno. Esso è in generale modellato mediante più elementi finiti di tipo beam o un elemento finito di tipo truss.

Esaminando il modello a membrane sarà possibile comprendere quali Nodi siano anche J-Nodi.

Se un certo numero **n** di membrane si connette in un Nodo esattamente come altre **n**, in un **diverso** nodo, ovvero **con i medesimi profili** e le **medesime mutue orientazioni**, è essenziale descrivere una volta sola i collegamenti, che sono gli stessi. Nella terminologia di CSE ciò corrisponde ad aver trovato diverse istanze (o ripetizioni) di un medesimo J-Nodo.

Dunque ad un J-Nodo possono corrispondere molte istanze diverse.

In generale, in una generica struttura, comparirà un numero di J-Nodi molto, molto minore del numero di Nodi del modello FEM originario.

Un J-Nodo conserva solo informazioni preliminari e non di dettaglio sul modo effettivo in cui i vari collegamenti sono realizzati.

Un J-Nodo è definito in uno spazio unifilare (wireframe) e non in uno spazio tridimensionale.

Un unico J-Nodo potrà corrispondere a molti diversi modi di realizzare fisicamente i collegamenti, che potranno essere saldati o bullonati, prevedere piastre di varia forma, o altri componenti.

Si può dire che un unico J-Nodo può corrispondere ad infiniti modi diversi di costruire fisicamente i collegamenti.

L'insieme di tutti i pezzi e di tutti i mezzi di unione che definiscono univocamente il modo in cui vengono fisicamente realizzati i collegamenti del J-Nodo, e l'insieme di tutte le regole di calcolo con cui si è deciso di calcolarli costituiscono quello che in CSE è detto **Renodo** (da **Real Node**).

Al Nodo, J-Nodo e Renodo corrispondono altrettante viste in CSE. La vista FEM, la vista JNodo e la vista Renodo. Le prime due sono unifilari, la terza è solida.

## 201 TERMINOLOGIA: Classificazione dei Jnodi

I Jnodi devono essere classificati al fine di consentire la successiva fase di calcolo automatico. Essi si dividono in alcune grandi famiglie.

Un JNodo si dice **gerarchico** quando ad esso convergono più membrature delle quali una, e una sola, prenda su di sé le altre. La membratura a cui si attaccano tutte le altre è detta **membratura master** ed ha sempre il numero 1 nella elencazione delle membrature di un JNodo. Le altre sono dette **slave**. Il master viene individuato dal fatto che nel Nodo corrispondente al JNodo esso **non presenta segni di connessione o svincoli**.

Un JNodo si dice **centrale** se tutte le membrature che affluiscono al JNodo si collegano ad un pezzo centrale, che le raccorda. Tale pezzo **non è una membratura ma un tramite**. Tutte le membrature che affluiscono al JNodo devono presentare ivi un segno di connessione o uno svincolo.

Un JNodo si dice **semplice** se è costituito da una sola membratura vincolata ad un riferimento.

Un JNodo si dice **cuspidale** se due o più membrature che affluiscono al JNodo (ovvero hanno come uno degli estremi il JNodo) sono ivi prive di segno di connessione o svincoli.

Un JNodo si dice **passante** se due o più membrature sono passanti nel JNodo. Una membratura è passante nel JNodo se i nessuno dei suoi due estremi coincide con il JNodo stesso.

## 202      **TERMINOLOGIA: Uniti, unitori, tramite, irrigidimenti**

I componenti di un Renodo si dividono in quattro grandi famiglie:

1. Gli **uniti**, ovvero **la o le membrature** che si collegano nel Renodo;
2. Gli **unitori**, ovvero i mezzi di unione come saldature o bullonature;
3. I **tramite**, ovvero quei componenti aggiuntivi come piastre o squadrette che non sono nè uniti nè unitori e che servono per trasportare le forze da un componente all'altro.
4. Gli **irrigidimenti**, che sono un particolare tipo di tramite (si veda la lezione 203).

## 203 TERMINOLOGIA: Irrigidimento vs tramite

Un tramite in CSE è un componente X che trasmette un certo insieme di forze **da un componente A ad un componente B**. Per definizione nessuna membratura può essere un tramite, e così, nessun layout di bulloni e nessun layout di cordoni. I tramite sono tipicamente piatti, tronchi di profilato e squadrette, semplici o doppie.

Un irrigidimento, in CSE, è un componente che trasmette forze da una parte di un componente ad un'altra parte **del medesimo componente**.

Sebbene certi tramite siano utilizzati, nel senso generalmente attribuito al termine, come irrigidimenti (per esempio i piatti che uniscono una colonna alla sua piastra di base), all'interno di CSE essi saranno semplicemente dei tramite, e **non** degli irrigidimenti.

La differenza è importante perché gli irrigidimenti, nel significato dato al termine **in CSE**, non sono soggetti ad alcuna verifica a meno che:

- sia fatta la verifica FEM del componente che irrigidiscono, chiedendo di trovare gli irrigidimenti presenti.
- Siano state aggiunte specifiche verifiche utente relative agli irrigidimenti stessi.

## 204 TERMINOLOGIA: Attacchi rigidi o elastici

Le azioni interne affluenti all'estremo ideale delle membrature possono essere globalmente in equilibrio tra loro, o richiedere forze aggiuntive, esercitate da vincoli.

In questo secondo caso, il JNodo è un **attacco**.

Se il vincolo è soltanto costituito da un vincolo nodale nel modello FEM, allora l'attacco è rigido.

Se invece sono anche (o solo) presenti elementi finiti come piastre, membrane, solidi o molle non presenti nel modello CSE, allora l'attacco è elastico.

## 205 TERMINOLOGIA: Contrasto

Una bullonatura soggetta a flessione può sostenere il momento applicato mediante la trazione di parte dei suoi bulloni e la compressione di una superficie che agisce come un contatto monolatero. Tale superficie appartiene ad un componente che è detto **contrasto**.

La superficie in questione è detta **superficie di contrasto**.

La definizione della superficie di contrasto e la definizione della legge costitutiva del contrasto sono fondamentali ai fini della determinazione del comportamento statico della bullonatura.

La superficie di contrasto deve tener conto della effettiva capacità del contrasto di esercitare le azioni di compressione richieste: zone troppo cedevoli non devono essere conteggiate come contrasto. Si rimanda alla lezione 801 per un approfondimento di questa problematica.

E' compito dell'utente adottare una superficie di contrasto ed una legge costitutiva del contrasto pertinenti per il problema in esame, in funzione della natura dei componenti collegati: semplici piastre, più o meno spesse, più o meno irrigidite, o superfici in calcestruzzo, impronte di profilati opportunamente orlate, eccetera.

## 207 TERMINOLOGIA: Variabile predefinita

Ogni componente inserito in un Renodo nasce con un ben definito insieme di variabili ad esso associate. Tali variabili sono dette variabili predefinite.

Le variabili predefinite sono molto utili nel caso in cui l'utente voglia aggiungere delle particolari verifiche da lui ritenute necessarie, dette verifiche utente.

Le verifiche utente sono in genere disequazioni che utilizzano sia le variabili predefinite che altre variabili, aggiunte dall'utente stesso, dette variabili utente.

Oltre alle variabili associate ad un certo pezzo, chiamiamolo A, tutte nella forma "A.", CSE aggiunge automaticamente anche delle variabili globali, riconoscibili dal prefisso "gl.", dove "gi-elle" sta appunto per "globali".

Le variabili predefinite possono avere differenti possibili dimensioni fisiche: possono essere lunghezze, aree, volumi, numeri puri, forze o coppie o unità da queste derivate.

Tra le variabili predefinite assumono un ruolo particolare le azioni interne agli estremi delle membrature. Ad esempio l'azione assiale della membratura 3 è identificata dalla variabile "m3.N".

## 208 TERMINOLOGIA: Variabile utente

Come dice il nome, le **variabili utente** sono variabili aggiunte dall'utente per semplificare la definizione di verifiche utente o per tenere sotto controllo grandezze ritenute utili ai fini del progetto.

Il nome delle variabili aggiuntive lo decide l'utente. Se una variabile aggiuntiva è associata ad un certo componente è bene che il suo nome cominci con il nome del componente seguito da un punto. Ad esempio **P1.whatever** o **P1.Nlim**.

È possibile definire anche variabili che assumono un valore diverso a seconda che siano verificate o meno determinate condizioni. Queste variabili sono dette "variabili con if", e per ogni condizione o valore possono essere definiti numeri o formule.

Se la prima condizione è verificata, la variabile assume il primo valore definito. Altrimenti, se la prima condizione non è verificata ma la seconda sì, la variabile assume il secondo valore, e così via.

## 209 TERMINOLOGIA: Verifiche utente

Non sempre le verifiche automatiche programmate all'interno di CSE sono sufficienti per il progettista. Talvolta può essere necessario spiegare al programma quali nuove, particolari verifiche eseguire, per ottenere certi scopi di progetto.

Le verifiche utente sono appunto disequazioni definite dall'utente al fine di descrivere verifiche particolari che egli/ella ritenga necessarie.

Generalmente le verifiche utente dipendono dalle azioni interne nelle membrature, o direttamente, quando nelle disequazioni appaiano direttamente variabili ad esempio del tipo **.N** o **.M2**, o indirettamente, quando nelle disequazioni di verifica compaiano variabili a loro volta funzione delle azioni interne agli estremi delle membrature.

Il programma, nell'eseguire le verifiche, **per ogni combinazione ed ogni istanza**, aggiorna i valori delle azioni interne delle membrature, prima di procedere alla valutazione di tutte le variabili e di tutte le condizioni di verifica aggiuntive.

Se una verifica utente è stata definita nella forma  $A < B$ , si può definire un **indice di sfruttamento** come  $A/B$ . Tale numero è un numero puro. Infatti la analisi dimensionale obbliga a definire A e B in modo che abbiano le medesime dimensioni fisiche.

Le verifiche utente sono uno strumento molto generale e molto potente nelle mani del progettista, che mediante esse può far eseguire a CSE esattamente ciò che ritiene necessario ai fini delle verifiche strutturali.

Sebbene la stragrande maggioranza delle verifiche sia compiuta **automaticamente** da CSE senza bisogno di verifiche utente, in certi casi è opportuno aggiungere delle verifiche utente per completare le verifiche fatte da CSE o per eseguire quelle verifiche in altro modo, in modo da ottenere risultati diversi ed **indipendenti**.

Non tutte le verifiche utente contengono al loro interno, direttamente o indirettamente, le azioni interne delle membrature. Talvolta le verifiche utente verificano il soddisfacimento di opportuni rapporti dimensionali o di opportune condizioni preliminari.

Un caso particolare sono le “verifiche standard”, che ripetono specifiche verifiche di normativa, previste per ben precisi problemi, trasformandole in formule del tutto indistinguibili da verifiche utente.

L'unica differenza è che in un caso le disequazioni vengono aggiunte **manualmente** dall'utente, mentre nell'altro caso il programma chiede solo alcune **informazioni di base** per aggiungere poi lui, **in modo automatico**, le necessarie disequazioni.



## 301      TEMATICHE: Modello degli oggetti in CSE

CSE è un programma molto generale, e ciò dipende dal fatto che il modello che esso impiega per descrivere gli oggetti tridimensionali è esso stesso molto generale.

In CSE un oggetto tridimensionale è **una collezione di facce piane**, il cui versore normale è uscente dalla faccia verso l'esterno dell'oggetto medesimo. Le facce descrivono, nel loro insieme, la superficie esterna del solido.

Tale rappresentazione, detta B-REP (Boundary Representation) consente di descrivere con ampia generalità un enorme insieme di possibili oggetti tridimensionali.

Ai fini del lavoro in CSE molte delle superfici curve degli oggetti più frequenti possono essere rappresentate mediante una serie di facce piane che simulano l'andamento curvilineo delle superfici curve degli oggetti reali.

La rappresentazione tridimensionale degli oggetti in CSE è molto vicina a quella degli oggetti reali, ed è in grado di cogliere correttamente problemi come la penetrazione tra oggetti diversi, la presenza di smussi, intagli, e lavorazioni di tipo molto generale.

Nel caso delle bullonature la rappresentazione in CSE è di tipo convenzionale. Se ogni bullone è definito da una testa, una vite una o più rondelle e un dado, in certe tipologie, e pezzi ancora diversi e complessi in altre tipologie, in CSE esso è rappresentato (nella vista Renodo ed in quella Solida), **come due prismi a base esagonale** che rappresentano rispettivamente **la testa della vite** ed **il dado**. Tali prismi hanno le reali dimensioni dei corrispondenti volumi del bullone reale.

La ragione di questa semplificazione è consentire una più rapida ed essenziale restituzione grafica, senza far perdere le informazioni fondamentali che sono:

- **la lunghezza netta del bullone**, ovvero lo spessore complessivo degli oggetti bullonati;

- **i piani che corrispondono alle superfici di contatto delle facce interne della testa della vite e del dado.**

**Nel caso delle saldature a cordoni d'angolo** la rappresentazione dei vari cordoni è convenzionale e simile a quella adottata dai modelli di calcolo. Ogni cordone è visto come un prisma a base triangolare.

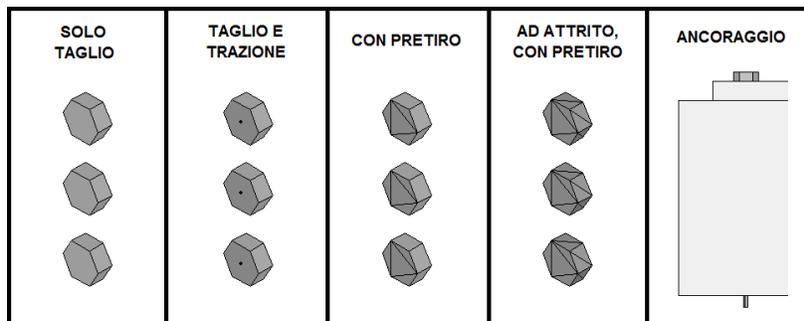
Nel caso delle saldature a penetrazione, la rappresentazione è convenzionale. Il materiale fuso all'interno dello spessore del pezzo saldato **non è rappresentato**. Il cordone viene rappresentato da un prisma a base triangolare, diversamente dimensionato rispetto a quello dei cordoni d'angolo, che simula uno "sbaffo" di materiale esternamente all'area saldata propriamente detta. In ogni modo la corretta informazione sulla penetrazione del cordone è correttamente conservata.

Gli oggetti cavi (ad esempio tubi) sono rappresentati mediante un taglio fittizio che consente di rendere il solido mono connesso. Tale taglio è presente solo ai fini della restituzione grafica degli oggetti.

## 302 TEMATICHE: Rappresentazione unitori in CSE

Nell'interfaccia grafica di CSE, i bulloni vengono rappresentati così:

- se sono solo a taglio, non hanno alcun segno distintivo;
- se sono anche a trazione, hanno un pallino al centro;
- se hanno un pretiro, viene visualizzato un triangolo sulla testa;
- se oltre al pretiro, la bullonatura è ad attrito, i bulloni hanno anche una diagonale sulle facce laterali della testa;
- infine, nel caso degli ancoraggi, la parte finale dell'ancoraggio esce dal blocco vincolo, così che possa essere facilmente individuata.



Quando si visualizzano i risultati delle verifiche (involuppo, deformate, ecc.) le convenzioni indicanti il funzionamento dei bulloni non vengono mostrate.

### 303      TEMATICHE: Identificazione degli oggetti in CSE

Nell'ambito della collezione di oggetti che definiscono un Renodo, è necessario stabilire un metodo che consenta la univoca identificazione di ciascun oggetto. Il metodo in questione è l'uso di brevi identificatori alfanumerici, unici per ogni componente. Tali identificatori costituiscono il prefisso delle variabili predefinite associate a ciascun componente. Ad esempio, P1.b indica la larghezza del piatto P1.

Le membrature hanno l'identificatore dato dalla lettera "m" seguita da un numero progressivo, a partire da 1 in poi. Se il JNodo è gerarchico, il master è sempre m1.

Le bullonature hanno l'identificatore costituito dalla lettera "B" seguita da un numero progressivo.

Le saldature hanno l'identificatore costituito dalla lettera "W" seguita da un numero progressivo.

Il blocco vincolo - che è generalmente unico, se presente - è identificato dalla stringa in sovrimpressioni ( |--| ).

Le piastre sono identificate da una sigla data dalla lettera "P" seguita da un numero progressivo.

I tronchi di profilato dalla lettera "T" seguita da un numero progressivo.

E così via.

L'utente è libero di cambiare gli identificatori, il programma propone un identificatore unico ogni volta che viene aggiunto un nuovo componente.

**Ogni identificatore è unico e può essere usato per un solo componente.**

Gli elementi finiti del modello FEM sottostante, sono identificati da un numero progressivo.

Le membrature sono identificate da un numero progressivo.

I JNodi sono identificati da una sigla alfanumerica del tipo “AA”, “AB”, eccetera.

## 304    TEMATICHE: Connessione

La connessione è un concetto fondamentale in CSE e va ben compresa.

Perché due componenti siano connessi essi devono presentare facce piane in contatto, in modo che le normali uscenti dalle facce abbiano verso opposto (diversamente i due oggetti si compenetrerebbero). Inoltre le due facce in contatto, giacenti sullo stesso piano, devono presentare una superficie in comune. Precisamente, la faccia del singolo bullone o del singolo cordone di saldatura, ovvero del singolo unitore, deve essere interamente contenuta nella faccia del componente collegato.

CSE riconosce automaticamente la connessione sulla base della posizione degli oggetti nello spazio, senza bisogno che l'utente indichi gli oggetti connessi.

Vediamo ora in dettaglio la connessione per le bullonature.

Ogni bullone è rappresentato da due prismi a base esagonale. Il primo simula la testa della vite, il secondo il dado. Se la faccia **interna** del prisma simulante **la testa della vite** giace interamente su una faccia dell'elemento A il bullone è connesso all'elemento A. Una bullonatura è connessa ad un elemento A se tutti i prismi associati alle teste delle viti presentano la faccia interna in contatto e tangente ad una faccia di A.

La connessione di una bullonatura è ri-costruita esaminando la connessione di ciascun suo bullone. **Tutti i bulloni di una bullonatura devono connettere gli stessi identici oggetti, nella stessa successione.**

Ogni singolo bullone ha un asse, ottenuto congiungendo i centri degli esagoni che rappresentano le facce estreme dei due prismi simulanti la testa della vite ed il dado. Il verso dell'asse va dalla testa della vite al dado. L'asse del bullone è normale alle facce esagonali.

La successione degli spessori degli oggetti connessi al bullone ne determina le connessioni. Un bullone può connettere sino a dieci spessori, in generale appartenenti a pezzi diversi.

Gli oggetti sono numerati progressivamente a partire dal primo, in contatto con la testa della vite, sino all'ultimo, in contatto con il dado. Il dado è in contatto con l'ultimo degli oggetti

collegati mediante la sua faccia esagonale **interna, complanare con la faccia dell'ultimo degli spessori collegati.**

Se il bullone viene spostato in modo che le facce non siano più tangenti a quelle degli oggetti collegati la connessione non può più essere riconosciuta. Ogni bullone ha due facce in contatto con altri oggetti: 1) quella interna **della testa della vite,** in contatto con il primo degli oggetti collegati, e 2) quella interna **del dado,** in contatto con l'ultimo degli oggetti collegati.

Il gambo del bullone non è modellato in CSE.

Una bullonatura può connettere da un minimo di due ad un massimo di 10 spessori, di oggetti in generale diversi.

Vediamo ora in dettaglio la connessione per le saldature.

Una saldatura è composta da un certo numero di cordoni, ciascuno dei quali connette due oggetti diversi. **Tutti i cordoni devono connettere gli stessi identici due oggetti.**

Nel caso dei cordoni d'angolo, due delle tre facce laterali del prisma che descrive ciascun cordone sono dette **facce attive.** Ognuna di tali facce è collegata ad un oggetto diverso.

Tutte le facce attive di ogni cordone che connettono l'oggetto A devono giacere su un medesimo piano "P", che è anche il piano di una delle facce dell'oggetto A.

Tutte le facce attive di ogni cordone che connettono l'oggetto B devono giacere su facce di B. Ognuna delle facce di B coinvolta deve avere un lato giacente sul piano P precedentemente definito. Tutti questi lati appartengono a facce giacenti sul piano P.

**Se il layout di cordoni viene spostato in modo che la condizione di tangenza sia persa, la connessione non può essere riconosciuta.**

In CSE ogni unitore può essere composto da sottocomponenti (singoli bulloni o singoli cordoni). Tutti i sottocomponenti devono collegare i medesimi oggetti. Non è possibile definire una bullonatura o una saldatura in cui alcuni sotto componenti collegano gli oggetti A e B, mentre altri collegano gli oggetti A e C. Se questo avviene, in sede di controllo di coerenza il programma dà un messaggio di errore.

### 305      TEMATICHE: Catene

Le azioni interne idealmente presenti all'estremo teorico di una membratura devono essere trasferite, dai collegamenti di quella membratura, ad **un altro** componente, che può essere **una membratura di riferimento** (nei jnodi gerarchici), **un pezzo che collega varie membrature** (nei jnodi centrali) **o un blocco vincolo** (negli attacchi).

In ogni caso le azioni interne idealmente applicate in un punto vengono smistate tra vari sotto-componenti e mezzi di unione (saldature e bullonature) seguendo **un percorso**, fisico e logico, che può essere ricostruito per mezzo del concetto di **catena**.

Una catena è una successione di componenti che partendo da una membratura "A" arriva ad un altro componente "B". Tra A e B possono essere presenti anche più catene.

Dato che due componenti possono essere uniti solo mediante unitori, le catene sono formate dalla successione di sequenze del tipo

$$C * J * C$$

Dove "C" sta per "generico componente", "\*" vuol dire "unito a", e "J" sta per "generico unitore" (*joiner* in inglese).

Al posto di C e J il programma metterà ovviamente il nome dello specifico componente e dello specifico unitore.

Ad esempio si consideri una singola colonna (membratura m1) saldata ad una piastra P1 mediante il layout di saldature W1, e la piastra sia poi imbullonata tramite la bullonatura B1 sul blocco vincolo |---|.

La catena corrispondente (unica) sarà:

$$m1 * W1 * P1 * B1 * |---|$$

La ricostruzione delle catene presenti in un Renodo **è fatta automaticamente da CSE** e serve a comprendere se la coerenza di un Renodo sia soddisfatta. In questo modo si può anche comprendere se una certa connessione sia stata correttamente compresa dal programma.



L'analisi delle catene consente al programma di comprendere se vi sono pezzi mal collegati o non collegati ed è quindi utile in fase preliminare di studio del Renodo.

## 306      TEMATICHE: Coerenza del Renodo

Ogni Renodo, per poter essere calcolato, deve essere coerente.

Ciò vuol dire che non ci devono essere situazioni prive di senso da un punto di vista computazionale, come:

pezzi non collegati,

unitori collegati solo a un componente,

unitori con sottocomponenti (singoli bulloni o singoli cordoni) che collegano pezzi differenti da quelli di altri sottocomponenti del medesimo layout, e così via.

Lo studio della coerenza del Renodo viene fatto con il singolo comando Renodo-Controlla coerenza. Tale studio dovrebbe sempre essere fatto prima di procedere alla verifica di un Renodo onde essere certi che tutto sia stato modellato correttamente.

## 307    TEMATICHE: Compenetrazioni

CSE è in grado di determinare quando due pezzi si compenetrano. Tale circostanza, fisicamente impossibile, deve essere evitata.

Sebbene convenzionale, la rappresentazione tridimensionale degli oggetti in CSE è abbastanza fedele da consentire un accurato studio degli ingombri e, appunto, delle eventuali compenetrazioni.

Ciò evita la progettazione di collegamenti impossibili.

### 308      TEMATICHE: Lavorazioni

Per **lavorazioni** si intendono quelle modifiche che vengono eseguite su un pezzo per adattarne la forma agli scopi di progetto.

Le lavorazioni possono essere:

- **Applicazione di smussi** (circolare, quadrato, triangolare) a spigoli di un componente;
- **Rotazione di una faccia** di un componente;
- **Traslazione di una faccia** di un componente;
- **Sottrazione di un frusto** a base **rettangolare**;
- **Sottrazione di un frusto** a base **poligonale**.

Le lavorazioni consentono di adattare pezzi nati con una certa forma a determinati scopi di progetto.

In particolare, gli smussi e le sottrazioni di frusto consentono di simulare il taglio di una parte di oggetto, ottenendo quindi forme complesse di tipo non prismatico.

Le lavorazioni vengono assegnate ad un oggetto ed applicate in successione.

## 310      TEMATICHE: Bullonature

Le bullonature sono sistemi di unione che possono funzionare in diverso modo. In CSE si possono applicare layout di bulloni tutti appartenenti ad un certo piano. Nel piano la distribuzione dei bulloni è libera.

Il piano che corrisponde all'ingresso dei bulloni nel materiale del primo pezzo da unire viene scelto dall'utente cliccando su una faccia di uno degli oggetti della scena.

Una prima fondamentale ripartizione è tra **bullonature solo a taglio** e **bullonature anche a momento**.

Le bullonature solo a taglio sono in grado di assorbire con una certa rigidezza **solo forze taglianti e momenti torcenti**, i quali tutti danno luogo a **tagli** nei gambi delle viti dei bulloni.

La rigidezza flessionale di bullonature solo a taglio è modestissima. Dunque eventuali momenti flettenti applicati **migrano verso altri componenti dotati di maggior rigidezza**.

Se questi **non** esistono la flessione viene comunque presa dalla bullonatura solo a taglio, **ma a prezzo di spostamenti (fittizi) molto molto alti**. Se ciò avviene il collegamento è mal progettato: o la bullonatura non può essere solo a taglio o mancano altre bullonature che, anche agendo solo a taglio, possano assorbire i momenti flettenti sollecitanti.

Se una bullonatura non è solo a taglio, **essa è in grado di resistere a momento flettente**. In questo caso è fondamentale la suddivisione tra **bullonature che usano un contrasto** per assorbire **la flessione** e bullonature che **non** lo usano.

Le seconde, quelle che **non** usano il contrasto, assorbono il momento applicato per mezzo di azioni di trazione e di compressione **nei gambi** dei bulloni. Tale ipotesi, sebbene a favore di sicurezza, è in molti casi troppo severa.

Se invece la bullonatura **usa** un contrasto, la flessione viene assorbita **dalla trazione di alcuni bulloni** e **dalla compressione del mezzo di contrasto**.

Il comportamento statico della bullonatura con contrasto è deciso dalla estensione della superficie di contrasto e dalla legge costitutiva del contrasto. Si vedano le lezioni 801 e 802 per approfondimenti.

Una bullonatura può funzionare **ad attrito**, ed in questo caso occorre specificare il coefficiente di attrito ed il pretiro dei bulloni.

Una bullonatura può essere **un ancoraggio**. In questo caso occorre specificare una lunghezza equivalente di ancoraggio e una tensione tangenziale di aderenza.

Le verifiche dei bulloni sono fatte sempre e in modo totalmente automatico da CSE.

## 320      TEMATICHE: Saldature

In CSE le saldature possono essere a completa o parziale penetrazione e a cordoni d'angolo (fillet welds).

Ogni cordone ha una sua sezione di gola o un suo spessore. I cordoni possono avere la lunghezza desiderata, e scorrendo lungo i lati della faccia prescelta (la faccia dell'oggetto B in contatto con l'oggetto A), essere posizionati liberamente.

La verifica delle saldature cambia a seconda che siano a cordoni d'angolo o a penetrazione.

Le verifiche delle saldature sono sempre fatte in modo totalmente automatico da CSE.

### 330      TEMATICHE: Azioni interne necessarie alle verifiche

Le verifiche dei componenti di un Renodo sono tutte fatte a partire dalle azioni interne presenti agli estremi ideali delle membrature collegate.

Queste azioni interne possono essere ottenute dal programma in vario modo.

1. Mediante un modello FEM esistente, già calcolato, con le combinazioni ivi definite, da cui il modello CSE derivi (**combinazioni FEM**).
2. Mediante un dosaggio dei limiti elastici delle sezioni trasversali delle membrature deciso dall'utente, e delle combinazioni fittizie generate dal programma (**combinazioni fittizie**).
3. Mediante un dosaggio dei limiti plastici delle sezioni trasversali delle membrature deciso dall'utente, e delle combinazioni fittizie generate dal programma (**combinazioni fittizie**).
4. Mediante un dosaggio di valori limite delle sollecitazioni elementari delle membrature deciso dall'utente, e delle combinazioni fittizie generate dal programma (**combinazioni fittizie**).
5. Mediante delle tabelle di valori decise dall'utente, per un numero di combinazioni deciso dall'utente (**combinazioni utente**).

Il metodo 1 può essere impiegato solo se esiste un modello FEM risolto.

I metodi 2, 3 e 4 differiscono solo perchè i valori di riferimento sono dati:

in un caso come frazioni dei limiti elastici (2),

in un altro caso come frazioni dei limiti plastici (3),

nel terzo caso come valori numerici espliciti (4).

In tutti e tre i casi l'utente definisce per ogni membratura **i valori di calcolo (i massimi possibili) delle sei sollecitazioni elementari** (sette se si tiene conto che la azione assiale è sdoppiata in trazione e compressione). Questi valori vengono poi combinati tra loro **dal programma**, dando luogo a **24 combinazioni fittizie per ogni membratura** presente nel Renodo.

Il metodo 5 è quello che consente la maggior libertà all'utente, che decide **sia il numero di combinazioni, sia gli esatti valori delle azioni interne concomitanti**. Operativamente l'utente può incollare una tabella Excel.

Tutte le 5 possibili scelte vengono fatte nel momento in cui si definiscono le impostazioni di verifica per il Renodo allo studio, con il comando Verifiche-Imposta.

### 331      TEMATICHE: Combinazioni fittizie, combinazioni utente, combinazioni FEM

CSE esegue le verifiche in tutte le combinazioni previste. Ogni combinazione prevede che le azioni interne agli estremi delle membrature assumano certi valori.

Se è stato importato un modello FEM già risolto, le combinazioni, dette **combinazioni FEM**, sono quelle stesse combinazioni definite nel modello FEM. Le combinazioni tengono effettivamente conto delle azioni interne di calcolo previste dal progetto.

Se invece le combinazioni sono quelle **fittizie** generate dal programma, queste combinazioni sono automaticamente generate da CSE a partire dalle sollecitazioni agli estremi delle membrature definite dall'utente. Tali combinazioni sono 24 per il numero di membrature. Per ogni membratura, le sue 24 combinazioni includono:

- sei combinazioni in cui sono presenti solo le sollecitazioni elementari **con il segno positivo**, senza altre sollecitazioni (solo azione assiale, solo taglio e così via). Tali sollecitazioni elementari **hanno le intensità decise dall'utente**.
- altre sei combinazioni usano i soli valori elementari delle sollecitazioni, come nel caso precedente, **ma con il segno negativo**.
- **Le altre 12 combinazioni** sono tutte ottenute combinando convenzionalmente la azione assiale N e i due momenti flettenti della membratura corrispondente.

Nel caso in cui le combinazioni siano generate automaticamente dal programma - **combinazioni fittizie** - il senso fisico è il seguente. Ogni membratura è saggiata separatamente per ogni sollecitazione elementare in modo da considerare tutti i possibili modi in cui si può staccare dal collegamento (6 + 6 combinazioni). Poi è saggiata per la contemporanea presenza di azione assiale e momenti flettenti (12 combinazioni, totale: 24 combinazioni per ogni membratura). I valori di riferimento possono essere opportune fattorizzazioni dei limiti elastici o plastici (anche per tener conto delle sovra resistenze) o valori esplicitamente definiti.

Infine, le **combinazioni utente**, definite dall'utente importando ad esempio una tabella Excel, usano **6n valori per ogni combinazione**, dove n è il numero delle membrature presenti nel

Renodo. Per ogni combinazione ed ogni membratura si devono dare **6 sollecitazioni elementari**, pensate agenti contemporaneamente.

### 333      TEMATICHE: Verifica sezioni nette delle membrature

Le membrature sono prismi alla De Saint Venant, e quindi per essi è possibile una modalità di verifica che aiuti a prescindere dalle verifiche FEM.

Il prisma viene scandito da piani normali al suo asse in tutti i punti in cui la sezione trasversale originaria sia stata modificata, a causa ad esempio di **smussi** o di **intagli di qualsiasi tipo**, o, ancora, a causa della presenza dei **fori dovuti a bulloni**.

Ciascuna delle sezioni "**nette**" viene calcolata con un complesso algoritmo che considera la sezione come composta da un vettore di poligonali chiuse, simulanti i "pieni" e i "vuoti".

In ogni sezione netta viene calcolato l'insieme delle azioni interne, azione assiale, tagli, momenti flettenti e momento torcente. Tali azioni **sono dovute ai singoli contributi dei singoli bulloni e delle singole parti di singoli cordoni**: tutti i contributi elementari stanno "**al di là**" della sezione netta, verso l'estremo teorico della membratura.

La sezione netta viene poi verificata con formule di verifica tipiche delle sezioni delle travi.

La verifica delle sezioni nette tende a eliminare la necessità di verifiche FEM, ma ogni caso deve essere considerato attentamente.

### 334      **TEMATICHE: Verifiche semplificate dei tramite**

Il problema della verifica di pezzi di forma complessa può essere affrontato, in certi casi, mediante l'uso di regole di verifica semplificate.

Per alcune tipologie di tramite è possibile chiedere al programma di eseguire queste verifiche semplificate.

Le verifiche vanno a considerare opportune sezioni del pezzo in esame, che sono generalmente di forma rettangolare, considerando le sollecitazioni che affluiscono a tali sezioni.

La verifica viene poi eseguita con le formule valide per la verifica di elementi beam, sommando i contributi dovuti alla azione assiale, al momento flettente, e ai tagli.

Le verifiche semplificate consentono a volte di evitare l'uso di più sofisticate forme di verifica, e si aggiungono alle verifiche di rifollamento e di punzonamento, nonché alle verifiche di block tear.

### 335      **TEMATICHE: Verifiche utente**

Talvolta è necessario istruire CSE sulla modalità di esecuzione di verifiche non previste dal programma.

CSE consente di definire in modo molto generale qualsiasi tipo di verifica necessaria, mediante la descrizione di formule di verifica che fanno uso delle variabili predefinite e delle variabili definite dall'utente.

Le verifiche così definite sono dette **verifiche utente**, e sono sempre associate ad un particolare componente tra quelli presenti nel Renodo.

La possibilità di definire verifiche utente consente di personalizzare il funzionamento di CSE facendogli eseguire virtualmente qualsiasi compito.

L'aggiunta di una verifica utente è molto facile, operativamente.

### 336      TEMATICHE: Verifiche di Block Tear

Le verifiche di block tear esaminano la possibilità che una parte di lamiera si stacchi sotto l'azione di un insieme di forze provenienti dai gambi dei bulloni.

Si tratta di verifiche ancora solo in parte formalizzate dalle normative.

CSE esamina il problema in modo generale, esaminando, per ciascuna bullonatura, le lamiere che questa connette.

Ogni lamiera ha in generale la forma **di un poligono** dotato di un certo spessore, e soggetto a forze concentrate provenienti dai gambi dei bulloni. Le forze hanno in generale **intensità e direzione diversa da bullone a bullone**, in ogni combinazione riferita ad ogni singola istanza di ogni Renodo.

Il programma esamina un ampio numero di possibili **percorsi di rottura**, sia a taglio che a trazione (che anche per situazioni di taglio-trazione), **pervenendo alla stima del carico di rottura per ciascun percorso**. Tale carico di rottura è poi paragonato alla azione risultante dalla somma delle azioni elementari del sotto insieme di bulloni coinvolti dalla rottura. Questa operazione dà luogo ad un coefficiente di sfruttamento. Il programma memorizza come sfruttamento dovuto al block tear il massimo sfruttamento al variare di tutti i percorsi di rottura esaminati, nella istanza-combinazione esaminata. Lo sfruttamento è associato al pezzo a cui appartiene la lamiera esaminata.

Sebbene normato, il problema del block tear **è ancora soggetto e studi e ricerche**. L'algoritmo usato da CSE è molto generale e cerca di dare una risposta anche in casi non previsti dalle normative (quando ad esempio il taglio sia eccentrico rispetto alla bullonatura).

## 350      TEMATICHE: Verifiche delle bullonature

**Le verifiche delle bullonature sono sempre eseguite da CSE, in modo automatico.** Le verifiche, partendo dalle sollecitazioni agenti sulla bullonatura nel suo complesso, **pervengono al taglio ed alla trazione presenti nel gambo di ciascun bullone.** Tali azioni elementari (N e V) sono poi usate per eseguire le verifiche di resistenza previste dalle normative.

**Il taglio dipende dalle forze taglianti applicate alla bullonatura ed al momento torcente.** La forza di taglio nel gambo dei bulloni dipende da entrambe le componenti di sollecitazione. La quota parte dovuta al momento torcente cresce linearmente con la distanza dal baricentro, ed ha una direzione perpendicolare alla congiungente il bullone con il baricentro della bullonatura, come previsto da tutte le normative esistenti sui collegamenti.

**La azione di trazione nei gambi (o in certi casi anche di compressione) dipende dalla azione assiale e dal momento flettente applicato alla bullonatura, nonchè dalle ipotesi sul suo funzionamento, in particolare dal fatto che sia o meno presente un contrasto.**

Noto il taglio agente su un gambo è possibile eseguire automaticamente la verifica di slittamento nelle giunzioni ad attrito. E' inoltre possibile eseguire la verifica a rifollamento.

Nota la trazione presente su un gambo è possibile eseguire la verifica a sfilamento nel caso in cui la bullonatura sia un ancoraggio. E' inoltre possibile eseguire la verifica a punzonamento.

## 360      TEMATICHE: Verifiche delle saldature

**Le verifiche delle saldature sono sempre eseguite da CSE, in modo automatico.**

Le verifiche, partendo dalle sollecitazioni agenti sulla saldatura nel suo complesso, **pervengono alla forza per unità di lunghezza assorbita da ciascun cordone lungo il suo sviluppo.**

Tale forza per unità di lunghezza è poi usata per eseguire le verifiche di resistenza previste dalle normative.

## 370      TEMATICHE: Verifiche di spostamento

CSE calcola gli spostamenti dei componenti del Renodo. Gli spostamenti così calcolati sono utili per giudicare se un collegamento sia ben posto, ovvero ben progettato, o no.

**Il calcolo degli spostamenti è di tipo convenzionale**: esso deriva dal modello di calcolo del Renodo, il quale, a sua volta, tiene in conto le rigidzze di tutti gli unitori presenti nel Renodo, nonché le loro modalità di funzionamento (ad esempio se una bullonatura sia solo a taglio, o no).

## 380      TEMATICHE: Verifiche standard

Alcune verifiche previste dalle normative non sono eseguite da CSE in modo automatico, poiché si riferiscono a ben precise situazioni di progetto che il programma non può riconoscere da solo.

E' molto facile aggiungere queste verifiche alle verifiche utente: basta spiegare al programma quale sia la situazione desiderata, e come debbano essere computati i dati di ingresso minimi.

Il programma aggiungerà da solo tutte le formule necessarie alle verifiche utente. **Da quel momento in poi le verifiche aggiunte saranno indistinguibili da normali verifiche utente.**

In generale per ogni verifica standard desiderata, il programma si limita a chiedere come valutare i dati di ingresso minimi (ad esempio quale sia il componente coinvolto, o quale sia l'azione di calcolo).

Dato che CSE **non gestisce solo situazioni semplici**, ma anche situazioni molto complesse, l'utente deve "spiegare" a CSE quali dati adottare.

### 390      **TEMATICHE: Segni di connessione nel modello FEM**

La presenza di segni di connessione nel modello FEM aiuta CSE a comprendere dove finiscano le membrature, e quali membrature debbano essere considerate non interrotte.

#### **I segni di connessione sono applicati generalmente agli elementi beam.**

Valgono le seguenti regole.

Un elemento truss non ha bisogno di segni di connessione: **esso costituisce sempre una membratura con collegamenti ai suoi estremi.** È comunque possibile applicare segni di connessione fittizi al fine di distinguere membrature altrimenti identiche.

Se all'estremo di un elemento beam sono presenti degli svincoli essi comportano sempre **anche** un segno di connessione, che viene, per così dire, aggiunto automaticamente.

Se è presente un segno di connessione ma non sono presenti svincoli allora l'elemento beam è incastrato nel nodo, **ma da un punto di vista costruttivo risulterà interrotto nel nodo stesso.** Esso non potrà dunque essere parte di una membratura master in un nodo gerarchico. Inoltre se oltre il nodo esiste un altro elemento con sezione identica, identicamente allineato, questo secondo elemento non potrà appartenere alla medesima membratura.

Se **NON** è presente uno svincolo e **NON** è presente un segno di connessione, allora l'elemento è **NON** interrotto nel nodo, **sia staticamente, sia costruttivamente.**

Si considerino quattro elementi identici, atti a formare una croce, tutti convergenti in un nodo. A due a due essi sono allineati, ed identicamente orientati. **A seconda di come si mettono o non si mettono i segni di connessione si potranno avere da due a quattro diverse membrature. Il nodo potrà dare luogo a un JNodo gerarchico, centrale, cuspidale o passante.**

Precisamente:

Nessun segno di connessione: due membrature passanti, **JNodo passante**

Quattro segni di connessione: quattro membrature . **JNodo centrale**

Un segno di connessione: tre membrature di cui una passante. **JNodo cuspidale.**

Due segni di connessione: tre membrature di cui una passante . **JNodo gerarchico**

Due segni di connessione: quattro membrature. **JNodo cuspidale.**

Tre segni di connessione: quattro membrature. **JNodo gerarchico**

## 400 INTERFACCIA: Interfaccia

In questo filmato vedremo tutte le parti in cui si divide l'interfaccia di CSE.

Innanzitutto sono presenti due viste: una **grafica** e una **alfanumerica**. Queste viste saranno descritte nel filmato seguente.

Nella vista grafica vengono visualizzate le diverse viste del modello CSE (fem, jnodi, renodo e solida), oltre ai risultati nelle sezioni nette delle membrature e sulle superfici di contrasto; nella vista alfanumerica vengono riportate, nei diversi pannelli che la compongono, numerose informazioni relative ai componenti, alle loro variabili predefinite, e alle variabili e condizioni aggiunte dall'utente. Per la descrizione dettagliata delle viste si rimanda al filmato 401.

Nella parte superiore si trovano i menu, contenenti tutti i comandi disponibili in CSE.

Una descrizione generale del menu è fornita nel filmato 500, mentre i filmati da 501 a 510 descrivono nel dettaglio i vari menu.

Sono disponibili 3 barre di bottoni, che contengono molti dei comandi dei vari menu, in modo da velocizzare e semplificare le varie operazioni.

Sotto al menu c'è la **barra dei comandi**, la barra laterale sinistra è la **barra renodo**; a destra, infine, c'è la **barra d'interrogazione**. La descrizione di queste tre barre è nel filmato 402.

In basso, sotto alle viste, c'è la **barra di stato**, in cui vengono riportate informazioni sul comando attivo.

In basso a destra sono riportate la combinazione di verifica e l'istanza del jnodo correnti, e le unità di misura attive.

## 401 INTERFACCIA: Viste

CSE dispone di due viste: una grafica e una alfanumerica, che possono essere attive alternativamente. Per attivarne una basta cliccare in essa.

Nella vista grafica è possibile visualizzare 4 diverse viste. È possibile passare da una all'altra quando la vista grafica è attiva.

-Nella vista fem si può costruire un modello fem partendo da zero, oppure se ne può importare, ed eventualmente modificare, uno creato esternamente con i programmi interfacciati con CSE.

- La vista jnodi contiene il modello a membrature e jnodi. Quando un solo jnodo è selezionato, si può accedere al renodo associato.

- La vista renodo contiene un singolo renodo tridimensionale: il collegamento può essere qui costruito con l'aggiunta di piastre, squadrette, tronchi di profilato generici, saldature e bullonature, con le loro ipotesi di funzionamento e calcolo. È inoltre possibile aggiungere nuove variabili e nuove condizioni associate ai vari componenti. È in questa vista che vengono eseguite le verifiche e sono disponibili gli strumenti per lo studio dei risultati.

- Nella vista solida verrà visualizzata, a lavoro ultimato, l'intera struttura completa di tutti i suoi collegamenti.

La vista alfanumerica può mostrare tre diversi pannelli: il pannello "renodo", il pannello "pezzi selezionati" e il pannello "variabili e condizioni".

Il pannello renodo contiene una lista di tutti i componenti del renodo corrente, raggruppati per tipo. Di ognuno di essi sono riportate proprietà e caratteristiche rilevanti.

Per le membrature sono forniti i seguenti dati: tipo di elemento (trave, colonna, ecc.), profilo sezionale, tipo di attacco al master, tipo degli elementi finiti interessati, classificazione dell'allineamento; sono inoltre disponibili le quote del profilo.

Per i tramite sono riportate le proprietà geometriche.

Per i layout di saldatura sono riportati il numero di cordoni e, se questi dati sono uguali per tutti i cordoni, lo spessore e la sezione di gola.

Per le bullonature sono riportati dati su diametro e classe dei bulloni, interassi, area netta e area lorda. Sono inoltre presenti le ipotesi di funzionamento del layout (ad esempio bulloni che lavorano solo a taglio, bulloni anche in compressione, eventuale pretiro, unioni ad attrito, unioni con contrasto, ecc.).

I pezzi correntemente selezionati nella scena sono evidenziati nel pannello renodo.

Il pannello “pezzi selezionati” contiene le stesse informazioni del pannello renodo, con la differenza che vengono riportati nella lista solo i componenti correntemente selezionati nella scena.

Cambiando lo stato di selezione degli oggetti la lista viene aggiornata in tempo reale.

Nel pannello variabili e condizioni sono elencate tutte le variabili predefinite di tutti i componenti e, qualora siano state definite dall'utente, anche tutte le variabili e le condizioni aggiuntive.

Le variabili predefinite sono proprietà dei componenti necessarie all'esecuzione dei calcoli automatici da parte di CSE, alla definizione di nuove variabili e condizioni da parte dell'utente, e sono utili per calcoli separati di controllo dei risultati. Esse sono ad esempio le tensioni di snervamento o di rottura, i moduli di resistenza, le azioni limite, i momenti d'inerzia, ecc.



Per le membrature sono disponibili delle variabili attualizzate nel corso delle verifiche: si tratta delle azioni interne al variare delle combinazioni. Queste variabili sono necessarie sia al calcolo automatico che alla definizione di condizioni di verifica aggiuntive da parte dell'utente.

## 402 INTERFACCIA: Bottoni

I comandi più frequenti di CSE hanno un bottone nell'interfaccia.

In questa lezione verranno elencati tutti i bottoni, preceduti dal nome del menu in cui si trova il corrispondente comando. Ad esempio, il comando “Apri” nel menu “file” verrà qui indicato come “File, Apri”, in modo che l'ascoltatore possa individuare la posizione del comando.

Per la descrizione del funzionamento si rimanda alle lezioni 500 e seguenti e 600 e seguenti.

- Bottoni nella BARRA DEI COMANDI

File Nuovo

File Apri

File Salva

File Fotografa

File Calcolatrice

File Stampa

Modifica Annulla

Modifica Ripristina

Mostra Assi di riferimento

Disegna Ridisegna

Mostra Punti Scena

Disegna Pan

Disegna Pan su, giù, destra, sinistra

Disegna Includi

Disegna Viste standard

Disegna	Vista standard corrente	
Renodo	Fissa orientazione corrente	
Disegna	Zoom in	
Disegna	Zoom out	
Disegna	Ultimo zoom	
Disegna	Estrai	
Disegna	Rimappa	
Disegna	Ruota antiorario, orario, su, giù	
Mostra	Fem	
Mostra	Jnodi	
Mostra	Renodo	
Mostra	Solido	
Modifica	Unità	
Modifica	sottomenu Seleziona	Nodi Unifilari Tutti Nessuno Con click Con box Con poligonale
Verifiche	Istanza precedente, successiva, imposta istanza	
Verifiche	Combinazione precedente, successiva, imposta combinazione	
Help contestuale		

- Bottoni nella BARRA LATERALE, o RENODO

Tutti i bottoni di questa barra si riferiscono a comandi che si trovano nei menu “renodo” e “verifiche”.

I comandi associati ai seguenti bottoni si trovano tutti nel menu “renodo”, che verrà omesso nell’elencazione. Verrà menzionato il sottomenu qualora il bottone si riferisce a un comando che si trova in un sottomenu del menu “renodo”.

Sottomenu membrature	Allunga/accorcia
Modifica	
Sottomenu componenti	Aggiungi tramite
	Aggiungi layout di bulloni
	Aggiungi layout di saldature
	Copia
	Ricopia
	Cancella
	Modifica
Sposta	
Sottomenu componenti	Ruota
Lavorazioni	
Controlla compenetrazioni	
Sottomenu variabili e condizioni	Aggiungi variabile
	Aggiungi condizione
	Modifica variabile o condizione
	Elimina variabile o condizione

I rimanenti bottoni di questa barra si trovano nel menu “verifiche”.

Verifica

Inviluppo

Risultati correnti

Interroga

Mostra risultati contrasto

Mostra risultati sezione netta

Mostra risultati fem componente

Mostra forze

Deformata

Scala deformata

Apri listato

- Bottoni nella BARRA D'INTERROGAZIONE

Tutti i bottoni di questa barra si riferiscono a comandi che si trovano nel menu interroga.

Interroga      Geometria

Interroga      Trova

Interroga      Nodi

Interroga      Travi

Interroga      Bielle

## 500 MENU: Menu

### 1. VERSIONE FULL

Vedremo ora una rapida panoramica dei menu di CSE. Ognuno di essi sarà poi trattato in un filmato dedicato, in cui verranno descritti l'utilizzo generale e i singoli comandi più immediati; infine, per i comandi più complessi, seguiranno filmati che entreranno nel merito del funzionamento di un comando alla volta, in modo dettagliato ed esauriente.

**Menu File:** contiene i comandi di apertura, chiusura e salvataggio di un modello, la gestione della stampa e della cattura di immagini, e i comandi per l'importazione e l'aggiornamento di un modello FEM creato con altri programmi agli elementi finiti.

**Menu Modifica:** contiene l'annullamento e ripristino degli ultimi comandi eseguiti, la scelta delle unità di misura, modificabili in qualsiasi momento, l'impostazione della lingua, dei suoni e della lunghezza dei tronconi delle membrature nella vista del renodo, nonché tutti i comandi per la selezione di oggetti.

**Menu Mostra:** contiene tutti i comandi relativi alle impostazioni di visualizzazione di oggetti, scritte, caratteri, colori, dimensioni, sistemi di riferimento; consente di visualizzare o nascondere la barra degli strumenti e la barra di stato; contiene i comandi per il passaggio dalla vista fem, a quella con jnodi e membrature, a quella del renodo tridimensionale, fino a quella solida della struttura finale.

**Menu Disegna:** contiene i comandi per la gestione della vista grafica: ridisegno, rotazione e traslazione della vista, zoom, viste predefinite, inquadramento automatico di tutti gli oggetti, estrazione di oggetti.

**Menu Interroga:** contiene i comandi di interrogazione sulle proprietà geometriche degli oggetti, sulle distanze tra nodi o punti, sulle azioni interne negli elementi finiti e, nella vista renodo, sulle sezioni delle membrature che presentano riduzioni dell'area lorda per la presenza di fori, tagli, smussi, ecc.

**Menu Fem:** contiene i comandi per la creazione di un modello completo agli elementi finiti e per la definizione e la ricerca automatica delle membrature. Tramite i comandi del menu fem è anche possibile modificare modelli importati da altri programmi.

**Menu Jnodi:** contiene i comandi per la ricerca automatica, l'interrogazione e la gestione dei jnodi, oltre alla creazione di un listato con tutte le informazioni relative ai jnodi stessi.

**Menu Renodo:** contiene tutti i comandi per la costruzione del collegamento tridimensionale tramite l'aggiunta alle membrature di piastre, squadrette, pezzi di forma generica, bullonature, saldature, barre d'ancoraggio, ecc. con le relative ipotesi di calcolo. Sono disponibili controlli automatici di compenetrazione tra gli oggetti e di coerenza dei collegamenti.

Il menu renodo consente inoltre di definire variabili e condizioni di verifica aggiuntive secondo i desideri dell'utente, che poi CSE eseguirà in modo automatico.

Permette di esportare l'intero renodo o alcune sue parti in formato dxf per Autocad, Intellicad e simili. Aggiunta: assegnazione PRENODI.

**Menu Verifiche:** contiene i comandi per l'impostazione e l'esecuzione delle verifiche, e tutti i comandi per la gestione del post processing (viste deformate, azioni scambiate, risultati su superfici di contrasto e sezioni nette, sfruttamento dei vari pezzi) nelle varie combinazioni di verifica e nelle varie istanze.

**Menu Modello 3D:** questo menu contiene i comandi per la gestione della vista 3D dell'intera struttura. I comandi sono disponibili, ma le funzionalità non sono ancora state completate.

**Menu Prenodo:** contiene i comandi per la registrazione e la gestione dei renodi parametrici. I renodi parametrici sono renodi registrati e salvati, che possono essere richiamati e applicati automaticamente a renodi simili. Le quote e i dati sono in forma parametrica, adattandosi quindi a renodi simili ma con differenze nelle dimensioni dei profili e nelle inclinazioni delle membrature.

**Menu Finestra:** consente di gestire viste multiple dello stesso modello o di più modelli.

**Menu Help:** contiene la guida in linea e le informazioni sul programma.

## 2. VERSIONE LIGHT

La versione LIGHT di CSE ha delle limitazioni nelle funzionalità e nei comandi, pertanto anche i suoi menu risultano ridotti e semplificati.

I menu *File*, *Modifica*, *Mostra*, *Disegna*, *Interroga*, *Verifiche*, *Finestra* ed *Help* sono sostanzialmente invariati, a meno di singoli comandi assenti nella versione LIGHT.

I menu *Jnodi*, *Modello 3D* e *Prenodo* non sono presenti, in quanto contengono funzionalità non disponibili nella versione LIGHT oppure totalmente automatizzate, come la ricerca dei Jnodi.

Infine, i menu *File* e *Renodo* della versione FULL sono stati condensati in un unico menu, chiamato *Nodi*. Nella versione LIGHT sono infatti disponibili solo alcuni dei comandi appartenenti ai due menu “originali”, poiché la versione ridotta consente solo la trattazione di tipologie di nodi standard. Tutti i comandi per la definizione libera degli schemi strutturali e per la costruzione libera dei nodi tridimensionali non sono quindi disponibili nella versione LIGHT. I comandi disponibili sono stati riuniti in un solo menu semplificato, che consente di definire uno schema strutturale e di applicargli uno dei collegamenti predefiniti presenti in archivio.

## 501 MENU: File

Il menu file contiene i seguenti comandi:

**Nuovo:** consente di iniziare una nuova struttura

**Apri:** consente di aprire un file memorizzato su disco rigido, disco esterno, CD-ROM o in rete

**Chiudi:** consente di chiudere la finestra attiva. Se il modello che si sta chiudendo presenta modifiche non salvate viene richiesto l'eventuale salvataggio.

**Salva:** consente di salvare su disco il lavoro svolto.

**Salva con nome:** permette di salvare la struttura in esame con un nome diverso da quello attuale. Il modello originario non verrà modificato.

Inoltre, se è presente un modello Sargon© o SAP2000 con lo stesso nome della struttura originale, anche di questo e di tutti i suoi file relativi (risultati, output, ecc.) verrà fatta una copia. In questo modo anche il modello-copia di CSE avrà a disposizione le combinazioni e le azioni interne del modello FEM di partenza, senza dover copiare e analizzare di nuovo anche il modello Sargon o SAP2000

**Salva configurazione:** consente di salvare le impostazioni correnti, in modo che in una successiva sessione di lavoro queste possano essere ritrovate. Le impostazioni sono salvate nel file "cse.sts" nella cartella di installazione.

**Stampa:** serve a mandare in stampa quanto si vede a schermo. Nelle stampe vengono aggiunte informazioni come la data e l'ora, il copyright, legende per facilitare la lettura, il nome dell'utente, ecc.

**Anteprima di stampa:** consente di vedere in anteprima ciò che verrà stampato.

**Imposta stampante:** consente di specificare le opzioni di stampa

**Titolo:** serve a scegliere un titolo che verrà poi inserito nelle stampe successive. Per cambiare il titolo rieseguire il comando. Per eliminare il titolo inserire una stringa vuota. [*click*]

**Fotografia:** comporta il trasferimento agli appunti del contenuto della vista attiva. In qualsiasi applicazione che gestisce bitmap (Word, Write, Excel, Paint, ecc.) sarà possibile incollare l'immagine così memorizzata.

I comandi “Importa modello fem” e “Aggiorna modello Fem” sono trattati a parte, nel filmato 600, in quanto richiedono una descrizione più dettagliata.

## 502 MENU: Modifica

Il comando **Annulla** consente di annullare l'ultimo comando eseguito. Sono previsti fino a 10 livelli di annullamento.

Il comando **Ripristina** comporta la riesecuzione dell'ultimo comando annullato.

I comandi Unità, seleziona e impostazioni sono trattati a parte, rispettivamente nei filmati 610, 611 e 612.

## 503 MENU: Mostra

Il comando **Barra degli strumenti** fa apparire o scomparire la barra di comandi principale.

**Barra di stato:** fa apparire o scomparire la barra di stato

**Assi di riferimento:** consente di impostare le opzioni per la visualizzazione degli assi di riferimento.

È possibile visualizzare gli assi nel modo standard, visualizzarli nell'origine o nasconderli.

**Fem:** consente di visualizzare nella vista grafica il modello fem, che può essere creato o modificato tramite i comandi del menu fem.

**Jnodi:** consente di visualizzare nella vista grafica il modello a membrane e jnodi. Se non è ancora stata eseguita la ricerca automatica dei jnodi vengono visualizzate solo le membrane; se neanche le membrane sono state ricercate la vista risulta vuota. È qui che si seleziona il jnodo da trasformare in renodo mediante la aggiunta dei componenti e delle lavorazioni.

**Renodo:** quando un solo jnodo è correntemente selezionato questo comando consente di visualizzare nella vista grafica il renodo corrispondente.

**Solido:** consente di visualizzare nella vista grafica il modello 3D dell'intera struttura, con tutte le membrane e le lavorazioni dei nodi studiati.

Il comando **Orientazione** è trattato nel filmato 620

Il comando **Modalità** è trattato nel filmato 621

**Dimensioni:** consente di cambiare la dimensione dei simboli usati dal programma per rappresentare varie entità. È possibile scegliere la dimensione del simbolo dei nodi, dei jnodi,

dei vincoli e degli svincoli, lo spessore di travi, bielle e membrature, delle azioni, delle forze scambiate, ecc. al fine di ottimizzare il comportamento a schermo o quello delle stampe.

Il comando **Oggetti** è trattato nel filmato 622

**Colori:** consente di cambiare i colori usati dal programma per rappresentare varie entità.

**Font:** consente di cambiare la dimensione il colore ed il tipo di font usati dal programma per stampare scritte e numeri.

Le modifiche ai parametri di visualizzazione possono essere salvate attraverso il comando **File-Salva configurazione**.

## 504 MENU: Disegna

**Ridisegna:** comporta l'immediato refreshing dello schermo che viene ridisegnato. Può essere utile quando, nel corso di comandi non modali, restano visibili due cerchi luminosi o nessuno, anziché uno. Anche nel corso di una rotazione di vista, in modalità renodo, può talvolta essere utile rinfrescare la vista del renodo, per aggiornare le superfici nascoste.

**Includi:** Questo comando, molto utile, consente di includere l'intera struttura, in modo che stia nello schermo nel modo generalmente migliore.

**Pan:** Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di un vettore stabilito dall'utente. Appena eseguito il comando vengono chiesti due punti interni alla finestra attiva. I punti possono essere scelti con il mouse o con la tastiera. Appena scelto il secondo punto la vista verrà traslata del vettore richiesto. *Esc* o il tasto destro del mouse interrompono il comando

I comandi **Pan Su**, **Pan Giù**, **Pan Destra** e **Pan Sinistra** servono per spostare il riquadro di vista di uno scatto in su, in giù, a destra o a sinistra. Per comodità usiamo direttamente i bottoni nella barra dei comandi.

**Zoom in** consente di ingrandire una zona dello schermo. Appena eseguito il comando si preme una prima ed una seconda volta con il tasto sinistro del mouse, definendo una regione rettangolare, che è la regione da ingrandire a tutto schermo.

**Zoom in Scatto:** consente di ingrandire di uno scatto il disegno

**Zoom out** e **Zoom out Scatto** hanno le stesse modalità di funzionamento dei comandi precedenti, con la differenza che comportano rimpicciolimenti del disegno, anziché ingrandimenti

**Ultimo Zoom** reimposta il livello di zoom precedente

**Vista Standard** dà accesso ad un dialogo che consente di scegliere una delle viste standard nel sistema di riferimento globale (x, y, z, -x, -y, -z, isometrica).

**Vista Standard** corrente funziona come il precedente, con la differenza che la vista viene definita nel sistema di riferimento corrente

**Rimappa** consente di cambiare la direzione della vista nella vista grafica, attraverso un opportuno dialogo. Premendo un tasto qualsiasi della tastiera, si accede a un ulteriore dialogo in cui è possibile digitare le tre componenti del vettore della vista in modo numerico; se si preme invece il tasto sinistro del mouse viene invece impostata la vista definita nel “mappamondo” virtuale.

I comandi **Ruota antiorario** e **Ruota orario** consentono di ruotare il vettore della vista di un angolo di 5° in direzione antioraria o oraria, su un piano orizzontale

I comandi **Ruota su** e **Ruota giù** consentono di ruotare il vettore della vista di un angolo di 5° verso l'alto o verso il basso, su un piano verticale.

Per comodità usiamo direttamente i bottoni nella barra dei comandi.

**Estrai** consente di “estrarre” alcuni oggetti in modo da vedere solo questi; quando si è già in estrazione l'esecuzione del comando fa uscire da essa.

È possibile estrarre in base ai gruppi scelti nella lista di sinistra e/o in base agli oggetti selezionati nella scena. Estraiamo ora gli oggetti selezionati.

**Fili fissi:** consente di gestire gli allineamenti presenti nel modello, definiti da equazioni di piano. Per ulteriori informazioni su questo comando si rimanda alla guida. **505 MENU:**

**Interroga**

Il menu “Interroga” contiene i comandi che permettono di conoscere caratteristiche del modello CSE relative alla geometria, alle proprietà degli elementi, alle azioni interne negli elementi finiti, alle sezioni nette delle membrature. È possibile inoltre individuare la posizione di nodi ed elementi in base al loro identificatore. Vediamo nel dettaglio i vari comandi.

Il comando **Geometria** consente di interrogare la distanza tra due nodi nelle modalità unifilari (fem e jnodi) o la distanza tra due punti della scena nella modalità renodo. Lo vedremo ora utilizzato nella vista fem.

L'utente clicca il primo nodo: nella prima riga del dialogo vengono riportati il numero identificativo del punto e le sue coordinate, nelle unità di misura attive; poi l'utente muove il cursore del mouse sul secondo nodo e nella seconda riga vengono riportati il suo ID e le sue coordinate; contemporaneamente nella terza riga vengono date la distanza totale e quelle lungo i tre assi globali tra il primo e il secondo punto.

Cliccando su un altro punto questo diventa il primo e viene riportato nella prima riga; muovendo il cursore su un nuovo secondo punto verranno date le nuove distanze, e così via fino all'interruzione del comando, col tasto destro del mouse o con ESC.

Il comando **Trova**, nelle viste fem e jnodi, consente di trovare un elemento tramite il suo numero o il suo identificatore.

Nel relativo dialogo vanno indicati il tipo di elemento e il suo ID. Nella vista fem si possono cercare nodi, travi e bielle tramite il loro numero identificativo, nella vista jnodi si possono trovare le membrature tramite il loro numero e i jnodi tramite la loro marca (AA, AB, AC, ecc.).

Cerchiamo ad esempio la trave 1: questa viene indicata con un pallino rosso e selezionata.

I comandi di interrogazione di **Nodi**, **Bielle** e **Travi** hanno un funzionamento simile e danno importanti informazioni sugli elementi scelti. Dopo l'esecuzione del comando compare un dialogo in cui sono riportate le informazioni relative al tipo di elemento scelto che si trova più vicino al puntatore del mouse. Scorrendo tra gli elementi le informazioni vengono aggiornate in tempo reale.

Per i nodi abbiamo, tra le altre informazioni sulla geometria e i vincoli. Si noti che cliccando un nodo, nel dialogo vengono riportati i suoi dati indipendentemente dalla posizione del cursore. Cliccando una volta il tasto destro (o premendo ESC) si scorre di nuovo tra i nodi; cliccando il tasto destro una seconda volta si interrompe il comando.

Per le travi vengono riportate, tra le altre, informazioni sulle incidenze, sugli eventuali svincoli agli estremi, sulla sezione e il materiale assegnati, sulle eventuali eccentricità e sull'orientazione.

L'interrogazione delle **bielle** è come quella appena vista per le travi, con la differenza che non ci sono alcune sezioni che non hanno senso per le bielle, come gli svincoli agli estremi (una biella è incernierata per definizione) e le eccentricità, disponibili solo per gli elementi beam.

Attraverso il comando di interrogazione **Azioni interne travi**, quando il modello FEM è stato importato da Sargon o SAP2000 e dispone di risultati di analisi statiche o dinamiche, è possibile conoscere le azioni interne sugli elementi trave nella combinazione corrente.

Alla sua esecuzione compare un dialogo, quindi l'utente clicca sull'elemento di cui vuole conoscere lo stato di sollecitazione e su di esso compare un pallino: muovendo il pallino con il mouse lungo l'asse dell'elemento, nel dialogo vengono visualizzate (in tempo reale e nelle unità di misura attive) le sei azioni interne nel sistema locale. Successive pressioni del tasto destro del mouse o di ESC prima riportano alla scelta dell'elemento, poi interrompono il comando.

Il comando di interrogazione **Azioni interne bielle**, funziona come quello appena visto per le travi, con la differenza che per le bielle l'unica azione interna presente è l'azione assiale.

Il comando di interrogazione **Sezioni nette**, relativo alle proprietà di quelle sezioni delle membrature che presentano riduzioni dell'area lorda a causa della presenza di fori, tagli, smussi, ecc, è utilizzabile nella vista renodo ed è trattato a parte nel filmato 630.

## 506 MENU: Fem

Il menu “fem” contiene tutti i comandi per la creazione di un modello completo agli elementi finiti e per la definizione e la ricerca automatica delle membrature. Tramite i comandi del menu fem è anche possibile modificare modelli importati da altri programmi.

L’importazione e l’aggiornamento di un modello fem da programmi esterni sono gestiti dagli appositi comandi del menu “file”.

Poiché tutti i comandi del menu “fem” richiedono una descrizione dettagliata, sono trattati singolarmente in filmati separati, riportati in sovrimpressione.

## 507 MENU: Jnodi

Il menu “Jnodi” contiene i comandi per la ricerca automatica, l’interrogazione e la gestione dei jnodi, il comando per l’estrazione delle membrature selezionate o affluenti ai jnodi selezionati, il comando per la creazione di un listato con tutte le informazioni relative ai jnodi stessi, e il comando per l’apertura del listato direttamente da CSE.

A eccezione di quest’ultimo comando, la cui esecuzione apre automaticamente il listato precedente creato, tutte le altre funzioni richiedono un’ampia trattazione e sono spiegate in filmati dedicati.

## 508 MENU: Renodo

→ Il menu “Renodo” contiene tutti i comandi per la costruzione **manuale o automatica** del collegamento solido associato a ciascun jnodo. La costruzione del collegamento avviene tramite l’aggiunta alle membrature di piastre, squadrette, pezzi di forma generica, bullonature, saldature, barre d’ancoraggio, ecc. con le relative ipotesi di funzionamento e di calcolo. Sono disponibili comandi per il controllo automatico di compenetrazione tra gli oggetti e di coerenza dei collegamenti.

Il menu renodo consente inoltre di definire variabili e condizioni di verifica aggiuntive secondo i desideri dell’utente, che poi CSE eseguirà in modo automatico.

Infine, un comando del menu permette di esportare l’intero renodo o alcune sue parti in formato dxf per Autocad, Intellicad e simili.

Poiché tutti i comandi necessitano di un’ampia trattazione, ognuno di essi è illustrato separatamente in uno dei filmati dal 670 al 699. **509 MENU: Verifiche**

Il menu “Verifiche” contiene i comandi per l’impostazione di tutti i parametri e le ipotesi relativi alla verifica dei componenti del collegamento, per la scelta della Normativa di riferimento, per le opzioni sul tabulato e sul controllo automatico degli spostamenti, e per l’esecuzione stessa delle verifiche. Contiene inoltre tutti i comandi per la gestione del post processing (viste deformate, azioni scambiate, risultati su superfici di contrasto e sezioni nette, sfruttamento dei vari pezzi, ecc.) nelle varie combinazioni di verifica e nelle varie istanze. Contiene infine un comando per l’apertura automatica del listato di output del renodo direttamente da CSE.

Poiché tutti i comandi necessitano di un’ampia trattazione sono trattati nei filmati, tematici o dedicati a una singola funzione, dal 700 in poi.

## 510 MENU: Finestra e Help

Il menu **Finestra** consente di gestire viste multiple dello stesso modello o di più modelli.

Il comando **Nuova finestra** apre nell'istanza di CSE una nuova finestra del modello corrente; è possibile avere quindi più finestre dello stesso modello, avendo ad esempio la vista del renodo tridimensionale in una finestra, del modello fem in un'altra, dei risultati su una superficie di contrasto in un'altra ancora, ecc.

Il comando **Sovrapponi** dispone tutte le finestre aperte nell'istanza, che siano relative allo stesso modello o a più modelli, in sovrapposizione l'una sull'altra.

Il comando **Affianca** ridimensiona tutte le finestre aperte in modo che possano essere visualizzate tutte contemporaneamente, senza sovrapposizioni. Un click in una finestra la rende attiva e si potrà lavorare in essa.

Il comando Disponi icone riallinea tutte le icone delle finestre rimpicciolite.

Il **menu Help**: contiene la guida in linea e le informazioni sul programma.

**Informazioni su CSE** apre il dialogo con le informazioni sulla versione in uso e sulla licenza.

**Argomenti della Guida** consente di accedere all'help in linea di CSE. **511 MENU: Prenodo**

Il menu p-renodo contiene i comandi per la registrazione di un nuovo p-renodo e per la gestione dell'archivio dei p-renodi disponibili. La barra P-renodo contiene i bottoni associati ai comandi di questo menu.

Il comando **Nuovo** fa iniziare la registrazione di un nuovo p-renodo. Da questo momento in poi, la costruzione del collegamento (aggiunta di bullonature, saldature, tramite, lavorazioni, ecc.) va fatta definendo le quote e gli altri dati in forma parametrica, in funzione delle variabili predefinite e delle eventuali variabili aggiuntive. Tutte le operazioni vengono memorizzate e in seguito sarà possibile applicare il p-renodo a renodi simili.

Il comando **Restart** consente di registrare nuove operazioni aggiungendole a un p-renodo già presente in archivio.

Il comando **Aggiungi immagine** serve per associare una nuova immagine al p-renodo che si sta registrando.

I comandi **Pausa** e **Continua** servono a mettere in pausa e a riprendere la registrazione. Le operazioni fatte durante una pausa non vengono memorizzate nel p-renodo.

Il comando **Salva** serve a salvare il p-renodo che si sta registrando.

Il comando **Abortisci** interrompe la registrazione del p-renodo senza salvarlo.

Il comando **Archivio** fa accedere al dialogo per la gestione dell'archivio dei p-renodi, dove è possibile cancellare o modificare i p-renodi presenti, aggiungerne di nuovi via testo, modificare le immagini associate, esportare l'archivio in formato txt o bin.



## 600 COMANDI: FILE – Importa/Aggiorna modello FEM

CSE è interfacciato direttamente con i programmi agli elementi finiti *Sargon* e *SAP2000*, dai quali è possibile importare in CSE modelli agli elementi finiti completi delle azioni interne in tutte le combinazioni di verifica definite. Inoltre, è possibile importare in CSE i modelli FEM creati con programmi che supportano il formato *sr3*.

Il comando per l'importazione di un modello FEM è **Importa** nel menu *File*. Il comando è disponibile quando è attiva la vista grafica e il modello corrente è vuoto. Si sceglie il percorso dove si trova il modello che si vuole importare (in questo caso un modello *Sargon* con estensione *wsr*) e lo si apre.

Immediatamente il modello viene importato in CSE: oltre alle proprietà geometriche, alle sezioni e ai materiali, ai vincoli e agli svincoli, sono presenti tutte le combinazioni di verifica definite nel modello originale e ognuna di esse contiene le azioni interne ai vari elementi calcolate attraverso analisi statiche o dinamiche.

Al momento dell'importazione di un modello vengono inoltre ricercate automaticamente le membrature secondo allineamenti e criteri su tipo di elementi, orientazione, continuità di sezione e materiale, svincoli e segni di connessione, ecc. Questi aspetti sono discussi nella lezione sulla ricerca delle membrature. Le membrature sono visibili nella vista *jnode*.

Se si importa un modello *SAP2000*, è necessario che sulla stessa macchina ci sia una *copia in uso di SAP2000*, aggiornato all'ultima versione. CSE, infatti, per importare il modello FEM esegue *SAP2000*, richiedendo anche la soluzione del modello stesso.

Se si utilizza un programma agli elementi finiti che supporta il formato *sr3*, con tale programma si deve esportare il modello desiderato nel formato libero *sr3*, quindi si importa questo file in CSE.

Il comando **Aggiorna**, disponibile quando è attiva la vista grafica, consente di evitare di ripartire dall'importazione qualora il modello originario abbia subito modifiche, mantenendo così tutto il lavoro già svolto in CSE che è possibile salvare.

→ È buona norma passare allo studio dei collegamenti in CSE dopo aver raggiunto la configurazione finale del modello FEM, con la geometria, i carichi e le azioni interne definitivi.

È però evidente che piccole modifiche al modello FEM non debbano implicare la perdita di tutto il lavoro sui collegamenti.

Tutte le modifiche che comportano cambiamenti dei jnodi a livello topologico (ad esempio modifica di un profilo o della sua orientazione, modifica dell'incidenza, eliminazione o aggiunta di un elemento) provocano la perdita delle lavorazioni fatte sui nodi reali, o *renodi*, associati ai *jnodi* interessati dalle modifiche. Gli altri renodi verranno invece mantenuti.

→ Se, ad esempio, vengono ridefinite le combinazioni di verifica nel modello originario, nessun jnodo ne sarà influenzato a livello topologico, e tutti i renodi saranno mantenuti. La sostituzione di un profilo HEB con un HEM comporterà invece la perdita delle lavorazioni su tutti i renodi coinvolti.

All'esecuzione del comando **Aggiorna** viene richiesto il modello FEM di riferimento. Aprendo tale modello, esso verrà confrontato con quello precedentemente memorizzato in CSE. Le membrature verranno ricercate nuovamente, i jnodi verranno aggiornati in modo automatico e tutti i renodi che è possibile mantenere saranno mantenuti.

In questo caso nel modello di partenza sono stati traslati verso l'alto i nodi dell'ultimo solaio: ciò comporterebbe la perdita delle eventuali lavorazioni fatte sui nodi evidenziati, in cui cambia l'incidenza dei diagonal, che potrebbe comportare modifiche agli attacchi.

Si raccomanda di usare questo comando con molta attenzione, in quanto l'utente potrebbe fare modifiche al modello non valutando correttamente l'impatto che queste avranno sulla topologia dei jnodi.

## 610 COMANDI: MODIFICA – Unità

Per modificare le unità di misura si utilizza il comando “unità”, nel menu modifica. È disponibile anche un bottone nella barra dei comandi.

All’esecuzione del comando compare un dialogo in cui si scelgono le unità di misura desiderate per le lunghezze, per le forze, ed eventualmente per la temperatura.

È possibile cambiare le unità di misura in qualsiasi momento. Tutte le informazioni vanno fornite al programma nelle unità correnti, e il programma restituisce grandezze espresse nelle unità correnti.

Sotto la vista grafica sono riportate le unità di misura correnti.

## 611 COMANDI: MODIFICA – Seleziona

I comandi per la selezione e la deselezione di oggetti si trovano nel menu “Modifica”. Nella barra dei comandi sono presenti i bottoni corrispondenti.

In seguito ci si riferirà al “cambiamento dello stato di selezione di un oggetto”: ciò significa che un oggetto correntemente non selezionato viene selezionato, e viceversa.

Le modalità di selezione e deselezione hanno alcune differenze in base alla vista grafica in cui ci si trova.

### VISTA FEM – VISTA JNODI

I comandi di selezione agiscono alternativamente sugli elementi adimensionali (nodi degli elementi finiti o jnodi, a seconda della vista) o sugli elementi unifilari (elementi finiti o membrature, a seconda della vista); al momento è attiva la selezione degli elementi adimensionali, che nella vista corrente, quella FEM, sono i nodi.

Il comando “Seleziona tutto” seleziona tutti i nodi, il comando “Deseleziona tutto” li deseleziona tutti. I nodi correntemente selezionati vengono evidenziati con un quadratino blu (il colore può essere cambiato nelle impostazioni).

Con il comando “Seleziona con il click” è possibile cambiare lo stato di selezione di un elemento cliccandolo con il tasto sinistro del mouse.

La selezione con box e quella con poligonale permettono di cambiare contemporaneamente lo stato di selezione di tutti i nodi che si trovano all’interno del box o della poligonale definita dall’utente. Per il box rettangolare vanno definiti due vertici opposti. Per la poligonale ogni click determina un nuovo vertice, e un doppio click chiude la poligonale.

Attivando la selezione degli elementi unifilari, gli stessi comandi appena visti agiscono sugli elementi finiti. Il click va effettuato in prossimità dell’asse di un elemento; il box e la poligonale cambiano lo stato di selezione di tutti gli elementi che hanno entrambi i nodi all’interno della linea chiusa definita.

Nella vista jnodi le modalità di selezione degli oggetti sono le stesse della vista fem, con la differenza che ora, anziché eseguire i comandi alternativamente sui nodi o sugli elementi finiti, la distinzione è tra jnodi e membrature. La selezione di un jnodo comporta l’istantanea selezione di tutte le istanze associate a quel jnodo.

## VISTA RENODO

Nella vista renodo ci sono solo oggetti tridimensionali, quindi non ci sono filtri di selezione in base alla dimensionalità.

I comandi “Seleziona tutto” e “Deseleziona tutto” funzionano esattamente come nelle viste fem e jnodi.

Nella selezione tramite click viene cambiato lo stato di selezione dell’elemento puntato dal mouse.

Nella selezione tramite box o poligonale viene cambiato lo stato di selezione degli oggetti che si trovano interamente all’interno della linea chiusa definita.

Nella vista renodo è inoltre possibile cambiare lo stato di selezione dei componenti attraverso il pannello “renodo” della vista alfanumerica: un doppio click del mouse sul nome di un componente seleziona o deseleziona quel componente nella scena.

## 612 COMANDI: MODIFICA – Impostazioni

Il comando “modifica impostazioni” si trova nel menu modifica ed è disponibile quando è attiva la vista grafica.

È possibile modificare la lunghezza dei tronconi di membratura che vengono visualizzati nella vista renodo. La lunghezza va espressa nelle unità di misura attive; la modifica di questo parametro ha effetto solo se viene fatta prima della ricerca dei nodi.

È possibile attivare o disattivare i suoni che segnalano l'eventuale compenetrazione tra componenti o il corretto inserimento.

È possibile stabilire, nelle unità correnti, una dimensione limite dei lati di una faccia a quattro lati, affinché questa sia considerata da CSE come bullonabile durante la ricerca automatica dei livelli di bullonatura.

Se una faccia a quattro lati ha almeno due lati minori del limite specificato, verrà considerata non bullonabile e scartata da CSE. In qualsiasi momento è possibile modificare questo parametro, e l'inserimento di una nuova bullonatura dipenderà dalle impostazioni correnti.



È possibile impostare un programma agli elementi finiti esterno con cui creare e risolvere i modelli FEM automatici dei componenti. Nell'apposito box, vanno indicate la cartella dell'applicazione che si intende utilizzare e l'applicazione stessa.

Infine è possibile cambiare la lingua dell'interfaccia di CSE: tutti i menu, i dialoghi, i comandi e i messaggi saranno visualizzati nella lingua scelta.

Per rendere attiva la modifica della lingua, si devono eseguire i seguenti passaggi: scelta della lingua desiderata, click su ok e, come ricordato nel messaggio che compare, eseguire il comando File-Salva configurazione, uscire da CSE e rilanciarlo.

Alla riapertura l'interfaccia di CSE si presenta nella lingua scelta.

## 620 COMANDI: MOSTRA – Orientazione

Il comando “Mostra orientazione” si trova nel menu “Mostra”.

È possibile mostrare l’orientazione di tutti gli oggetti presenti nella scena, di nessuno, oppure di quelli correntemente selezionati. La dimensione degli assi locali visualizzati può essere modificata.

Nelle viste fem e jnodi sono disponibili tre modalità di visualizzazione; nella vista renodo ve ne sono due.

### VISTE FEM E JNODI

Nelle viste fem e jnodi è possibile scegliere tra le seguenti rappresentazioni, tutte in corrispondenza del punto medio della trave o della membratura, a seconda della vista in cui ci si trova:

- rappresentazione sintetica: viene visualizzato solamente l’asse locale 2 degli elementi;
- rappresentazione completa: viene visualizzata l’intera terna locale degli elementi;
- rappresentazione dettagliata: viene visualizzata la forma sezionale degli elementi.

### VISTA RENODO

Nella vista renodo la rappresentazione dettagliata è priva di senso, in quanto la forma degli oggetti tridimensionali è già visibile. È possibile quindi utilizzare la rappresentazione completa e quella sintetica. Vediamo ad esempio la rappresentazione dettagliata, solo sugli elementi selezionati.

Al momento nessun oggetto è selezionato e nessuna orientazione è mostrata.



Cambiando lo stato di selezione degli oggetti, le rappresentazioni delle orientazioni sono aggiornate in tempo reale.

Per le bullonature e le saldature è mostrata l'orientazione dell'intero layout.

## 621 COMANDI: MOSTRA – Modalità

Attraverso il comando **Modalità** posto nel menu Mostra [click] è possibile scegliere la modalità di rappresentazione degli elementi finiti nella vista FEM e dei componenti nella vista renodo, cioè il nodo reale tridimensionale.

Per quanto riguarda gli elementi finiti, è possibile rappresentarli con colori diversi in base alla sezione... al materiale... al tipo (beam o truss)... al gruppo di appartenenza... alla snellezza massima... alla snellezza per flessione attorno ai due assi principali... oppure con un unico colore.

Per quanto riguarda i componenti del renodo, si può scegliere di visualizzarli con colori diversi in base al numero identificativo... di visualizzarli tutti dello stesso colore... di visualizzarli in base al tipo (membratura o tramite)... oppure di visualizzarli tutti in bianco.

Gli unitori, bulloni e saldature, sono sempre rappresentati in grigio.

Mostriamo ora i componenti del nodo in base al tipo. Le membrature sono mostrate in verde, i tramite in azzurro.

Mostriamo tutti i componenti con un unico colore.

Infine, mostriamo i componenti in base al numero. La membratura 1 e il tramite numero 1 sono dello stesso colore, così come la membratura 2 e il tramite 2.

Se si esegue il comando *File – Salva configurazione*, le modifiche alle impostazioni verranno memorizzate come predefinite per CSE.

## 622 COMANDI: MOSTRA - Oggetti

Attraverso il comando **Oggetti** del menu **Mostra** è possibile decidere quali oggetti visualizzare e quali nascondere nelle varie viste.

Nella sezione *Oggetti* si sceglie se visualizzare o meno i nodi, gli svincoli e i vincoli nella vista FEM; si indica se nella vista jnodi debbano essere visualizzati tutti i jnodi presenti o solo quelli selezionati; nella vista renodo si possono mostrare i nomi di membrature, tramite, bullonature e saldature.

Nella sezione *Numerazioni* si sceglie se mostrare le seguenti numerazioni: nodi, travi e bielle nella vista FEM; membrature nella vista jnodi; bulloni e cordoni nella vista renodo.

Nella sezione *Etichette* si sceglie se visualizzare le etichette sulla sezione e sul materiale nelle viste FEM e jnodi.

Alla pressione di OK, le impostazioni vengono applicate. Se si esegue il comando *File – Salva configurazione*, tali impostazioni verranno memorizzate come predefinite per CSE.

## 623 COMANDI: MOSTRA – Punti scena

Il comando “Punti scena” si trova nel menu “Mostra” ed è disponibile anche un bottone nella barra dei comandi; è utilizzabile quando è attiva la vista grafica renodo.

Questo comando serve a creare e a mostrare i punti notevoli desiderati sui componenti presenti nella scena. I punti creati sono anche visualizzati se è presente la spunta nella casella a sinistra; tali punti avranno la dimensione specificata. Se si sceglie di non mostrare i punti creati, essi saranno cliccabili ma non visibili.

Nella sezione di destra si sceglie quali punti debbano essere creati: i possibili punti notevoli sono: i punti a metà dei lati delle facce di tutti i componenti presenti; i punti ai terzi e ai quarti dei lati; i centri di tutte le facce; la posizione del nodo FEM teorico dei punti equispaziati su tutti i lati a partire dai vertici, con il passo specificato nell’apposita casella, nelle unità di misura attive. Se il valore è zero non saranno creati punti equispaziati; basta premere il bottone accanto alla casella per azzerare il valore.

È possibile creare contemporaneamente tutti i punti notevoli, ma per un utilizzo ottimale del comando si consiglia di utilizzare solo quelli necessari di volta in volta. Creiamo e visualizziamo ad esempio i punti ai terzi dei lati.

I diversi tipi di punti sono mostrati con colori differenti, definibili mediante il comando “mostra – colori”. Se si lavora in estrazione, verranno mostrati solo i punti degli oggetti correntemente estratti.

Oltre ai punti scelti, sono sempre visualizzati tutti i vertici.

I punti notevoli possono essere usati in tutti i comandi in cui è richiesto il click di punti nella scena. Possono quindi essere molto utili durante l’aggiunta di un tramite, per specificare una copia o una traslazione di componenti nelle modalità “faccia-punto” e “due punti”, ecc.

Durante il comando “interroga” geometria questi punti possono essere cliccati per conoscere le distanze da altri punti.



Le lavorazioni con sottrazione di frusto richiedono dei punti notevoli da definire nel dialogo delle lavorazioni stesse. Se si eseguono tali lavorazioni mentre sono visualizzati dei punti con il comando “mostra punti”, questi ultimi vengono nascosti per tutta la durata della lavorazione, e saranno nuovamente visibili una volta terminata la lavorazione.

## 630 COMANDI: INTERROGA – Sezioni nette

Le membrature possono presentare riduzioni della sezione lorda a causa della presenza di fori per bulloni o per lavorazioni di vario genere, come tagli, smussi, ecc. CSE scandisce tutte le membrature e individua le sezioni nette, cioè le sezioni ridotte rispetto a quella lorda.

L'utente può conoscere le sezioni nette trovate da CSE attraverso il comando di interrogazione delle sezioni nette che si trova nel menu "interroga" ed è accessibile quando è attiva la vista renodo e c'è una e una sola membratura selezionata.

Alla sua esecuzione si apre un dialogo in cui vengono riportate tutte le sezioni nette trovate da CSE. Se non vi sono sezioni nette, il dialogo sarà quindi vuoto, altrimenti viene visualizzata la prima sezione netta.

Sotto la figura è riportato il numero totale delle sezioni trovate, e sotto di esso il numero della sezione corrente e la sua distanza dall'estremo teorico della membratura. Con le frecce si scorre tra le varie sezioni.

CSE scandisce le sezioni lungo l'asse della membratura e riporta una sezione netta in corrispondenza del centro del foro di ogni bullone che incontra, restituendo una sezione per più bulloni allineati. Se ci sono bulloni vicini ma non allineati, nella sezione corrispondente al centro di un foro si vedrà parte dell'altro, esattamente come avverrebbe sezionando fisicamente il pezzo.

Inoltre CSE riporta sezioni nette in corrispondenza della variazione di sezione per l'asportazione di materiale con tagli, smussi, ecc.

Sotto la figura sono riportati area e moduli di resistenza della sezione netta corrente. Questi sono confrontati con quelli della sezione lorda, ma si tenga presente che trattandosi a priori di sezioni diverse, sono significativi solo se gli assi principali della sezione netta sono orientati come quelli della sezione lorda.

Cliccando su "copia" l'immagine della sezione corrente viene copiata negli appunti ed è possibile incollarla in documenti, relazioni di calcolo, ecc. Il bottone "stampa" manda

l'immagine in stampa. Il bottone “dati sezione” fa accedere a un dialogo con informazioni dettagliate sulla sezione corrente.

Abbiamo visto in questo esempio una sezione di tipo IPE; il comando funziona anche su sezioni più complesse, come le formate a freddo di forma generica.

## 640 COMANDI: FEM – Nodi

La gestione dei nodi è affidata ai due comandi che si trovano nel menu fem, sottomenu nodi, ed è disponibile quando è attiva la vista grafica, in modalità fem.

Il comando “Elimina” consente di eliminare tutti i nodi non referenziati, cioè ai quali non è attaccato nessun elemento finito.

Il comando “Modifica” fa invece accedere a un dialogo in cui è possibile modificare manualmente le coordinate di ciascun nodo, nonché di modificare i vincoli presenti su ognuno di essi. Inoltre è possibile eliminare i nodi non referenziati anche tramite questo dialogo.

I primi 6 nodi sono nodi all’infinito completamente vincolati, necessari alla definizione dell’orientazione degli elementi finiti.

I nodi dal 7 in poi sono quelli aggiunti dall’utente.

Modifichiamo ad esempio una coordinata del nodo 7 svincoliamo le sue rotazioni, ora impedisce. Il valore zero significa che il grado della colonna corrispondente non è vincolato.

... la posizione del nodo nella scena è stata modificata, e ora il vincolo non è più un incastro ma una cerniera.

## 641 COMANDI: FEM – Elementi (parte 1 di 3)

I comandi per l'aggiunta e la gestione degli elementi finiti si trovano nel menu fem, sottomenu elementi, e sono disponibili quando è attiva la vista grafica in modalità fem. Vediamoli uno per uno.

### AGGIUNGI

Nel dialogo che compare all'esecuzione del comando di aggiunta degli elementi finiti occorre specificare se si vogliono aggiungere travi oppure bielle.

Occorre quindi decidere quale sarà il terzo nodo delle travi che saranno aggiunte durante questo comando. Un qualsiasi nodo di quelli già presenti nel modello FEM può essere utilizzato come terzo nodo; inoltre sono sempre presenti 6 nodi predefiniti all'infinito vincolati che possono essere usati come terzo nodo. Tali nodi predefiniti sono:

- nodo 1: nodo all'infinito in direzione +y
- nodo 2: nodo all'infinito in direzione +z
- nodo 3: nodo all'infinito in direzione +x
- nodo 4: nodo all'infinito in direzione -y
- nodo 5: nodo all'infinito in direzione -z
- nodo 6: nodo all'infinito in direzione -x

Il terzo nodo individua il piano 1-2 dell'elemento: l'asse locale 3 è infatti definito come il prodotto vettoriale tra l'asse locale 1 e il vettore “terzo nodo meno primo nodo dell'elemento”.

Il comando prevede due modalità operative: nella prima (definita singola) l'utente aggiunge una serie di elementi che in generale non hanno in comune alcun nodo. Un elemento qui, uno lì, eccetera. Nella seconda modalità operativa (multipla) l'utente aggiunge una serie di travi che hanno questa proprietà: il primo nodo di ogni trave successiva alla

prima coincide con il secondo nodo della trave precedente. Utilizzeremo ora la modalità singola.

Premiamo la barra spaziatrice per accedere al dialogo di inserimento del primo nodo del primo elemento. Definiamo le coordinate del nodo, nelle unità di misura correnti (in questo caso i mm).

Premiamo nuovamente la barra spaziatrice per inserire il secondo nodo. Ora vanno definite le coordinate relative del secondo nodo rispetto al primo: spostiamoci di 2000mm in direzione z.

Clicchiamo ora uno dei nodi già presenti, in modo che diventi il primo nodo dell'elemento successivo.

Premiamo la barra spaziatrice per definire il secondo nodo in coordinate relative rispetto al primo: spostiamoci di altri 2000mm in direzione z.

Per inserire una trave orizzontale, clicchiamo il nodo centrale, premiamo la barra spaziatrice e definiamo un secondo nodo a -2500mm dal primo in direzione x.

Abbiamo ora la geometria unifilare di un collegamento trave-colonna.

## **CANCELLA**

Il comando “cancella” comporta l'immediata cancellazione di tutti gli elementi finiti selezionati. Se dopo l'eliminazione ci sono dei nodi non referenziati, questi vengono mantenuti (si veda la lezione inerente alla gestione dei nodi).

## **ORIENTAZIONE**

Attraverso il comando “orientazione” è possibile modificare l'orientazione degli elementi correntemente selezionati, attraverso tre diverse modalità:

- definizione di un terzo nodo che sostituisce quello precedentemente assegnato
- definizione delle tre componenti di un vettore che individua il piano 1-2 della terna locale dell'elemento: l'asse locale 3 risulta infatti pari al prodotto vettoriale tra l'asse 1 e il vettore definito
- definizione delle tre componenti di un vettore che individua il piano 1-3 della terna locale dell'elemento: l'asse locale 2 risulta infatti pari al prodotto vettoriale tra il vettore definito e l'asse 1

Assegniamo ad esempio il terzo nodo 3 (all'infinito in direzione +x) agli elementi verticali correntemente selezionati, in modo da ruotarli di  $90^\circ$ .

## 642 COMANDI: FEM – Elementi (parte 2 di 3)

### SEZIONI

Attraverso il comando “Sezioni” è possibile assegnare la forma sezionale desiderata agli elementi correntemente selezionati, scegliendo tra gli oltre 10000 profili presenti in archivio. Attraverso il software SAMBA è possibile espandere ulteriormente l’archivio aggiungendo nuove sezioni secondo le esigenze dell’utente. Le sezioni possibili sono saldate, laminate, composte e formate a freddo, delle più svariate forme.

Spuntando le caselle relative al gruppo o ai gruppi sezionali desiderati è possibile filtrare le sezioni presenti; è possibile inoltre eseguire una ricerca per nome, secondo limiti che le sezioni devono soddisfare, e secondo criteri di progetto. I vari filtri sono sovrapponibili.

Per una loro descrizione dettagliata si rimanda alla guida o all’help in linea.

Premendo “archivio” si accede alla lista di tutte le sezioni in archivio che soddisfano i filtri impostati, con le relative proprietà sezionali espresse nelle unità di misura correnti; se non c’è alcun filtro si accede all’intero archivio.

Premendo invece “modello” si accede alla lista di sezioni già utilizzate nel modello, che possono essere assegnati agli elementi correntemente selezionati.

Vogliamo assegnare alla colonna un profilo del tipo HEB: spuntiamo quindi la casella corrispondente. Accediamo all’archivio e scegliamo un profilo HEB 220. Cliccando sulla figura si accede a un dialogo con ulteriori informazioni e caratteristiche della sezione.

Premendo OK la sezione scelta viene assegnata agli elementi correntemente selezionati. È anche possibile determinare un angolo di rotazione del profilo prima dell’inserimento.

Attraverso il comando “materiali” si accede a un dialogo da cui si può scegliere uno dei materiali già presenti nel modello oppure, attraverso il comando archivio, si può scegliere un materiale dall’archivio di CSE, ulteriormente espandibile con il software SAMBA.



Prima di accedere all'archivio è possibile impostare filtri in base alla normativa di riferimento, alla tensione di snervamento o a quella di rottura.

Scegliamo l'acciaio S235 e applichiamo agli elementi selezionati. Le sue caratteristiche sono riportate nelle unità di misura correnti.

## 643 COMANDI: FEM – Elementi (parte 3 di 3)

Attraverso i comandi “eccentricità”, “snap su luogo” e “reimposta eccentricità” è possibile gestire gli offset rigidi degli estremi degli elementi beam rispetto ai nodi. La presenza di eccentricità influisce sulla ripartizione delle azioni nel modello, permette di definire opportuni allineamenti tra le membrature e di evitare compenetrazioni tra gli oggetti solidi, in modo da preparare al meglio i collegamenti, riducendo le lavorazioni successive durante la costruzione dei renodi tridimensionali.

Il comando “Eccentricità” fa accedere a un dialogo in cui è possibile assegnare eccentricità assolute o incrementi rispetto a eccentricità preesistenti [*callout arrow*], definendo tali eccentricità nel sistema di riferimento globale o in quello locale di ciascun elemento

Attraverso la modalità manuale, si cliccheranno poi nella scena tutti gli estremi a cui si vuole applicare l’eccentricità; attraverso la modalità automatica, alla pressione del bottone OK le eccentricità definite verranno applicate a tutti gli estremi precedentemente selezionati. L’estremo di un elemento è selezionato se lo sono il nodo e l’elemento beam a cui l’estremo è associato.

Attraverso le spunte è possibile attivare le modifiche all’eccentricità solo rispetto alle componenti desiderate, con entità pari a quelle specificate nelle relative caselle.

Assegniamo ad esempio un’eccentricità assiale assoluta, con modalità manuale e nel sistema di riferimento globale, all’estremo della trave orizzontale nel collegamento con la colonna, in modo che non ci sia compenetrazione.

Definiamo una eccentricità lungo x pari a  $-110\text{mm}$ , cioè uguale alla semialtezza del profilo della colonna...

... e clicchiamo nella scena l’estremo della trave.

Il segmento nero rappresenta l’offset rigido, l’asse dell’elemento risulta ora più corto. È naturalmente possibile definire eccentricità normali all’asse di un elemento, e assegnare offset differenti ai due estremi dello stesso elemento.

Il comando “Snap su luogo” consente di assegnare a entrambi gli estremi di tutti gli elementi correntemente selezionati delle eccentricità, normali all’asse dell’elemento, definite automaticamente in modo che un punto desiderato della sezione vada a giacere sul piano specificato dall’utente. Il comando può quindi essere effettuato solo su elementi beam con forma sezionale attribuita.

Ogni profilo sezionale ha quattro punti notevoli chiamati rispettivamente Top, Bottom, Right e Left of Steel. Per la loro definizione si rimanda alla guida o all’help contestuale (basta premere F1 quando ci si trova in un dialogo per accedere alla pagina relativa all’argomento).

Il piano va definito nella forma  $ax + by + cz = d$  attraverso i coefficienti a, b, c e d. É inoltre possibile selezionare piano definiti in precedenza attraverso il comando “Fili fissi”.

Premendo OK CSE calcola e assegna le eccentricità necessarie affinché il punto della sezione scelto di tutti gli elementi selezionati vada a giacere nel piano definito.

Vogliamo ad esempio dare alla colonna un offset di 20mm in direzione x: definiamo un piano  $x=130$  (110 è la semialtezza del profilo, più 20mm) e chiediamo che il top of steel, la parte esterna della flangia superiore, giaccia su di esso.

Se interroghiamo le eccentricità degli elementi trave vediamo che CSE ha aggiunto degli offset rigidi di 20mm in direzione x.

Il comando “Reimposta eccentricità” riassegna le eccentricità ad alcuni elementi beam del modello cancellando le eccentricità precedentemente definite su di essi. La applicazione delle eccentricità dipende dalle seguenti condizioni:

- a) L’elemento deve appartenere ad una membratura “slave” di un JNODO gerarchico
- b) Tutti gli elementi finiti che compongono la membratura devono essere selezionati così da poter considerare selezionata la membratura medesima.

Il comando per prima cosa analizza il modello agli elementi finiti trasformandolo in background in un modello a membrature. Tale operazione dipende dalle seguenti caratteristiche del modello:

- orientazione delle terne locali;
- assegnazione dei profili e dei materiali;
- presenza di svincoli o di segni di connessione senza svincoli;
- natura degli elementi (se travi o bielle).

Per la descrizione dettagliata del comando si rimanda alla guida o all'Help.

In sostanza gli elementi slave di tipo beam selezionati appartenenti a un jnodo gerarchico vengono interrotti con offset assiali valutati in funzione della mutua giacitura con il master.

Poiché ora non abbiamo un jnodo gerarchico il comando reimposta eccentricità non è applicabile.

Per maggior chiarezza tutte le eccentricità sono state rimosse.

È stato assegnato un segno di connessione alla trave orizzontale nell'estremo in cui si collega alla colonna: se eseguiamo ora il comando "reimposta eccentricità", trattandosi ora di un nodo gerarchico, il comando accorcerà l'elemento beam orizzontale.

Interroghiamo l'eccentricità della trave

CSE ha aggiunto un'eccentricità di 110mm, pari alla semialtezza del profilo. In questo modo non ci sarà compenetrazione tra le membrature solide.

## 645 COMANDI: FEM – Nodi tipici

### VERSIONE FULL

Il comando “nodi tipici” si trova nel menu “FEM” ed è disponibile quando è attiva una vista grafica fem vuota.

Il comando consente di creare in modo automatico un modello FEM del collegamento che si desidera studiare.

All’esecuzione del comando si accede a una serie di dialoghi che presentano i collegamenti disponibili, divisi per tipologia. Giunti di prosecuzione, giunti trave-colonna, giunti trave-trave, collegamenti a terra, controventi, nodi di travi reticolari. Per alcune strutture è necessario introdurre delle quote che definiscano la geometria dello schema. Le quote richieste sono mostrate nelle immagini.

Scegliamo ad esempio un nodo trave colonna.

In questo dialogo dobbiamo definire le proprietà del nostro giunto.

Possiamo definire un nuovo materiale oppure sceglierne uno dall’archivio.

Applichiamo l’S235.

Anche per le sezioni è possibile definire nuove forme o scegliere dall’archivio.

Prima di accedere all’archivio, definiamo un filtro sulla tipologia sezionale, ad esempio HEB. Premendo il bottone Archivio, vengono proposte solo le sezioni del tipo scelto.

Scegliamo l’HEB200.

La sezione viene presentata ora come “corrente” e potrà essere applicata alle membrature desiderate. Vogliamo l’HEB200 venga assegnato alla membratura 1, la colonna, che costituisce il “master” del nodo che stiamo studiando.

Per applicare la sezione corrente alla membratura desiderata, si utilizza l’apposito bottone.

Ripetiamo la procedura per assegnare una sezione di tipo IPE alla membratura 2, lo slave del nodo.

Rimuovendo le spunte “asse forte”, le sezioni verrebbero ruotate di 90 gradi. Lasciamo le impostazioni di default. Per gli slave è possibile definire un collegamento a cerniera spuntando l’apposita casella, altrimenti le connessioni saranno anche a flessione.

Se prima di premere OK togliamo la spunta alla casella in basso, verrà creato il modello fem secondo i parametri definiti, ma poi dovrà essere l’utente a eseguire la ricerca di jnodi e membrature, come durante la costruzione manuale di un modello fem. Se necessario, è anche possibile modificare il modello creato automaticamente per aggiungere o eliminare aste, spostare nodi, cambiare profili, ecc.

Se invece si lascia la casella spuntata, membrature e jnodi verranno cercati automaticamente e verrà direttamente presentato il renodo tridimensionale, pronto per essere costruito. Lasciamo la spunta e clicchiamo OK.

Ci viene chiesto se vogliamo aggiungere un altro nodo, nel qual caso verrà riproposto il dialogo per la scelta dello schema strutturale. Ora diciamo di no e proseguiamo.

Ci viene chiesto di impostare le verifiche, cosa che potremo fare anche in un secondo momento. Per ora lasciamo le impostazioni predefinite e proseguiamo.

La vista grafica passa automaticamente in modalità renodo e viene mostrato il collegamento tridimensionale, pronto per essere costruito manualmente oppure automaticamente, con l’applicazione di un renodo parametrico dall’archivio. **VERSIONE LIGHT**

Nella versione LIGHT il comando Nodi tipici si trova nel menu “Nodi” e dispone anche di un bottone. Eseguito il comando, si procede come nella versione FULL. L’unica differenza è che nella versione LIGHT le membrature e i jnodi vengono sempre cercati automaticamente, in quanto non è possibile modificare il modello FEM.

## 650 COMANDI: FEM – Assegna vincolo

Per poter assegnare un vincolo a uno o più nodi nella vista FEM, occorre innanzitutto che i nodi desiderati siano selezionati.

Per selezionarli basta cliccare in prossimità di essi quando è attivo il filtro di selezione sui nodi.

Il comando per l'assegnazione di un vincolo si trova nel menu FEM. Nel dialogo che si apre sono presenti tre caselle relative alle traslazioni nelle direzioni x, y e z e tre caselle relative alle rotazioni attorno agli assi globali.

I gradi di libertà che vengono spuntati saranno impediti.

Premendo il bottone *Incastro*, tutte le caselle vengono spuntate.

Premendo il bottone *Liberato*, tutte le spunte vengono rimosse.

Definiamo alcune spunte e premiamo OK per assegnare i vincoli desiderati all'unico nodo selezionato.

Nel pallino che indica la presenza di un vincolo ci sono dei pixel bianchi che indicano i gradi di libertà vincolati. In base alla risoluzione dello schermo, in questo filmato potrebbero non essere visibili tali pixel, mostrati nell'ingrandimento in sovrapposizione.

## 651 COMANDI: FEM – Assegna svincolo

Il comando per assegnare degli svincoli agli elementi finiti di tipo trave si trova nel menu fem ed è disponibile quando la vista grafica è attiva e in modalità fem.

Gli svincoli, oltre a modificare la distribuzione delle azioni nel modello agli elementi finiti, segnalano anche l'interruzione delle membrature, con la conseguente definizione delle gerarchie tra esse. CSE terrà conto di queste informazioni, in aggiunta agli allineamenti, alla continuità di sezione e materiale, ecc., nella ricerca automatica delle membrature.

È possibile anche stabilire l'interruzione di una membratura attraverso un semplice segno di connessione senza che ci siano svincoli, in modo da definire le membrature correttamente senza interferire sulla distribuzione delle azioni.

Se il modello fem viene importato già fatto, gli eventuali svincoli presenti sono mantenuti.



È anche possibile definire segni di connessione e svincoli aventi colori diversi, ad esempio per diversificare nodi che altrimenti sarebbero uguali in tutto ma che si vogliono tenere distinti.

Per questo motivo, è anche possibile applicare segni di connessione agli elementi di tipo truss, che per definizione sono già svincolati agli estremi. Definendo segni di connessione di colore diverso, si possono contraddistinguere elementi truss altrimenti uguali.

Ci sono due modalità per assegnare uno svincolo: quella manuale e quella automatica. In quella manuale si definiscono i parametri dello svincolo, dopodiché si cliccano con il mouse tutti gli estremi degli elementi beam a cui si intende applicare tale svincolo. In quella automatica si selezionano tutti gli estremi che si vogliono svincolare, poi si definiscono i parametri dello svincolo, che viene applicato a tutti gli estremi selezionati. Uno svincolo di un elemento è selezionato se sono selezionati l'elemento stesso e il nodo corrispondente.

Assegniamo ora uno svincolo attraverso la modalità manuale.

Spuntiamo la casella “manuale”.

Spuntando la casella “connessione” si aggiunge un segno di connessione senza aggiungere svincoli.

Clicchiamo OK.

→ Per assegnare il segno di connessione, clicchiamo gli estremi degli elementi beam dove si ha l'interruzione fisica di una membratura. Se una membratura affluente a un nodo ha un segno di connessione in quell'estremo, tale membratura sarà uno slave in quel nodo.

Tasto destro del mouse o ESC per interrompere il comando.

Vediamo ora la modalità automatica: vogliamo aggiungere degli svincoli rotazionali ai diagonali.

Selezioniamo gli elementi e i loro nodi.

Rieseguiamo il comando

Togliamo la spunta “manuale”

Spuntiamo gli svincoli alle rotazioni 2 e 3...

Clicchiamo Ok...

E automaticamente vengono assegnati gli svincoli agli estremi selezionati.

## 652 COMANDI: FEM – Cerca membrature

→ Il comando **Cerca membrature** serve ad eseguire la ricerca automatica delle membrature del modello FEM. Il comando si trova nel menu FEM.

Non è necessario utilizzare questo comando quando il modello agli elementi finiti è importato da un programma esterno, perchè la ricerca delle membrature viene eseguita da CSE in modo automatico. Se crea un modello in CSE con il comando Nodi tipici, è possibile far eseguire automaticamente la ricerca dei jnodi.

→ Se si apportano modifiche a un modello FEM, è necessario rieseguire il comando di ricerca delle membrature poiché le informazioni sulle membrature stesse vengono perse.

Questo comando non è disponibile nella versione LIGHT, in quanto la ricerca delle membrature è completamente automatizzata.

Nella finestra di sinistra abbiamo visualizzata la vista fem di un modello, in quella di destra la vista jnodi dello stesso modello, che attualmente è vuota, poiché le membrature non sono ancora state ricercate.

Eseguiamo il comando **Cerca membrature** : nella vista dedicata sono ora visibili le membrature trovate in modo automatico da CSE.

Due o più elementi finiti di tipo trave consecutivi e aventi gli assi allineati (considerando quindi la presenza di eventuali eccentricità) appartengono alla stessa membratura se sono soddisfatti i seguenti requisiti:

- gli elementi hanno la stessa forma sezionale;
- hanno lo stesso materiale;
- hanno la stessa orientazione;
- non sono presenti svincoli o segni di connessione tra un elemento e l'altro.

→ Per gli elementi di tipo truss, invece, ogni elemento coincide con una membratura.

In questo modello gli elementi beam sono allineati a due a due, ma solo gli elementi verticali a destra sono stati riconosciuti come appartenenti a una membratura unica. Sono infatti gli unici a soddisfare tutti i criteri precedentemente citati.

Notiamo infatti che i due elementi verticali a sinistra, pur avendo la stessa sezione e lo stesso materiale e non avendo svincoli o segni di connessione nel nodo in comune, hanno due orientazioni differenti. Sono quindi due membrature distinte.

Anche i due elementi verticali centrali soddisfano tutti i requisiti tranne uno: hanno infatti due profili sezionali diversi e sono quindi due membrature distinte.

Gli elementi orizzontali, infine, sono divisi da segni di connessione: sono quindi due membrature distinte.

## 660 COMANDI: JNODI - Cerca

Il comando di ricerca automatica dei jnodi si trova nel menu jnodi ed è utilizzabile se sono già state ricercate le membrature. Prima della ricerca dei jnodi la relativa vista riporta solo le membrature. Non è necessario trovarsi nella vista jnodi per poter eseguire il comando.

La procedura di ricerca automatica dei jnodi scarta i nodi del modello FEM in cui non ci sono collegamenti (ad esempio un nodo interno a una membratura o un estremo libero non vincolato a cui arriva una sola membratura), quindi riconosce e cataloga tutti gli altri nodi riconoscendo quelli uguali, che vengono associati allo stesso jnodo, univocamente marcato da una sigla

→ Eseguiamo il comando **Jnodi - Cerca**. Viene innanzitutto richiesta la conferma di voler effettuare la ricerca. Se una ricerca fosse già stata fatta in precedenza, una nuova ricerca implicherebbe la perdita delle eventuali operazioni fatte sui jnodi stessi e sui renodi associati. Confermiamo la ricerca. Viene quindi chiesto se i jnodi cuspidali, che non sono calcolabili, debbano essere scartati durante la ricerca. Più avanti verrà data la definizione di jnodi cuspidali. Ora scartiamoli. Sono stati trovati 18 diversi jnodi. CSE chiede una definizione preliminare delle impostazioni di verifica. Le impostazioni possono essere modificate anche in seguito, renodo per renodo. È consigliabile scegliere almeno la normativa ed eventualmente le impostazioni per il tabulato dei risultati e la scelta della modalità di calcolo delle azioni interne. Questo dialogo è descritto dettagliatamente nel filmato 700.

I diversi jnodi trovati sono visualizzati con un quadratino di colore diverso e una marca diversa.

Come si vede ci sono collegamenti che si ripetono più volte nella struttura. Essi sono istanze dello stesso jnodo, e basterà eseguire una sola volta le lavorazioni sul renodo associato. Quando si effettueranno le verifiche del renodo sarà il programma a considerare tutte le istanze del jnodo corrispondente e a verificarle tutte, al variare delle combinazioni

Se si seleziona un jnodo vengono selezionate tutte le istanze del jnodo corrispondente. Quando è selezionato un solo jnodo è possibile passare alla vista renodo per costruire il collegamento.

Abbiamo visto il funzionamento del comando; daremo ora alcune importanti informazioni sui jnodi e sulla loro classificazione.

La topologia di un jnodo è definita dal numero e dal tipo di membrature affluenti al collegamento, dalle loro mutue inclinazioni, dalle loro proprietà sezionali e dai loro materiali, dalle loro orientazioni, dalle eventuali eccentricità, ecc.

Un'altra caratteristica che definisce univocamente i jnodi è la presenza di svincoli e segni di connessione, che determinano le gerarchie tra le membrature del collegamento, distinguendo tra nodi di tipo gerarchico, centrale, cuspidale o tangente.

Ai fini della determinazione delle gerarchie, un *segno di connessione* e uno *svincolo* hanno l'effetto di interrompere una membratura. Per semplicità, in questo contesto chiameremo entrambi "segni di connessione", volendo indicare l'interruzione. Una membratura interrotta nel nodo del collegamento è detta *slave*. Tutte le membrature composte da un elemento finito di tipo biella sono slave. Le membrature composte da uno o più elementi trave sono slave se hanno un segno di connessione nel nodo.

Se una membratura termina nel nodo del collegamento senza alcun segno di connessione è una membratura cuspidale.

Se il nodo del collegamento è all'interno di una membratura ininterrotta, questa si dice passante.

Si ha un jnodo di tipo gerarchico quando c'è una sola membratura passante o cuspidale e quindi non interrotta (detta master) e tutte le altre (slave) si attaccano a questa. Nel caso ci siano una sola membratura passante e una o più membrature cuspidali, queste ultime vengono comunque considerate interrotte e quella passante risulta il master.



In un jnodo centrale tutte le membrature sono interrotte e si connettono a qualcosa che funge da tramite alla loro unione

Nei jnodi cuspidali tutte le membrature convergono al nodo, ma ce n'è più di una che resta ininterrotta. Jnodi di questo tipo sono facilmente eliminabili dal modello senza nulla togliere alla generalità pur di lasciare un'unica membratura cuspidale, interrompendo le altre

(ottenendo un jnodo gerarchico) oppure interrompendole tutte (ottenendo così un jnodo centrale).

→ Si ha un jnodo tangente quando ci sono più membrature ininterrotte passanti per lo stesso punto.

Con gli opportuni segni di connessione è sempre possibile ricondursi a un jnodo gerarchico o centrale.

## 661 COMANDI: JNODI - Edita

Il comando “Edita” si trova nel menu jnodi. *[click]* Alla sua esecuzione si accede a un dialogo in cui è possibile gestire i jnodi, modificarli e avere importanti informazioni sulla loro topologia e sulle azioni a cui sono sottoposti.

Nel riquadro è presente la lista di tutti i jnodi presenti nel modello. Quelli selezionati nella scena presentano una spunta nella casella corrispondente; aggiungendo e rimuovendo spunte in questo dialogo verrà modificato anche lo stato di selezione nella scena, che verrà ridisegnata all’uscita dal dialogo.

Accanto alla marca di ogni jnodo è riportato il tipo di collegamento (se gerarchico, semplice, cuspidale, tangente) ed è segnalata l’eventuale presenza di un attacco rigido o elastico.

Cliccando sulla riga corrispondente a un jnodo, questo viene evidenziato in blu. Spuntando la casella corrispondente a un jnodo, questo viene selezionato. Le spunte e l’evidenziazione sono indipendenti. Alcuni dei bottoni che ora verranno descritti agiscono sul jnodo evidenziato, altri su tutti i jnodi selezionati.

Il bottone “Interroga” fa accedere a un dialogo in cui sono riportate informazioni dettagliate sul jnodo evidenziato in blu. Tale dialogo sarà descritto successivamente.

Il bottone “No attacco elastico” rimuove l’attacco elastico dal jnodo evidenziato, se CSE ha riconosciuto in quel jnodo la presenza di tale tipo di attacco. L’attacco elastico non è costituito da un vincolo nodale, ma nel modello fem sono presenti degli elementi che fungono da ritegno.

Il bottone “No attacco” rimuove l’attacco dal jnodo evidenziato, se presente. Nel modello fem possono esserci vincoli nodali fittizi necessari alla modellazione, come il vincolo alla rotazione di un nodo a cui sono attaccati solo elementi finiti di tipo biella. CSE riconosce il jnodo come attacco, essendoci un vincolo nodale; con questo bottone l’attacco può essere rimosso.

Il bottone “Sel / unsel” seleziona o deseleziona il jnodo evidenziato in blu. I bottoni Deseleziona tutti e Seleziona tutti servono appunto a deselezionare o deselezionare tutti i jnodi.

I nodi selezionati (spuntati) possono essere eliminati attraverso il bottone “Elimina”. Un jnodo può essere eliminato se l’utente non ritiene necessario studiarlo in CSE.

Vediamo ora il dialogo con le informazioni sul jnodo evidenziato, che si apre cliccando il bottone “Interroga”.

Il dialogo ha sempre una sezione “Informazioni sui jnodi”, e delle sezioni aggiuntive in base al tipo di jnodo. In questo caso ci sono le due ulteriori sezioni “Master” e “Attacco” in quanto si tratta di un jnodo gerarchico e presenta un attacco.

Nella sezione “informazioni sul jnodo” sono riportati i seguenti dati:

- Marca del jnodo
- Tipo di jnodo ed eventuale attacco
- Numero del jnodo
- Marca del jnodo
- Numero di occorrenze o istanze del jnodo nella struttura
- Numero di membrature da cui è composto il collegamento, e di queste quante sono cuspidali, quante passanti e quante interrotte.
- Numero di membrature composte da un elemento finito di tipo biella e numero di membrature costituite da uno o più elementi di tipo trave.
- Lista dei nodi fem associati alle varie istanze del jnodo
- Numero delle membrature corrispondenti al nodo nella casella soprastante
- Nodi fem associati ai due estremi della membratura nella casella accanto

I due nodi si riferiscono quindi alla membratura corrente, del nodo corrente.

Nella sezione “master” è riportato il profilo sezionale del master, e viene indicata la natura dell’elemento (se si tratta di una colonna, di una trave, ecc.).

Nella sezione “slave” c’è una lista di tutte le membrature slave presenti nel collegamento. Tutti i dati successivi si riferiscono allo slave corrente.

Come per il master, è riportata la natura dell’elemento; viene descritto il tipo di attacco (se si tratta di un incastro, di una cerniera torsionale, flessionale, ecc.) e viene definito l’allineamento con il master.

Infine è riportato l’involuppo delle azioni interne nello slave corrente al variare delle combinazioni e delle istanze, nelle unità di misura correnti, con riferimento all’elemento finito a cui ogni componente è associata. Scegliendo un altro slave dalla lista, l’involuppo viene aggiornato in tempo reale.

Abbiamo appena visto la sezione riferita a un jnodo gerarchico; nel caso di jnodo centrale si ha un dialogo simile, ma senza le informazioni sul master, in quanto non presente, e sull’allineamento con esso.

Infine, se è presente un attacco rigido, in questo dialogo è riportato l’involuppo delle reazioni vincolari al variare di jnodi e istanze. Accanto a ciascuna componente è indicato il numero del nodo fem in cui tale azione si manifesta.

## 662 COMANDI: JNODI – Estrai membrature

Il comando “estrai membrature” si trova nel menu jnodi ed è disponibile quando è attiva la vista jnodi.

Questo comando consente di “estrarre” dalla scena le membrature desiderate, visualizzando quindi soltanto una parte della struttura.

L'estrazione avviene in base allo stato di selezione degli oggetti al momento dell'esecuzione del comando: vengono estratte tutte le membrature selezionate e tutte le membrature affluenti a un jnodo selezionato. Inoltre vengono estratti i jnodi selezionati e i jnodi non selezionati appartenenti alle membrature estratte.

Il jnodo selezionato ha due istanze, verranno estratte tutte le membrature affluenti a entrambe.

Eseguito il comando, il bottone corrispondente al comando “estrai” del menu disegna risulta premuto.

Questo comando è molto utile ad esempio per avere un'idea chiara della posizione e della rilevanza nella struttura dei jnodi selezionati.

Per tornare alla visualizzazione normale basta eseguire il comando “estrai”.

All'uscita dall'estrazione, tutte le membrature precedentemente estratte saranno selezionate.

## 664 COMANDI: JNODI – Crea/Apri tabulato

Nel menu jnodi sono disponibili due comandi che consentono la creazione e l’apertura da CSE di un tabulato contenente importanti informazioni su tutti i jnodi del modello.

Con il comando “Crea Tabulato” viene scritto da CSE un file .txt avente lo stesso nome del modello.

Il file si trova nella stessa cartella in cui si trova il modello, e può essere aperto direttamente da CSE attraverso il comando “Apri tabulato”.

Vediamo il contenuto del tabulato.

Nella parte iniziale è riportata la legenda dei termini utilizzati.

Vengono poi riportate le unità di misura in cui sono espresse le grandezze del tabulato. Le unità di misura sono quelle attive in CSE al momento della creazione del tabulato.

Inizia quindi la sezione relativa alle membrature. Innanzitutto è presente una lista di tutte le membrature presenti nel modello, e per ognuna di esse sono riportati i nodi estremi del modello agli elementi finiti, la sezione e la lunghezza.

Per ogni forma sezionale sono riportati il numero di pezzi di lunghezza diversa aventi quella sezione, con il corrispondente peso, quindi la lunghezza totale per quel profilo e il peso complessivo.

All’inizio della sezione dedicata ai jnodi è riportata una lista di tutti i jnodi presenti nella struttura, e per ognuno di essi sono dati: la marca, il numero di occorrenze o istanze del jnodo nella struttura, il numero di membrature da cui è costituito, la tipologia (se è un nodo gerarchico, centrale, semplice, ecc.) e se è presente o meno un attacco rigido o elastico.

Dopo la lista sono riportati a uno a uno tutti i jnodi, con varie informazioni sulla loro topologia e, se il modello fem è stato importato, sull'inviluppo delle azioni a cui sono sottoposti.

Se il modello fem è invece stato creato direttamente in CSE non sarà presente la parte sulle azioni di inviluppo.

Vediamo nel dettaglio le informazioni presenti.

È indicata la tipologia del jnodo (gerarchico, centrale, semplice, tangente o cuspidale).

È riportato il numero di volte in cui il jnodo si presenta nella struttura, con il numero identificativo dei nodi fem associati.

È riportato il numero delle membrature da cui il jnodo è costituito. Per ogni istanza del jnodo sono riportati i numeri delle membrature coinvolte. In questo caso il collegamento interessa 3 membrature, e ogni riga associata all'istanza conterrà quindi il numero identificativo di 3 membrature.

Se si tratta di un jnodo gerarchico, per ogni membratura escluso il master vengono fornite informazioni sull'attacco con il master: il tipo di elementi finiti di cui sono composte le due membrature, la loro forma sezionale, se si tratta di una colonna, di una trave orizzontale, di un tirante, ecc., la classificazione dell'allineamento e il tipo di attacco [...], l'angolo di inclinazione tra la membratura slave e il master.

Se il modello è stato importato sono fornite le massime azioni interne che lo slave trasferisce al master, al variare delle combinazioni di verifica.

Infine, se il jnodo è un attacco rigido, viene riportato l'inviluppo delle reazioni vincolari al variare delle combinazioni di verifica.

## 670 COMANDI: RENODO – Fissa orientazione corrente

Oltre al sistema di riferimento globale, è possibile utilizzare come sistema di riferimento corrente quello locale di un componente, allo scopo di avere viste allineate con elementi inclinati, definire traslazioni lungo l'asse di una membratura inclinata, inserire componenti tangenti ad altri componenti non paralleli agli assi globali, ecc.

Il comando è nel menu renodo ed è disponibile un apposito bottone nella barra dei comandi.

Una volta eseguito il comando, se si clicca una faccia di un componente, il sistema di riferimento corrente va a coincidere in tempo reale con il sistema locale di quell'elemento.

Un doppio click riporta il sistema corrente a coincidere con quello globale.

Il comando non si interrompe fino alla pressione di ESC o del tasto destro del mouse, altrimenti è possibile cliccare altri componenti e modificare il sistema di orientazione corrente.

Se all'esecuzione del comandi ci sono elementi selezionati, sarà possibile cliccare solo uno di essi per fissare l'orientazione corrente.

Selezioniamo ad esempio un diagonale e rieseguiamo il comando....

Le facce degli altri oggetti non sono selezionabili.

## 671 COMANDI: RENODO – Allunga-accorcia membratura

Nella vista renodo, una membratura può essere allungata o accorciata lungo il suo asse, dalla parte in cui si attacca al nodo, in modo da consentire correzioni alla lunghezza di un componente per potere costruire correttamente il collegamento qualora non siano stati previsti opportuni offset rigidi assiali nel modello fem di partenza.

È possibile eseguire tale operazione se la membratura non presenta lavorazioni: delle modifiche a una membratura, infatti, possono rendere ambiguo il concetto di allungamento o accorciamento.

Vediamo ora il funzionamento del comando. In questo modello non sono state definite eccentricità nel modello fem di partenza: si ha quindi una compenetrazione tra la colonna e la trave.

Selezioniamo la membratura orizzontale ed eseguiamo il comando allunga-accorcia dal menu renodo. Deve essere selezionata una e una sola membratura affinché il comando possa essere utilizzato.

Il dialogo a cui si accede consente la definizione di un allungamento o di un accorciamento secondo tre modalità diverse: piano, punto e numerico.

Nella modalità “piano” l’utente deve poi cliccare nella scena un piano perpendicolare all’asse della membratura, e la sezione terminale della membratura dalla parte dell’estremo teorico verrà allungata o accorciata in modo da giacere sul piano a cui appartiene tale faccia..

La modalità “punto” ha un funzionamento simile: l’utente clicca un punto nella scena, e la faccia terminale della membratura verrà traslata in modo da giacere su un piano parallelo a essa e passante per il punto scelto.

La modalità numerica fa accedere a un ulteriore dialogo in cui va in indicata, nelle unità di misura attive, l’entità della traslazione della faccia terminale lungo l’asse della membratura. Valori positivi determinano allungamenti, valori negativi comportano accorciamenti.

Utilizziamo ora la modalità “piano”: se vogliamo che la membratura orizzontale sia tangente alla flangia della colonna, sceglieremo come faccia proprio la superficie esterna della flangia.

La membratura è stata accorciata in modo che la faccia terminale giaccia nel piano scelto, non c'è più compenetrazione tra i due oggetti,

Se ad esempio è stato eseguita una sottrazione di materiale tramite box rettangolare dalla parte in cui una membratura si attacca al nodo teorico (figura A), un successivo allungamento darebbe luogo al caso B, in quanto il box rettangolare è stato definito dall'utente in una ben determinata posizione nello spazio.

Per ottenere un allungamento con un taglio identico a quello originario è necessario evidentemente definire un box in una posizione più avanzata, dopo aver eseguito l'allungamento (figura C).

Il caso D, invece, è ottenibile con la lavorazione “Traslazione di faccia”, che consente di allungare solo una porzione dell'oggetto.

Risulta evidente che lavorazioni definite sull'oggetto originario potrebbero dare luogo a risultati sull'oggetto allungato che diversi da quelli attesi, per il fatto che le lavorazioni sono state pensate per un oggetto diverso. Per questo motivo il comando “Allunga-Accorcia” è utilizzabile solo su membrature che non hanno subito lavorazioni.

## 672 COMANDI: RENODO – Modifica membratura

Il comando “modifica membrature” si trova nel menu renodo ed è disponibile un bottone nella barra renodo.

È accessibile quando la vista grafica renodo è attiva e vi è una e una sola membratura selezionata.

Nel dialogo che compare all’esecuzione del comando va specificato a quali verifiche opzionali si vuole sottoporre il componente.

Va indicato se eseguire o meno le verifiche automatiche sulle sezioni che presentano riduzioni dell’area lorda a causa della presenza di fori per bulloni, tagli, smussi, ecc.

→ Quindi va specificato se per il componente debba essere creato o meno il modello fem automatico, qualora previsto nelle impostazioni di verifica. È possibile richiedere un calcolo nonlineare spuntando la relativa casella. Le impostazioni del calcolo nonlineare vanno definite nelle impostazioni generali delle verifiche, descritte nel filmato 700.

Il modello fem automatico terrà in conto delle eventuali asportazioni di materiale dal pezzo (tagli, smussi, ecc.).

→ Occorre indicare i parametri per la creazione automatica della mesh del modello, se richiesto: il primo dato è il passo di mesh in corrispondenza di saldature, bordi dell’oggetto e contorni delle superfici di contrasto. Il primo parametro definisce quindi il passo di mesh nelle zone più critiche.

Il secondo parametro definisce il passo di mesh nelle zone *libere*, lontane da bordi e saldature. Consente di stabilire il livello di omogeneità della mesh. I primi due parametri vanno espressi nelle unità correnti.

Il terzo parametro è l’angolo minimo che devono avere gli elementi finiti plate-shell: il valore di default è 19,8°, poiché la convergenza è garantita per angoli inferiori o uguali a 20°. Se lo desidera, l’utente può richiedere angoli maggiori, ad esempio 25 o 30°, facendo eventualmente delle prove di convergenza per ottenere una mesh più raffinata. In ogni caso, anche richiedendo un angolo minimo più basso, generalmente l’angolo medio sarà sensibilmente superiore, restituendo una mesh ben discretizzata. In alcuni casi l’angolo minimo è determinato dalla geometria dell’oggetto: il modello FEM di un componente che in

un punto ha un angolo di  $15^\circ$ , ad esempio, non potrà avere un angolo minimo di  $20^\circ$ , perché almeno un elemento, quello nel vertice acuto, avrà necessariamente un angolo di  $15^\circ$ .

- Se si spunta la casella relativa agli irrigidimenti, nel modello FEM della membratura corrente verranno inglobati i modelli FEM dei suoi irrigidimenti, se ve ne sono. Un irrigidimento è tale se è connesso solo alla membratura corrente e a nessun altro componente. Tale irrigidimento deve anche essere marcato come possibile irrigidimento nel suo dialogo di aggiunta o modifica. Per ulteriori informazioni si veda il filmato relativo all'aggiunta dei tramite.

## 673A COMANDI: RENODO – Aggiungi tramite

Il comando “aggiungi tramite” si trova nel menu renodo, sottomenu componenti, ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale. È disponibile quando la vista grafica renodo è attiva.

→ Alla sua esecuzione compare un insieme di dialoghi in cui si sceglie il tipo di tramite. Nel primo dialogo sono disponibili gli oggetti più frequenti: piastre di varia forma, angolari semplici e accoppiati, tronchi di profilato di forma generica, nonché il blocco vincolo simulante ciò a cui sono collegati gli attacchi rigidi (una platea di fondazione, una parete, ecc.). I dialoghi successivi contengono altri tipi di piatti semplici, forati, smussati, ecc.. Sono infine disponibili oggetti del tipo finger e piatti composti.

→ Ora scegliamo ad esempio angolare semplice. Nel nuovo dialogo, diverso a seconda del tipo di tramite, vanno definiti le dimensioni del componente, il materiale e le impostazioni per le verifiche. Questi aspetti sono illustrati nel filmato seguente.

Premendo ok si accede al dialogo in cui si orienta il pezzo e si sceglie il punto di inserimento.

Per ruotare il pezzo si utilizzano le apposite frecce, che definiscono rotazioni attorno agli assi del riferimento globale o corrente. di default si hanno scatti di 90°, ma è possibile cambiare tale valore nelle caselle in basso.

→ *Nota bene:* se si lavora con un sistema di riferimento corrente diverso da quello globale, nel dialogo di posizionamento il componente sarà orientato secondo gli assi del sistema corrente e le rotazioni del pezzo avverranno attorno a questi assi. Ciò è molto utile per inserire dei tramite allineati con membrature inclinate, usando il sistema di riferimento di queste membrature come sistema di riferimento corrente.

Il punto di inserimento nella scena è quello evidenziato; per cambiarlo si clicca ins. Point e si sceglie uno dei punti notevoli presenti.

Orientato il pezzo secondo le esigenze, si preme Ok. Ora va cliccato un punto nella scena, a cui corrisponderà il punto di inserimento scelto sul componente. Il tramite viene inserito.

Si può inserire il tramite già nella posizione esatta o, nei casi in cui è più comodo, lo si può inserire nella scena e poi spostarlo con gli opportuni comandi.



## 673BCOMANDI: RENODO – Aggiungi tramite (parte 2)

Vediamo ora i dialoghi di alcuni tipi di tramite disponibili.

**Piastra rettangolare.** Vanno definite le tre dimensioni della piastra: altezza, larghezza e spessore. Questa sezione è diversa per altri tipi di componenti, come vedremo in seguito. Si può mantenere il nome di default del componente o definirne uno diverso.

È possibile cambiare materiale del componente scegliendolo dalla lista di quelli disponibili nel modello. Attraverso il bottone *Modifica* è possibile modificare i dati del materiale corrente e anche definirne una legge non-lineare. Con il bottone *Aggiungi* si può definire un nuovo materiale, specificandone i parametri nelle unità correnti. Per la definizione della non-linearità si veda la guida del programma.

→ Va specificato se per il componente debba essere creato o meno il modello fem automatico, qualora nelle impostazioni di verifica sia attivata la creazione dei modelli FEM dei componenti che lo prevedono. È possibile richiedere un calcolo nonlineare spuntando la relativa casella. Le impostazioni del calcolo nonlineare vanno definite nelle impostazioni generali delle verifiche, descritte nel filmato 700.

Il modello fem automatico terrà in conto delle eventuali asportazioni di materiale dal pezzo (tagli, smussi, ecc.).

→ Occorre indicare i parametri per la creazione automatica della mesh del modello, se richiesto: il primo dato è il passo di mesh in corrispondenza di saldature, bordi dell'oggetto e contorni delle superfici di contrasto. Il primo parametro definisce quindi il passo di mesh nelle zone più critiche.

Il secondo parametro definisce il passo di mesh nelle zone *libere*, lontane da bordi e saldature. Consente di stabilire il livello di omogeneità della mesh. I primi due parametri vanno espressi nelle unità correnti.

Il terzo parametro è l'angolo minimo che devono avere gli elementi finiti plate-shell: il valore di default è 19,8°, poiché la convergenza è garantita per angoli inferiori o uguali a 20°. Se lo desidera, l'utente può richiedere angoli maggiori, ad esempio 25 o 30°, facendo eventualmente delle prove di convergenza per ottenere una mesh più raffinata. In ogni caso, anche richiedendo un angolo minimo più basso, generalmente l'angolo medio sarà sensibilmente superiore, restituendo una mesh ben discretizzata. In alcuni casi l'angolo minimo è determinato dalla geometria dell'oggetto: il modello FEM di una piastra triangolare

con angolo di 15°, ad esempio, non potrà avere un angolo minimo di 20°, perché almeno un elemento, quello nel vertice più acuto, avrà necessariamente un angolo di 15°.

→ Se si spunta la casella relativa agli irrigidimenti, nel modello FEM del componente corrente verranno inglobati i modelli FEM dei suoi irrigidimenti, se ve ne sono. Un irrigidimento è tale se è connesso solo al componente corrente e a nessun altro componente. Tale irrigidimento deve anche essere marcato come possibile irrigidimento nel suo dialogo di aggiunta o modifica.

Se invece si spunta la casella “è un irrigidimento” in questo dialogo, sarà questo componente ad essere utilizzato come possibile irrigidimento per un altro pezzo.

Inseriamo la piastra.

Le decine di piatti disponibili, a forma trapezoidale, circolare, poligonale regolare, rettangolare smussata, triangolare smussata, piatti forati, ecc. hanno un dialogo simile a quello visto per la piastra rettangolare; la differenza è nei parametri richiesti per la forma dell’oggetto. Scegliamo ora come esempio un piatto trapezoidale *[click]* In questo caso vanno definite base minore, base maggiore, altezza e spessore. L’immagine viene aggiornata in tempo reale in base ai dati inseriti. Una piastra circolare richiederà, oltre allo spessore, il raggio della circonferenza. Per un poligono regolare dovranno essere definiti il raggio e il numero di lati. Nell’appendice della guida sono riportate tutte le quote di tutti gli oggetti disponibili, utili soprattutto per le forme più complesse.

Il resto del dialogo coincide con quello già visto per la piastra rettangolare.

La **piastra smussata** ha una particolare caratteristica rispetto agli altri componenti: se prima dell’esecuzione del comando si seleziona una membratura con sezione ad H simmetrica, come in questo caso, i parametri relativi alla base, all’altezza e alla dimensione dello smusso vengono automaticamente inizializzati nel dialogo in base alle dimensioni della membratura selezionata, per consentire alla piastra smussata il perfetto inserimento nella membratura stessa.

**Piastra esagonale per diagonale** Questo piatto richiede tre parametri: un angolo espresso in radianti e, nelle unità di misura attive, una diagonale e un lato verticale. Questi tre parametri definiscono univocamente una piastra a 6 lati secondo i criteri mostrati nella figura in

sovrimpressione. L'inclinazione della diagonale è determinata dall'angolo; i lati obliqui sono paralleli alla diagonale; date le lunghezze del lato verticale e della diagonale, il lato orizzontale risulta univocamente individuato.

È anche possibile aggiungere una **piastra poligonale di forma generica**, definendo liberamente una forma poligonale. Per la spiegazione dettagliata dell'aggiunta di questo componente si consulti la guida.

**Angolare semplice.** Innanzitutto si sceglie l'angolare nel primo menu a tendina. È possibile filtrare i risultati visualizzando solo angolari a lati eguali o solo angolari a lati diseguali. Si definisce quindi la lunghezza dell'estruso.

Si deve infine specificare se per questo componente devono essere eseguite le verifiche semplificate con modelli beam equivalenti e se devono essere tenute in conto verifiche a torsione.

**Doppia squadretta.** Il dialogo è simile a quello della squadretta singola; va inoltre specificata la distanza tra le due squadrette e, nel caso di angolari a lati diseguali, se i lati affacciati debbano essere quelli più lunghi o quelli più corti.

**Pezzo profilato.** Il dialogo è simile a quello visto per la squadretta singola; la differenza è che qui si può scegliere come forma da estrarre una sezione qualsiasi.

Cliccando su "scegli forma sezionale" si accede all'archivio in linea di CSE, con oltre 10000 profili in linea, tra sezioni laminate, saldate, composte, e formate a freddo. L'archivio è inoltre ulteriormente espandibile con il software Samba che consente di aggiungere le forme sezionali desiderate.

Spuntando i tipi sezionali voluti e cliccando archivio si accede alla lista delle sezioni che soddisfano il filtro. Scegliamo ad esempio un profilo formato a freddo di forma generica.

**Il blocco vincolo.** Si usa se un renodo ha un attacco rigido, per simulare ciò a cui il collegamento si attacca. È un parallelepipedo che viene definito dai seguenti parametri: "altezza, maggiore o uguale alla larghezza, maggiore o uguale allo spessore". Con esso si simulano una platea di fondazione, una parete, ecc.

## 674 COMANDI: RENODO – Aggiungi layout di saldature

Il comando “aggiungi layout di saldature” si trova nel menu renodo, sottomenu componenti, ed è anche presente un bottone nella barra laterale. *[callout]* Il comando è disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo.

Dopo l’esecuzione del comando, l’inserimento del layout avviene grazie alle seguenti due fasi: la selezione della faccia da saldare e la definizione dei cordoni che compongono il layout.

Eseguiamo il comando e analizziamo la prima fase. Se non ci sono oggetti selezionati, può essere scelta una faccia appartenente a un oggetto qualsiasi, altrimenti la faccia da saldare può essere solo una faccia appartenente a un oggetto selezionato. In questo caso qualsiasi faccia può essere scelta, in quanto non ci sono componenti selezionati. Con il click della faccia opportuna si passa alla fase di determinazione dei cordoni, ma prima vanno spiegati alcuni concetti fondamentali.

Affinché il layout di cordoni possa essere applicato è necessario che ci sia una faccia tangente alla faccia scelta; CSE riconosce automaticamente la presenza o meno di una faccia che abbia tale caratteristica, e nel caso ci sia fa accedere alla fase di definizione dei vari cordoni.

→ Sono disponibili cordoni d’angolo e a penetrazione. I cordoni d’angolo, ora mostrati, hanno sezione triangolare e sono applicati sul perimetro della faccia cliccata in modo che il loro spigolo giaccia sui lati della faccia cliccata stessa. Delle due facce a contatto, quella selezionata dall’utente appartiene al componente 1, il quale riceverà i cordoni non sul piano di contatto ma sul suo contorno laterale (le facce che partono dalla faccia cliccata, tratteggiate in verde nell’immagine in sovrimpressione). Tutti i cordoni hanno una faccia complanare alla faccia cliccata, connessa al componente 2, e una faccia connessa al contorno laterale del componente 1.

Le due facce connesse dei cordoni possono avere angoli diversi dall’angolo retto e il programma riconosce l’angolo in modo automatico. Ove questo sia maggiore di un valore di soglia, la circostanza viene segnalata.

- I cordoni a penetrazione, anziché essere all'esterno dell'oggetto, si trovano fisicamente al suo interno. Nella scena, i cordoni a penetrazione vengono resi graficamente in modo simile a quelli d'angolo, ma con uno spessore minimo (1 millimetro). Oltre alla diversa resa grafica, i cordoni a penetrazione sono naturalmente calcolati in modo differente rispetto a quelli d'angolo. Si veda la guida per maggiori informazioni.

Torniamo nella scena e clicchiamo la sezione terminale della membratura, quella a contatto con la piastra. Poiché le due superfici sono saldabili, si accede al dialogo per la definizione dei cordoni.

Nell'immagine a destra sono riportate la faccia cliccata (in verde) e la faccia tangente riconosciuta in automatico (in nero). Il lato evidenziato in rosso è quello correntemente selezionato. Scorrendo con le frecce si scorre tra i vari lati. Attraverso il bottone "aggiungi" viene inserito un cordone sul lato selezionato che potrà poi essere modificato, spostato o rimosso con gli appositi controlli. Poiché la casella "a penetrazione" non è spuntata, si tratta di un cordone d'angolo.



La modalità di inserimento standard, che vedremo tra poco, non consiste nell'inserimento di un cordone alla volta, ma dell'intero layout in base a opportuni parametri. Eliminiamo il cordone selezionato, l'unico inserito fin'ora, attraverso il bottone "rimuovi".

Per inserire più cordoni contemporaneamente, si utilizza il bottone "applica a tutti i lati". Verrà applicato un cordone a tutti i lati che hanno una dimensione maggiore di quella specificata nella casella evidenziata (la misura è espressa nelle unità correnti). Specificando un valore maggiore di zero nella casella sottostante, i cordoni non avranno la stessa lunghezza dei lati a cui sono associati, ma si fermeranno alla distanza specificata da entrambi gli estremi. Tutti i cordoni avranno lo spessore indicato nella casella evidenziata. La sezione di gola di ciascun cordone dipende dall'inclinazione del componente 1 e verrà calcolata in modo automatico da CSE.

Applichiamo i cordoni; sui lati più corti di 50mm, la misura impostata, non sono stati applicati cordoni.

La proiezione della sezione di gola di ciascun cordone è in grigio; quella del cordone correntemente selezionato è in verde, e i parametri di tale cordone sono riportati nella sezione evidenziata.

→ Se spuntiamo la casella “a penetrazione” i cordoni vengono ribaltati all’interno. Gli spessori dovranno essere modificati coerentemente con lo spessore dei piatti. Torniamo ora ai cordoni d’angolo.

Attraverso le frecce si scorre tra i vari cordoni. È possibile modificare la lunghezza e lo spessore del cordone selezionato digitando un nuovo valore nelle caselle corrispondenti o utilizzando le frecce accanto. Modificando la casella “Posizionamento” il cordone viene traslato lungo il lato.

Per il cordone selezionato sono inoltre riportati i seguenti dati: l’angolo tra le facce attive (cioè l’angolo tra la faccia connessa al componente 1 e quella connessa al componente 2) e la sezione di gola. Come visto in precedenza, il cordone selezionato può essere eliminato con il bottone “rimuovi”.

CSE calcola in automatico la posizione del baricentro del layout, la direzione degli assi principali (visibili nell’immagine), l’area totale e i momenti d’inerzia flessionale e polare (riportati in basso a sinistra).

→ Se la casella “*vincolane i nodi nei modelli FEM*” è spuntata, i nodi in corrispondenza di questa saldatura saranno vincolati alle traslazioni e alle rotazioni nei modelli FEM dei componenti connessi a questa saldatura. Se la casella non è spuntata, invece, tali nodi saranno solamente caricati con le azioni calcolate nelle varie combinazioni.

Vediamo infine la gestione dell’immagine: sono disponibili lo zoom e i comandi di pan; le superfici possono essere campite e il font delle quote può essere modificato con le frecce [aumenta].

L’immagine corrente può essere mandata direttamente in stampa... oppure copiata e incollata in editor di immagini o in relazioni di calcolo

Premendo OK il layout di saldature viene inserito nella scena.

## 675 COMANDI: RENODO – Aggiungi bullonatura

Il comando “aggiungi bullonatura” si trova nel menu renodo, sottomenu componenti, ed è anche presente un bottone nella barra laterale. Il comando è disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo.

Dopo l’esecuzione del comando, l’inserimento del layout avviene grazie alle seguenti due fasi: la **selezione** della **faccia** su cui poggeranno le teste dei bulloni e la **definizione** dei **parametri** del layout, tra cui la classe e il diametro dei bulloni, la loro disposizione e le ipotesi di calcolo. A partire dalla faccia scelta, sarà CSE a **cercare automaticamente** tutti gli oggetti da forare, in base alla posizione dei vari componenti.

Prima di eseguire il comando vanno spiegati i criteri con cui CSE ricerca gli oggetti da forare e i criteri di bullonabilità.

Quando l’utente sceglie la prima faccia del primo oggetto da forare, che chiameremo il primo livello di bullonatura, il programma trova automaticamente tutti i livelli successivi ricostruendo la sequenza degli oggetti tangenti interessati dalla bullonatura. Se la disposizione degli oggetti dà luogo a diversi possibili percorsi di foratura, come nel caso mostrato in sovrapposizione, CSE scarterà gli oggetti che non devono essere forati in base all’effettiva posizione del layout sulla faccia scelta. Tutti i bulloni appartenenti allo stesso layout devono forare gli stessi piatti. Sono necessari almeno 3 livelli di bullonatura, cioè due piatti tangenti e bullonabili; è possibile connettere fino a 10 piatti diversi, anche con piatti non consecutivi appartenenti a uno stesso oggetto, come nel caso di membrane composte.

Oltre ai citati criteri di posizione degli oggetti, CSE scarta anche facce ritenute non bullonabili in quando troppo piccole. Se una faccia a quattro lati ha almeno due lati minori di un valore stabilito dall’utente, questa viene ritenuta non bullonabile; si rimanda al filmato 612 per maggiori informazioni.

Se il layout di bulloni interessa  $n$  piatti, avremo  $n+1$  livelli di bullonatura. In questo caso, con 3 piatti forati, i livelli sono 4. La bullonatura, e di conseguenza ciascun bullone, ha un numero di estremi pari al numero di piatti, e ogni estremo si trova a metà dello spessore di ciascun piatto. In corrispondenza delle zone di tangenza tra i vari piatti, dove si ha lo scorrimento, ci sono le sezioni di verifica dei bulloni, il numero delle sezioni di verifica è pari al numero dei piatti meno 1.

Torniamo nella scena ed eseguiamo il comando ; se non ci sono oggetti selezionati è possibile cliccare una faccia di qualsiasi oggetto, altrimenti solo una di un oggetto selezionato. Può quindi risultare comodo selezionare l'oggetto desiderato per limitare la scelta delle facce solo a quelle di quell'oggetto.

Clicchiamo la piastra saldata alla trave principale, che vogliamo bullonare alla secondaria. Poiché la piastra è tangente all'anima, abbiamo 3 livelli di bullonatura e il layout può essere applicato.

Si accede quindi al dialogo in cui andremo a definire tutte le proprietà del layout. Si tratta di un dialogo complesso, che richiede un'ampia trattazione: si rimanda quindi alla lezione 676 per una descrizione esauriente. In questo filmato definiremo rapidamente i dati del layout.

Utilizziamo bulloni M12 di classe 8.8

Il layout avrà una disposizione regolare: una colonna per tre righe, lasciando un interasse di 36mm tra i bulloni (i millimetri sono le unità attive).

Diamo un offset alla bullonatura di 30mm in direzione x, per posizionare correttamente il layout.

Vogliamo che i bulloni lavorino solo a taglio, trattandosi di un collegamento a cerniera.

Premendo OK il layout viene inserito nella scena. Vengono mostrati i dadi e le teste dei bulloni.

La lezione successiva contiene la descrizione dettagliata del dialogo per la definizione del layout.

## 676 COMANDI: RENODO – Aggiungi bullonatura (dialogo)

### PARTE 1

In questa lezione illustreremo dettagliatamente il dialogo per la definizione di un layout di bulloni. Come abbiamo visto nella lezione precedente, si accede a questo dialogo dopo aver scelto nella scena la faccia su cui poggieranno le teste dei bulloni. CSE ha già quindi trovato tutti i possibili livelli di bullonatura e gli oggetti che potranno essere forati.

Nell'immagine a destra sono mostrate tutte le facce bullonabili ai vari livelli di bullonatura: in verde è evidenziata la faccia correntemente selezionata; la faccia cliccata nella scena è rappresentata in rosso, a meno che non sia selezionata, come in questo caso.

Al momento il layout ha un solo bullone, e di esso vengono mostrate le distanze dai bordi della faccia selezionata; quando ci sono più bulloni, vengono mostrati anche gli interassi. Selezionando le altre facce con le frecce, la figura viene aggiornata in tempo reale.

È possibile zoomare l'immagine e spostarla, con gli opportuni comandi.

È possibile aumentare o diminuire le dimensioni delle quote, tenendo premute le relative frecce.

Il bottone “campitura” fa sì che le varie facce vengano campite; il bottone esagoni mostra l'ingombro dei bulloni. L'immagine corrente può essere mandata direttamente in stampa... oppure copiata e incollata in editor di immagini o relazioni di calcolo.

Abbiamo appena visto come gestire l'immagine; passiamo ora alle impostazioni dei parametri del layout.

Il bottone “cambia” fa accedere a un ulteriore dialogo in cui è possibile scegliere il diametro e la classe dei bulloni del layout tramite i menu a tendina; inoltre si stabilisce se nel calcolo a taglio debba essere considerata l'area filettata o quella lorda, e se il gioco foro-bullone debba essere considerato normale o di precisione. Tutti i bulloni dello stesso layout hanno le stesse proprietà, così come le stesse ipotesi di calcolo.

È possibile definire la disposizione dei bulloni secondo **4 diverse modalità**: una disposizione **regolare per righe e colonne**, in base ai parametri impostati nella sezione sottostante; in questa disposizione, spuntando la casella “svuota interno” vengono lasciati solo i bulloni sul contorno); una **disposizione sfalsata**, in cui le colonne dispari hanno un bullone in meno, una **disposizione circolare**, in cui la casella “righe” definisce il numero di circonferenze concentriche e la casella “colonne” determina il numero di bulloni su ogni circonferenza. Nella disposizione circolare un interasse determina, nelle unità di misura correnti, la spaziatura tra i bulloni della circonferenza più interna, che unitamente al numero di bulloni individua univocamente il raggio, l’altro interasse determina l’incremento di raggio delle circonferenze successive.

Infine si ha la **disposizione libera**, in cui i bulloni possono essere aggiunti, eliminati e spostati liberamente attraverso i controlli evidenziati, che divengono attivi. Vedremo in seguito questa modalità.

→ È possibile dare un offset al layout nelle direzioni x e y (misure espresse nelle unità correnti) e ruotare la bullonatura dando un angolo (in gradi) diverso da zero. *[esempi]* Questo bottone serve a definire automaticamente un angolo di rotazione che allinea il layout alle piastre circolari.

Vediamo ora la disposizione libera dei bulloni. Innanzitutto, quando si passa alla disposizione libera viene mantenuta inizialmente l’ultima disposizione definita: in questo modo è agevole partire da una configurazione standard modificandola poi secondo le esigenze.

- Premendo il bottone “aggiungi” viene inserito un bullone al centro del layout, che risulta selezionato (in giallo).
- Il bottone “Rimuovi” consente di eliminare tutti i bulloni selezionati.
- Il bottone “sel/desel” serve a selezionare o deselezionare il bullone corrente, che è quello con il contorno rosso
- Con le frecce sottostanti si cambia il bullone corrente
- “Tutti” seleziona tutti i bulloni, “nessuno” li deseleziona tutti.
- Le frecce X e Y servono a spostare tutti i bulloni selezionati in alto, in basso, a destra o a sinistra.

Le distanze tra i bulloni e le distanze dai bordi vengono aggiornate in tempo reale in base ai bulloni aggiunti, a quelli spostati e a quelli rimossi.

Nella disposizione libera è possibile definire degli offset all'intero layout, ma non ruotarlo.

## PARTE 2

Nella sezione “Informazioni di base” vengono riportati i seguenti dati, calcolati in automatico da CSE: la **lunghezza netta** della bullonatura, cioè la somma degli spessori di tutti i piatti forati, nelle unità di misura attive; lo **spessore minimo** tra gli spessori di tutti i piatti forati, nelle unità di misura attive; la **molteplicità**, cioè il numero di sezioni di verifica dei bulloni.

Vediamo ora le possibili ipotesi di funzionamento della bullonatura.

**Bulloni solo a taglio:** se la spunta è presente i bulloni non lavorano a trazione, ma solo a taglio. Se ad esempio nel calcolo di un giunto di prosecuzione tra due tronchi di trave con profilo a H vogliamo che il taglio parallelo all'anima non venga assegnato ai bulloni sulle ali e viceversa, utilizzeremo questa opzione.

→ In generale, la rigidità di una bullonatura è direttamente proporzionale al numero dei bulloni da cui è composta, al raggio dei bulloni elevato alla quarta e inversamente proporzionale alla lunghezza netta della bullonatura stessa. In CSE è stato introdotto un parametro chiamato “indice di flessibilità”: la rigidità traslazionale di tale bullonatura risulta anche inversamente proporzionale al cubo dell'indice di flessibilità impostato dall'utente. Un indice di flessibilità maggiore di uno implica quindi una diminuzione della rigidità.

→ **Bulloni anche compressi** spuntando questa casella i bulloni saranno verificati anche quando sottoposti a compressione. In caso contrario la loro compressione è calcolata ma non è tenuta in conto nelle verifiche. Questa opzione influenza anche il modo in cui viene calcolata una bullonatura con contrasto (se i bulloni compressi aiutano o meno il contrasto).

**Unione ad attrito:** questa opzione consente di far lavorare la bullonatura anche ad attrito; nel dialogo associato vanno definiti il coefficiente di attrito  $Mu$ , il coefficiente di foro  $Fi$  e il pretiro dei bulloni espresso come frazione  $Kn$  del carico ultimo del bullone. Per informazioni più dettagliate si consulti la guida in linea del programma, accessibile premendo F1. Se si imposta un pretiro nel sottodialogo ma non si spunta la casella, i bulloni non lavoreranno ad attrito, ma nella verifica il pretiro verrà considerato come azione interna aggiuntiva nei bulloni.

Si spunta l'opzione **E' un ancoraggio** quando la bullonatura che si vuole inserire è appunto un ancoraggio. Entrando nel dialogo si determinano il tipo di ancoraggio, la lunghezza equivalente e la tensione tangenziale di aderenza.

Si può utilizzare una **superficie di contrasto** se si vuole che il supporto reagisca a compressione. Dopo aver spuntato l'opzione, si definisce la legge costitutiva del materiale che costituisce il supporto, attraverso un opportuno dialogo: sono disponibili quattro formulazioni, tutte del tipo **no tension**: una lineare e tre non lineari.

Legge costitutiva di tipo **indefinitamente elastico** – no tension: vanno definiti un fattore di omogeneizzazione  $m$  (che riduce il modulo elastico dei bulloni) e la massima tensione di compressione  $\sigma_{max}$ . Ad esempio se il contrasto è un calcestruzzo si potrà dare 1/15 come coefficiente di omogeneizzazione. L'omogeneizzazione viene fatta rispetto all'acciaio.

Legge costitutiva di tipo **elastico-perfettamente plastico** no tension: vanno definiti il modulo elastico  $E$ , la tensione di snervamento  $s_y$  e la deformazione ultima  $e_u$ , oltre al fattore di sicurezza  $\gamma_M$

Legge costitutiva di tipo **parabola-rettangolo** – no tension: vanno definiti il vertice della parabola di tensione  $s_1$  e deformazione  $e_1$  e la deformazione ultima  $e_u$ , oltre al fattore di sicurezza  $\gamma_M$ .

Legge costitutiva di tipo **trilineare** – no tension: vanno definiti i punti sforzo-deformazione di coordinate  $(s_3, e_3)$ ,  $(s_2, e_2)$ ,  $(s_u, e_u)$ , oltre al fattore di sicurezza  $\gamma_M$ .

A eccezione dei numeri dimensionali  $m$  e  $\gamma_M$ , gli altri valori vanno inseriti nelle unità di misura attive.

Definiamo ora una legge costitutiva no tension con andamento parabola-rettangolo. [*click, click*] Definiamo  $s_1$ ,  $e_1$  ed  $e_u$ . Poniamo gamma M uguale a 1.5 Clicchiamo OK per tornare al dialogo principale.

→ Attraverso un apposito dialogo, si definisce la superficie di contrasto, cioè la zona dove si può avere compressione sull'oggetto che funge da contrasto. Tale superficie può essere definita in CSE in accordo alla normativa, orlando opportunamente le impronte delle membrature e dei loro irrigidimenti. È anche possibile definire due o più superfici di contrasto distinte, se necessario.

Innanzitutto definiamo che l'oggetto correntemente selezionato in verde nell'immagine, cioè il blocco-vincolo in calcestruzzo, è quello che dovrà essere sottoposto alla verifica di schiacciamento, spiegata a breve. Quindi selezioniamo la faccia della piastra e impostiamo tutta la sua superficie come superficie di contrasto. Nella terza parte di questo filmato sarà mostrato come definire in modo più articolato una superficie di contrasto. Si noti che il bordo del blocco vincolo, se non selezionato, è ora rappresentato in giallo, in quanto è l'oggetto che verrà verificato a schiacciamento. Premiamo OK per tornare al dialogo principale.

Si è parlato di verifica di schiacciamento: il rapporto tra la massima tensione di compressione agente sul contrasto calcolata dal programma e la massima tensione di compressione possibile sulla base della legge costitutiva introdotta dà il coefficiente di sfruttamento del contrasto. Questo sfruttamento concorre a determinare lo sfruttamento del componente che costituisce il contrasto.

Quando la bullonatura è con contrasto, è possibile decidere se nel calcolo debba essere usata l'area netta dei bulloni o quella lorda e se debba essere considerato o meno il momento di inerzia proprio dei bulloni.

CSE calcola la massima azione assiale centrata, il massimo taglio centrato e il massimo momento torcente sopportabili dalla bullonatura. Questi valori sono riportati nella sezione "Valori limite sollecitazioni elementari". Si può scegliere se adottare i limiti elastici o quelli plastici.

Durante la definizione della disposizione dei bulloni CSE avverte quando tutti i bulloni non connettono gli stessi oggetti, o alcuni bulloni sono fuori dalle facce: spuntando questa casella vengono inibiti i messaggi d'errore.

Nella terza parte del filmato verrà spiegato, oltre alla definizione di superfici di contrasto complesse, anche il dialogo per la verifica di block tearing.

Nota sulla visualizzazione dei bulloni in funzione delle ipotesi di calcolo: se i bulloni lavorano anche a trazione oltre che a taglio, viene visualizzato un puntino sulla testa; se c'è pretiro sulla testa viene visualizzato un triangolo e se inoltre l'unione è ad attrito vengono visualizzate le diagonali sulle facce laterali della testa. Queste convenzioni non vengono visualizzate nella fase di post processing. Gli ancoraggi hanno una rappresentazione diversa dai bulloni normali: non ci sono le viti.

### PARTE 3

In questa terza parte del filmato saranno mostrati due sottodialoghi presenti nel dialogo principale di aggiunta delle bullonature. Il primo serve a definire una o più superfici di contrasto in modo più dettagliato rispetto alla semplice selezione di una faccia, mentre attraverso il secondo è possibile studiare i vari percorsi di rottura per block tearing sulle facce degli oggetti forati, in funzione dell'angolo di incidenza della risultante.

Vediamo innanzitutto il dialogo per la determinazione delle poligonali di contrasto, a cui si accede tramite il bottone *Contrasto* posto al di sotto dell'immagine.

I controlli principali di questo dialogo sono quelli che consentono di determinare la superficie (o le superfici di contrasto) e di scegliere quale sia l'oggetto che deve essere verificato per schiacciamento.

Per scegliere l'oggetto da verificare si deve premere il bottone evidenziato, quando una faccia dell'oggetto desiderato è quella corrente (in verde). In questo caso il componente schiacciato sarà il blocco vincolo in calcestruzzo, una faccia del quale è già correntemente in verde. La faccia dell'oggetto da verificare viene rappresentata in giallo, cosa al momento non visibile perché si tratta anche della faccia corrente.

Determiniamo ora la superficie di contrasto. Con le frecce sotto all'immagine scorriamo tra le varie facce e selezioniamo quella corrispondente all'impronta della piastra di base, premendo il bottone evidenziato, tale faccia viene impostata come poligonale di contrasto, e lo schiacciamento potrà avvenire in tutta la zona sottostante alla piastra.

Considerare l'intera la superficie della piastra può non essere a favore di sicurezza, in quanto la piastra stessa è deformabile ed è in grado di trasferire gli sforzi di compressione dalla colonna al blocco in calcestruzzo solo in una zona limitata intorno alle flange e all'anima della colonna, e attorno alle costole di irrigidimento. In questo caso, come vedremo, la differenza sarà quasi trascurabile, ma per essere a favore di sicurezza occorre descrivere la poligonale secondo normativa. Selezioniamo l'impronta della membratura, Cliccando il bottone visto in precedenza, essa diventerebbe la poligonale di contrasto; premendo il bottone sottostante, essa viene orlata di un oggetto *c* definito nell'apposita casella. Il parametro *c* determina la striscia in cui lo sforzo può essere trasferito da ciascun piatto al blocco in calcestruzzo tramite la piastra. Il suo valore può essere inserito manualmente, oppure calcolato automaticamente in base ai seguenti parametri: spessore e

tensione di snervamento della piastra, tensione di progetto del materiale che funge da supporto. Introduciamo i parametri del modello in esame. Il terzo parametro viene calcolato automaticamente da CSE in base ai dati sul materiale introdotti nel dialogo *Dati Contrasto* visto nella seconda parte di questo filmato.

Chiediamo il calcolo di  $c$ ; il suo valore è determinato con la formula in sovrapposizione. Impostiamo quindi come poligonale di contrasto la faccia corrente orlata di un oggetto  $c$ .

Come si vede, essa sborda dalla piastra, ma di questo ce ne occuperemo in seguito. Aggiungiamo ora alla poligonale i contributi delle due costole di irrigidimento, anch'esse orlate di un oggetto  $c$ . Questo bottone ha originato una superficie di contrasto che è l'unione di quella precedentemente definita con l'impronta orlata della faccia corrente. Eseguiamo la stessa operazione per l'altro irrigidimento e infine eliminiamo le parti della superficie di contrasto che sbordano dalla piastra: selezioniamo la faccia opportuna e chiediamo l'intersezione con la poligonale.

Il bottone *Sub*, qui non necessario, consente infine di sottrarre la faccia corrente dalla superficie di contrasto attualmente definita.

Come detto in precedenza, in questo caso la riduzione rispetto all'intera superficie della piastra non è significativa. La poligonale corrente è comunque a favore di sicurezza e darà origine a una distribuzione più accurata delle pressioni nell'eventuale modello FEM automatico della piastra di base. È in ogni caso possibile selezionare la piastra e usare tutta la sua superficie come contrasto.

Nella sezione dati contrasto vengono riportati due dati calcolati da CSE: l'area totale della superficie di contrasto e la resistenza a compressione semplice dell'oggetto schiacciato, in base alla sua tensione specificata.

---

Vediamo ora in un altro modello il dialogo per il block tearing. Allo scopo di rendere più chiara la spiegazione, illustreremo un modello semplice in cui due piatti sono collegati da un layout di bulloni.

Attraverso il bottone "block tear" si accede al dialogo con le informazioni calcolate da CSE per questa modalità di rottura.

In alto a sinistra sono riportate le informazioni di base della bullonatura, già descritte nel dialogo principale. I dati sottostanti sono riferiti alla faccia corrente, quella evidenziata in verde nell'immagine. Scorrendo con le frecce sotto la figura, si sceglie la faccia desiderata.

Su di essa è rappresentato il percorso di rottura per block tearing più critico tra tutti quelli indagati da CSE in base alla direzione della risultante. [callout] La convenzione sull'angolo di incidenza della forza è mostrata nell'immagine in sovrapposizione.

Nella casella in alto viene riportata la resistenza totale delle superfici di rottura lungo il percorso più critico. Tale resistenza è chiamata  $F_{ultima}$

Modificando l'angolo di inclinazione della forza, il percorso di rottura e la sua resistenza vengono aggiornati in tempo reale.

Premendo il bottone "situazione peggiore" l'angolo viene impostato automaticamente sull'inclinazione della forza a cui corrisponde la minor resistenza tra tutti i percorsi, al variare di tutte le inclinazioni. Contemporaneamente vengono riportati tale resistenza e il percorso di rottura associato.

Infine, premendo il bottone "diagramma", nell'immagine viene rappresentato l'andamento della resistenza al variare dell'angolo di inclinazione della forza.

Si noti che, data una direzione, in questo dialogo viene riportato il percorso con la resistenza minore, ma non è detto che durante le verifiche quel percorso risulterà il più critico per una forza agente in quella stessa direzione. Ciò è possibile in quanto i vari percorsi possono non interessare tutti i bulloni, ma solo un loro sottoinsieme: la resistenza di un percorso deve essere confrontata con le forze trasmesse dai soli bulloni che interessano quel percorso, e può quindi succedere che il percorso avente resistenza minore sia interessato solo da alcuni bulloni del layout, dando luogo a un rapporto *forza applicata diviso resistenza* minore di quello di un altro percorso, che ha sì una resistenza maggiore, ma che è anche soggetto a una risultante complessiva maggiore poiché interessato da un maggior numero di bulloni.

$$\frac{F_{P \min}}{F_{U, P \min}} < \frac{F_{Pj}}{F_{U, Pj}}$$

## 680 COMANDI: RENODO –Cancella componenti

Il comando cancella, nel menu renodo, è disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo e consente di cancellare i componenti selezionati.

C'è una seconda modalità di cancellazione dei componenti, attraverso la vista alfanumerica – pannello renodo: dopo aver cliccato il nome di un componente nella lista è possibile eliminarlo premendo il tasto *Canc* sulla tastiera.

La cancellazione di un componente comporta la cancellazione di tutte le variabili e le condizioni aggiuntive, poiché esse potrebbero fare riferimento a variabili predefinite del componente eliminato, oppure a variabili aggiuntive che a loro volta fanno riferimento alle predefinite del componente cancellato.

È quindi consigliata l'aggiunta di variabili e condizioni alla fine della costruzione del renodo.

## 681 COMANDI: RENODO – Modifica componente

Il comando modifica, nel menu renodo, è disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo e consente di accedere al dialogo di modifica del componente selezionato. Deve essere selezionato uno e un solo componente.

Il dialogo di modifica di ciascun tipo di componente è uguale a quello di inserimento relativo allo stesso tipo di componente, si rimanda quindi alle lezioni riguardanti l'aggiunta dei vari pezzi per la descrizione dei dialoghi.

Quando si effettua una modifica il dialogo presenta inizialmente i parametri correnti del componente in esame, e dopo le modifiche il componente si presenterà in coerenza con in nuovi parametri.

C'è una seconda modalità di modifica dei componenti, attraverso la vista alfanumerica – pannello renodo: un doppio click sul nome di un componente nella lista (o in alternativa la pressione della barra spaziatrice) fa accedere al relativo dialogo di modifica, indipendentemente dallo stato di selezione corrente.

→ Nota bene: il comando di modifica dei componenti non è disponibile durante la registrazione di un renodo parametrico.

## 682 COMANDI: RENODO – Copia/Ricopia componenti

Il comando copia è disponibile quando è attiva la vista renodo e vi è almeno un componente selezionato, membrature escluse. Si trova nel menu renodo ed è accessibile anche tramite il bottone evidenziato.

Il comando consente di creare delle copie de tramite e degli unitori selezionati, definendo un vettore di spostamento rispetto ai componenti originali. Il comando non ha effetto sulle membrature eventualmente selezionate.

All'esecuzione del comando si accede a un dialogo che consente di definire il vettore di spostamento degli oggetti selezionati secondo diverse modalità.

Sono disponibili 5 modalità per definire un vettore di traslazione e 3 modalità per definire un vettore di rotazione.

Vediamo innanzitutto le traslazioni: se si sceglie la modalità “2 punti”, andranno poi cliccati nella scena due punti che definiranno un vettore nello spazio. Più precisamente, il primo punto è la coda del vettore, il secondo la punta.

Nella modalità “2 facce” vanno cliccate nella scena due facce parallele: il vettore risulterà normale a esse e avrà la coda giacente nel piano della prima faccia, la punta nel piano della seconda.

Nella modalità “faccia + delta” si clicca una faccia e poi si definisce il modulo del vettore, nelle unità di misura attive: il vettore sarà diretto come la normale uscente dalla faccia in caso di modulo positivo.

Nella modalità “faccia punto” si clicca prima una faccia, poi un punto; il vettore sarà la normale uscente dalla faccia, con modulo pari alla distanza tra la faccia scelta e il piano parallelo a essa in cui giace il punto scelto.

Nella modalità numerica vanno definire le tre componenti del vettore di traslazione, nelle unità di misura attive.

Per quanto riguarda le rotazioni, la prima modalità richiede che vengano cliccati nello scena due punti che definiscono l'asse di rotazione, quindi va specificato l'angolo in gradi.

La seconda modalità richiede la scelta di una membratura tramite il click di una qualsiasi delle sue facce: l'asse della membratura scelta è l'asse di rotazione, viene quindi richiesto l'angolo di rotazione, in gradi.

Nella modalità numerica, infine, l'asse di rotazione viene definito attraverso le coordinate di due punti.

Vediamo in questo esempio come generare rapidamente nuove costole di irrigidimenti, con i relativi cordoni di saldatura, partendo dai componenti correntemente selezionati.

Eseguiamo innanzitutto il comando “copia” scegliendo la modalità di traslazione numerica.

Definiamo un vettore di 185mm in direzione  $-z$ .

È stata creata una copia della costola e delle saldature. Usiamo ora il comando **Ricopia** per generare un'altra costola saldata ad altri 185 millimetri di distanza.

Selezioniamo ora con un box rettangolare le costole e i cordoni non selezionati.

... e copiamoli dall'altra parte della colonna con la modalità membratura + angolo del comando copia.

Sono state aggiunte 3 costole con i rispettivi cordoni di saldatura.

## 683 COMANDI: RENODO – Ruota componenti

Il comando “Ruota” è accessibile quando è attiva la vista grafica e almeno un componente, membrature escluse, è selezionato. Il comando si trova nel sottomenu “componenti” del menu renodo ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale.

Alla sua esecuzione appare il dialogo per la gestione della rotazione degli oggetti correntemente selezionati.

Se il bottone “locale” non è premuto le rotazioni vengono definite nel sistema globale o corrente, altrimenti ciascuno degli oggetti selezionati sarà ruotato in base all’orientazione degli assi del suo sistema locale.

Nelle caselle DR va indicata l’entità della rotazione rispetto all’asse corrispondente, in gradi; con le frecce corrispondenti si applicano quindi gli scatti di rotazione. Applichiamo ad esempio una rotazione di 45° attorno all’asse y nel sistema di riferimento globale.

Il componente viene ruotato nella scena in tempo reale.

## 684 COMANDI: RENODO – Modifica opzioni bullonature

Il comando “modifica opzioni bullonature” si trova nel menu renodo, sottomenu componenti. È disponibile quando la vista grafica è attiva e vi sono una o più bullonature selezionate.

Questo comando consente di cambiare contemporaneamente le seguenti ipotesi di funzionamento delle bullonature selezionate: bulloni solo a taglio o a taglio e trazione; bulloni anche compressi; unioni ad attrito; ancoraggi.

Vogliamo ad esempio che le bullonature sulle flange correntemente selezionate, che ora lavorano a taglio e trazione, lavorino solo a taglio. Spuntiamo l’opzione “solo taglio” e attiviamo il cambio. Premendo OK, tutte le bullonature selezionate lavoreranno solo a taglio; le altre ipotesi di funzionamento non verranno modificate e ciascuna bullonatura manterrà le proprie.

## 685 COMANDI: RENODO – Sposta componenti

Il comando sposta è disponibile quando è attiva la vista renodo e vi è almeno un componente selezionato. Si trova nel menu renodo ed è accessibile anche tramite il bottone evidenziato.

Il comando consente di spostare tutti i tipi di componente nella scena: tramite, membrature e unitori. A rigore non dovrebbe essere necessario spostare le membrature, in quanto è sufficiente prevedere delle opportune eccentricità nel modello fem. È comunque possibile spostare anche le membrature, tenendo presente che ciò comporterà l'aggiunta di momenti di trasporto proporzionali all'entità dello spostamento, per coerenza con il modello fem. Se è quindi strettamente necessario spostare delle membrature per ragioni costruttive, ci si assicuri di definire spostamenti piccoli, ricordando che è possibile ovviare a ciò definendo opportune eccentricità nel modello fem.

All'esecuzione del comando si accede a un dialogo che consente di definire il vettore di spostamento degli oggetti selezionati secondo diverse modalità.

Sono disponibili 5 modalità per definire un vettore di traslazione e 3 modalità per definire un vettore di rotazione.

Vediamo innanzitutto le traslazioni: se si sceglie la modalità “2 punti”, andranno poi cliccati nella scena due punti che definiranno un vettore nello spazio. Più precisamente, il primo punto è la coda del vettore, il secondo la punta.

Nella modalità “2 facce” vanno cliccate nella scena due facce parallele: il vettore risulterà normale a esse e avrà la coda giacente nel piano della prima faccia, la punta nel piano della seconda.

Nella modalità “faccia + delta” si clicca una faccia e poi si definisce il modulo del vettore, nelle unità di misura attive: il vettore sarà diretto come la normale uscente dalla faccia in caso di modulo positivo.

Nella modalità “faccia punto” si clicca prima una faccia, poi un punto; il vettore sarà la normale uscente dalla faccia, con modulo pari alla distanza tra la faccia scelta e il piano parallelo a essa in cui giace il punto scelto.

Nella modalità numerica vanno definire le tre componenti del vettore di traslazione, nelle unità di misura attive.

Per quanto riguarda le rotazioni, la prima modalità richiede che vengano cliccati nello scena due punti che definiscono l'asse di rotazione, quindi va specificato l'angolo in gradi.

La seconda modalità richiede la scelta di una membratura tramite il click di una qualsiasi delle sue facce: l'asse della membratura scelta è l'asse di rotazione, viene quindi richiesto l'angolo di rotazione, in gradi.

Nella modalità numerica, infine, l'asse di rotazione viene definito attraverso le coordinate di due punti.

Vediamo ora la modalità di traslazione “2 facce” *[click]* vogliamo ad esempio che la piastra selezionata sia a contatto con la flangia della colonna: clicchiamo la faccia verticale della piastra, quindi la faccia esterna della flangia della membratura verticale.

## 686 COMANDI: RENODO - Lavorazioni

Il comando lavorazioni si trova nel menu renodo ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale. È utilizzabile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo e vi è uno e un solo componente selezionato, non considerando gli unitori.

Il comando dà accesso a un dialogo in cui si può scegliere una lavorazione da applicare al pezzo selezionato oppure rimuovere le lavorazioni precedentemente fatte su di esso.

Le lavorazioni disponibili sono: sottrazioni di frusto a base box rettangolare e a base poligonale; rotazione di faccia; smussi circolari, triangolari e quadrati; traslazione di faccia.

Dopo aver scelto la lavorazione e aver inserito una descrizione opzionale, cliccando su “aggiungi” si torna nella vista grafica per la definizione della lavorazione.

Alcune lavorazioni necessitano di parametri aggiuntivi: il valore impostato nella casella “raggio smusso” determina la dimensione degli smussi circolari, triangolari e quadrati, ed è inoltre la dimensione degli eventuali smussi circolari nelle sottrazioni di frusto.

Nelle “opzioni comando” vanno impostati i parametri per la visualizzazione dei punti notevoli sull’oggetto selezionato per consentire l’applicazione di sottrazioni di frusto.

Durante queste operazioni, infatti, si utilizzano punti della scena per determinare la forma del box rettangolare o della poligonale: tutti i vertici di tutti i componenti nella scena sono cliccabili, inoltre è possibile visualizzare, su tutti i lati dell’oggetto da lavorare, i punti a metà, ai terzi e ai quarti dei lati; infine è possibile visualizzare su questi lati tanti punti equispaziati del valore specificato nell’apposita casella (tale valore è espresso nelle unità correnti).

Nella lista di sinistra sono riportate tutte le lavorazioni già presenti sul componente selezionato. È possibile eliminarle nell’ordine inverso rispetto a quello in cui sono state definite, in quanto ogni lavorazione successiva viene fatta su un pezzo che risente di tutte le lavorazioni precedenti. Selezionando l’ultima lavorazione nella lista e cliccando il bottone sottostante, la lavorazione viene eliminata.

Vediamo ora nel dettaglio le varie lavorazioni. Lasciamo le sottrazioni di frusto per ultime, in quando richiedono una spiegazione più approfondita.

**Rotazione di faccia.** Non richiede alcun parametro da specificare nel dialogo. Clicchiamo “aggiungi” per inserire la lavorazione. Nella scena dovremo cliccare la faccia che vogliamo ruotare, quindi la faccia di riferimento, a cui la prima faccia dovrà diventare parallela. La faccia di riferimento può appartenere anche ad altri componenti.

**Smussi.** La modalità di inserimento dei diversi tipi di smusso è la stessa: dopo aver premuto “aggiungi” si dovranno cliccare nella scena i due vertici dello spigolo che si vuole smussare. La dimensione dello smusso é quella indicata nell’apposita casella.

Lo smusso può comportare rimozione o aggiunta di materiale, a seconda della posizione dei lati che partono dallo spigolo, come è mostrato nell’immagine in sovrapposizione.

Applichiamo come dimostrazione uno smusso circolare. Clicchiamo nella scena i due vertici dello spigolo che vogliamo smussare. In questo caso ci sarà rimozione di materiale. *[click]*. Si noti che in CSE lo smusso circolare viene approssimato con due facce piane, per non appesantire eccessivamente la vista con dettagli grafici non rilevanti in fase di calcolo del collegamento, ma nelle tavole esecutive viene reso correttamente.

Gli smussi triangolare e quadrato funzionano nello stesso modo appena visto per quello circolare, cambia solo la forma dello smusso.

**Traslazione di faccia** non richiede parametri ulteriori nel dialogo. Cliccando “aggiungi” si ritorna nella scena: qui si deve cliccare la faccia da traslare. Dalla faccia scelta devono partire lati paralleli tra loro affinché la lavorazione possa essere applicata. *[click]*. Dopo la selezione si apre un dialogo in cui va indicata, nelle unità correnti, l’entità della traslazione. Valori positivi implicano traslazioni della faccia verso l’esterno dell’oggetto.

Questa lavorazione è particolarmente indicata per allungare o accorciare membrature che hanno già subito altre lavorazioni (si veda il filmato 671 per approfondimenti).

Vediamo ora le sottrazioni di frusto. Come detto in precedenza, i parametri necessari sono quelli nella sezione “opzioni di comando” e, nel caso in cui si andranno a definire spigoli smussati, la dimensione del raggio dello smusso.

Aggiungiamo una **sottrazione di frusto a base box rettangolare**. *[click]*. Nella scena dobbiamo cliccare i due vertici opposti di un rettangolo, eventualmente con uno o più spigoli smussati, e la forma definita verrà estrusa all'infinito in direzione normale allo schermo, rimuovendo la parte del componente sotto lavorazione che si trova all'interno del prisma generato.

I punti notevoli sono quelli precedentemente definiti. Clicchiamo il primo punto. Compare un dialogo in cui possiamo specificare gli spigoli che vogliamo smussare. Premiamo "ok" e clicchiamo il secondo punto nella scena.

Il materiale racchiuso nel prisma da noi definito è stato rimosso.

Vediamo infine la **sottrazione di frusto a base poligonale**. La lavorazione è simile a quella a base box rettangolare, ma qui il prisma estruso ha una forma poligonale generica.

La poligonale va definita cliccando in sequenza punti nella scena, e richiudendo la spezzata sul primo punto. La sezione così definita verrà estrusa e il materiale all'interno del prisma viene rimosso.

Oltre a cliccare i punti nella scena, è possibile definire i lati della poligonale per via numerica: cliccando la barra spaziatrice si accede a un dialogo in cui sono disponibili tre diverse modalità di inserimento.

Dx – Dy richiede le distanze lungo x e lungo y del nuovo punto rispetto all'ultimo inserito, nelle unità di misura correnti. Il sistema di riferimento è nel piano dello schermo, con gli assi orientati come nella figura in sovrimpressione.

La seconda modalità richiede un angolo, espresso in gradi e con la convenzione mostrata nell'immagine in sovrimpressione, e la lunghezza del lato, nelle unità di misura correnti.

La terza modalità è simile alla seconda, ma qui l'angolo definito è un incremento (se il valore è positivo) rispetto all'inclinazione dell'ultimo lato inserito.

È possibile inoltre rimuovere l'ultimo lato inserito e, se si spunta la casella in basso, tra l'ultimo lato inserito e il successivo verrà aggiunto un raccordo curvilineo.

## 689 COMANDI: RENODO – Aggiungi variabile

Il comando “aggiungi variabile” si trova nel menu renodo ed è accessibile anche tramite il bottone evidenziato

Esso è disponibile quando si è in vista renodo ed è attiva la vista alfanumerica.

Nel dialogo che si presenta vanno definite: il nome della variabile[...]; la formula che la definisce; la sua dimensionalità (se forza, lunghezza, superficie, numero puro, ecc.); una sua descrizione opzionale.

Nella lista in basso a sinistra è disponibile l’elenco di tutti i componenti del renodo con le relative proprietà geometriche.

Per l’inserimento della formula è possibile utilizzare le variabili già presenti nel modello (predefinite o aggiunte in precedenza) e l’apposito tastierino alfanumerico. La descrizione dei bottoni del tastierino è nella guida e nell’help in linea, accessibile premendo il tasto F1; per inserire una variabile già esistente basta cliccare su di essa. La formula che abbiamo appena definito significa “il massimo tra il taglio in direzione dell’asse 2 e quello in direzione dell’asse 3 sulla membratura m2, che è quindi una forza. Completiamo la variabile con la descrizione.

Premendo OK la variabile viene inserita. È presente nella lista delle variabili aggiuntive con il suo valore numerico e può essere utilizzata per definire nuove variabili oppure condizioni di verifica aggiuntive.

In questo caso viene restituito il valore zero perché le azioni interne nelle membrane sono variabili attualizzate durante le verifiche, e assumo valori diversi nelle varie combinazioni e nelle varie istanze.

Se vengono richieste le verifiche utente nelle impostazioni di verifica, nel tabulato di output vengono riportate tutte le variabili aggiunte dall’utente. Verifichiamo il renodo [*verifica!*, *mostra*]. Nel tabulato, prima delle verifiche automatiche, sono riportate le variabili aggiuntive.

## 690 COMANDI: RENODO – Aggiungi condizione

Il comando “aggiungi condizione” si trova nel menu renodo ed è accessibile anche tramite il bottone evidenziato.

Esso è disponibile quando si è in vista renodo ed è attiva la vista alfanumerica.

Nel dialogo che si presenta va definita la disequazione che definisce la , opzionalmente corredata da una descrizione generale e da una descrizione dei due membri che la compongono.

Va inoltre specificato se si tratta di un prerequisito di applicabilità del renodo o di una vera e propria condizione di verifica aggiuntiva.

Infine, nel caso di verifica aggiuntiva, va indicato il componente a cui la verifica si riferisce. A tale componente saranno associati i coefficienti di sfruttamento calcolati.

Nella lista in basso a sinistra è disponibile l’elenco di tutti i componenti del renodo con le relative proprietà geometriche.

Per l’inserimento della formula è possibile utilizzare le variabili già presenti nel modello (predefinite o aggiunte in precedenza) e l’apposito tastierino alfanumerico. La descrizione dei bottoni del tastierino è nella guida e nell’help in linea, accessibile premendo il tasto F1; per inserire una variabile già esistente basta cliccare su di essa. Definiamo ad esempio una condizione di verifica sul componente m2, per verificare che l’azione assiale su tale membratura non superi mai il carico sopportabile dalla sola anima:  $m2.N \dots$  deve essere minore o uguale... della tensione di snervamento per l’area dell’anima della membratura m2. La condizione è una verifica... e la associamo al componente m2...

Aggiungiamo le varie descrizioni.

Premendo OK la condizione viene inserita. È ora presente nella lista delle condizioni aggiuntive.

In questo modello è stato aggiunto in precedenza anche un prerequisito.

Si richiede che per l'applicabilità del collegamento venga verificato che la larghezza della membratura m4 sia inferiore all'altezza netta dell'anima della membratura m1. Essendo un prerequisito non deve essere associato ad alcun componente.

Se nelle impostazioni di verifica si richiede che vengano eseguite anche le verifiche utente, prima della sezione relativa alle verifiche automatiche vengono riportate nel tabulato tutte le condizioni aggiunte dall'utente.

Il controllo sugli eventuali prerequisiti presenti, che CSE svolge prima di tutte le altre verifiche, è riportato all'inizio della sezione dedicata alle verifiche automatiche. Se un requisito è soddisfatto avrà un coefficiente minore di 1.

Le condizioni di verifica aggiuntive sono invece trattate come tutte le altre verifiche, e vengono riportati i risultati a esse inerenti solo quando comportano, per il pezzo a cui sono associate, il coefficiente di sfruttamento massimo tra tutte le verifiche previste per quel pezzo.

In questo caso per la membratura m2 la verifica da noi aggiunta non è mai la condizione più critica.

## 691 COMANDI: RENODO – Modifica variabile o condizione

Il comando “modifica variabile o condizione”, nel menu renodo, sottomenu “variabili e condizioni” è disponibile quando è attiva la vista alfanumerica in modalità variabili e condizioni e consente di accedere al dialogo di modifica della variabile o della condizione aggiuntiva selezionata.

Il dialogo di modifica è uguale a quello di inserimento relativo alle variabili o alle condizioni, si rimanda quindi alle lezioni riguardanti l’aggiunta per la descrizione dei dialoghi.

Quando si effettua una modifica il dialogo presenta inizialmente i parametri correnti della variabile o della condizione in esame. Il nome non può essere cambiato, perché ci potrebbero essere nel renodo altre variabili e condizioni che fanno riferimento al nome precedentemente definito.

C’è una seconda modalità di modifica: un doppio click sul nome di una variabile o di una condizione nella lista fa accedere al relativo dialogo di modifica.

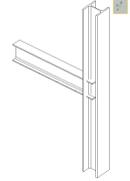
## 692 COMANDI: RENODO – Elimina variabile o condizione

Il comando “elimina variabile o condizione”, nel menu renodo, sottomenu “variabili e condizioni”, è disponibile quando è attiva la vista alfanumerica in modalità “variabili e condizioni” e consente di cancellare la variabile o la condizione selezionata.

C’è una seconda modalità di cancellazione delle variabili e delle condizioni: dopo aver cliccato il nome di una variabile o condizione nella lista è possibile eliminarla premendo il tasto *Canc* sulla tastiera.

Nota bene: non è possibile cancellare variabili che sono utilizzate da altre variabili o condizioni, a meno che non si eliminino prima le variabili o condizioni dipendenti da essa.

## 695 COMANDI: RENODO – Controlla compenetrazioni



Il comando “Controlla compenetrazioni”, nel menu Renodo, cerca eventuali compenetrazioni tra gli oggetti nella scena. È possibile infatti che l’utente possa introdurre inavvertitamente delle compenetrazioni per il posizionamento errato di alcuni componenti, per la mancata assegnazione di eccentricità nel modello fem di partenza, ecc.

Se i suoni del programma sono attivi, ci si accorge immediatamente di un’eventuale compenetrazione; in ogni caso questo comando costituisce uno strumento fondamentale, consentendo anche di individuare nella scena gli elementi che si compenetrano.

Dopo l’esecuzione del comando, viene mostrato un messaggio che dice se sono presenti oggetti compenetranti oppure no. In caso affermativo tutti gli oggetti interessati vengono selezionati, mentre gli altri risultano deselezionati; se non ci sono compenetrazioni, tutti gli oggetti risultano non selezionati.

## 696 COMANDI: RENODO – Controlla coerenza

È possibile che nel modello siano rimasti oggetti non correttamente connessi, ad esempio per la mancata aggiunta di opportuni unitori da parte dell'utente, per l'inavvertita cancellazione di un pezzo, per la violazione dei criteri di bullonabilità o saldabilità a causa dello spostamento di componenti dalla loro posizione originaria, ecc.

È quindi consigliata l'esecuzione del comando "controlla coerenza" nel menu renodo, che valuta in modo automatico la presenza di eventuali problemi di connessione tra i vari pezzi, informando l'utente.

Eseguiamo il comando: viene mostrato un messaggio che informa della presenza di tramite privi di collegamento.

Nella scena vengono selezionati i pezzi con problemi: alla piastra selezionata mancano bulloni o cordoni che la colleghino alle anime delle membrature.

## 697 COMANDI: RENODO – Esporta

È possibile esportare da CSE un modello del renodo corrente in formato .dxf per autocad, intellicad e simili.

Il comando “esporta” si trova nel menu renodo ed è disponibile quando è attiva la vista renodo.

Se si è in modalità “estrazione” verranno esportati solo gli oggetti correntemente estratti, altrimenti verranno esportati tutti i componenti del renodo.

All’esecuzione del comando viene creato un file dxf nella cartella in cui si trova il modello CSE. Il nome del file è uguale a quello del modello, seguito dalla marca del jnodo corrispondente al jnodo.

Vediamo in Intellicad il file creato da CSE.

## 698 COMANDI: RENODO – Assegna Prenodo

L'assegnazione di un nodo parametrico, o p-renodo, consiste nella costruzione automatica del nodo corrente seguendo le operazioni che sono state fatte durante la costruzione di un nodo simile, registrato in forma parametrica.

Per poter assegnare un nodo parametrico dell'archivio al nodo corrente, questo deve essere vuoto. Non devono essere stati aggiunti componenti, variabili o condizioni, né devono essere state modificate le membrature attraverso lavorazioni, traslazioni, allungamenti, accorciamenti, ecc.

Se sono state già fatte delle operazioni, è possibile azzerarle con il comando *Azzerà nodo*, riportando il collegamento alla sua condizione iniziale.

Per applicare un P-renodo, si esegue il comando *Assegna nodo parametrico*. Viene presentato un dialogo in cui sono riportati tutti e soli i P-renodi compatibili con il nodo attuale.

Ogni P-renodo è corredato da una descrizione e da una o più immagini.

Alcuni P-renodi possono essere riportati più volte, con lo stesso nome ma con una coppia di numeri diversi alla fine: ciò significa che lo stesso P-renodo può essere applicato in modi diversi. In questo caso, si applica il primo e – qualora il risultato non sia quello atteso - si azzerà il nodo e se ne applica un altro.

Quando si assegna un p-renodo, bisogna accertarsi che quello scelto sia coerente con il nodo corrente: ad esempio, se quest'ultimo ha delle connessioni a momento non dovremmo applicargli un p-renodo che prevede cerniere. Potrebbe essere facilmente implementato in CSE un controllo rigoroso sulla presenza di svincoli che inibisca la possibilità di applicare p-renodi a nodi che non abbiano esattamente gli stessi svincoli, ma si è preferito lasciare l'utente libero di scegliere in modo che possa gestire con maggior discrezionalità situazioni intermedie, non classificabili né come incastri perfetti né come cerniere ideali.

Scelto il P-renodo da applicare, si preme OK.

Viene mostrata la lista di tutte le operazioni, come l'aggiunta dei componenti, che verranno compiute automaticamente. Proviamo ora ad applicare il p-renodo scelto senza apportare modifiche: alla pressione di OK, la costruzione verrà fatta in modo totalmente automatico. In seguito torneremo su questo dialogo per spiegarlo meglio.

Il nodo è stato costruito ed è pronto per essere verificato, dopo opportuni controlli da parte dell'utente, che deve assicurarsi della correttezza della costruzione, ed eventualmente dopo la modifica e la scelta opportuna delle impostazioni di verifica. Una volta costruito il nodo, l'utente può modificare certe opzioni relative ai componenti (ad esempio, bulloni ad attrito o non ad attrito, solo a taglio oppure no, ecc.).

E' anche possibile apportare modifiche geometriche al collegamento modificando i singoli componenti, ma la soluzione consigliata, soprattutto se si usa la versione LIGHT, è quella di riapplicare il p-renodo modificando le operazioni desiderate durante la costruzione automatica.

Azzeriamo il nodo e riassegnamo il p-renodo.

In questo dialogo, prima abbiamo cliccato OK lasciando tutte le operazioni spuntate. Se a una o più operazioni viene tolta la spunta, queste potranno essere modificate in tempo reale durante l'applicazione del p-renodo: la costruzione automatica si arresterà infatti in corrispondenza delle operazioni che si è scelto di modificare e l'utente potrà introdurre, attraverso opportuni dialoghi, le modifiche ai parametri desiderati.

I bottoni *Tutte interattive* e *tutte automatiche* servono rispettivamente per togliere e mettere le spunte a tutte le operazioni che consentono una scelta. Di alcune operazioni non è infatti possibile modificare lo stato di selezione. Ad esempio, le operazioni che comportano la selezione di punti o facce nella scena non possono essere modificate.

Rimuoviamo la spunta alla piastra P1, della quale modificheremo lo spessore, e premiamo OK.

La costruzione automatica del nodo si arresta ora in corrispondenza della determinazione dei parametri della piastra. Le quote sono definite in forma parametrica, in funzione delle variabili presenti, poiché deve poter essere applicabile a nodi diversi; ad esempio, la larghezza della piastra è definita in funzione della larghezza della membratura 2 (m2.b). All'applicazione su un nodo ben preciso, di cui conosciamo le esatte dimensioni, possiamo anche definire le quote desiderate direttamente in forma numerica.

Lo spessore della piastra è attualmente uguale allo spessore della flangia della membratura 2 (m2.tf). Per evidenziare meglio la differenza rispetto a prima, aumentiamo notevolmente lo spessore, ponendolo pari al triplo di quello attuale.

Alla pressione di OK la costruzione verrà completata senza altre interruzioni, non avendo tolto la spunta a nessun'altra operazione.

Come si vede, ora la piastra è più spessa e gli altri componenti sono in posizione tale da mantenere la coerenza del collegamento. Le travi orizzontali, infatti, sono state automaticamente accorciate coerentemente con il maggior spessore delle piastre; le saldature e le bullonature sono correttamente posizionate.

## VERSIONE FULL

Nella versione full, per applicare un renodo parametrico a un renodo vuoto si esegue il comando **Assegna Prenodo** del menu Renodo. Da qui in poi il funzionamento è uguale a quello appena mostrato in questo filmato, con la possibilità di applicare direttamente il p-renodo o di modificare interattivamente le operazioni desiderate.

Dopo l'applicazione di un p-renodo, con la versione FULL è possibile modificare liberamente il renodo, come durante una normale costruzione manuale. Si possono aggiungere ulteriori pezzi, eseguire tagli e lavorazioni, spostare componenti, ecc.

Nella versione full, per riportare un renodo alla sua condizione iniziale di renodo vuoto si utilizza il comando **Azzera Renodo** del menu Renodo.



## 700 COMANDI: VERIFICHE – Imposta

Il comando **Imposta**, nel menu verifiche, consente di definire le impostazioni generali delle verifiche. È sempre disponibile, qualsiasi sia la vista correntemente attiva. Se uno o più nodi sono già stati verificati e si decide di modificare le impostazioni di verifica, alla conferma delle modifiche verrà richiesto se mantenere comunque i risultati precedentemente calcolati o inibire l'accesso a essi.

All'esecuzione del comando si accede al dialogo dell'impostazione delle verifiche.

Nel riquadro in alto a sinistra va innanzitutto scelta la normativa di riferimento; nel riquadro sottostante si sceglie la lingua in cui verrà stampato il tabulato, con l'opzione per la sua apertura automatica al termine delle verifiche.

Nella sezione “modalità di calcolo delle azioni interne si può scegliere se utilizzare come azioni interne di riferimento quelle calcolate nelle varie combinazioni di verifica del modello fem originario, se esso è stato importato da Sargon o da Sap2000, oppure se utilizzare le azioni ai limiti elastici o plastici delle varie membrature, opportunamente dosate tramite gli appositi fattori.

Se si usano i limiti plastici o elastici, le sole modalità disponibili in mancanza di risultati esterni, si può scegliere se trascurare o meno le azioni che non vengono trasferite per la presenza di svincoli.

Vanno poi definiti i fattori parziali  $\gamma_{M0, 1, 2, 3, 4 \text{ e } 5}$  nell'apposita sezione.

Nella sezione “verifiche da eseguire” si stabilisce se trascurare o meno le flessioni parassite nel gambo dei bulloni in fase di verifica dei bulloni stessi (tali flessioni vengono sempre calcolate). È poi possibile decidere se eseguire le seguenti verifiche:

- la verifica delle sezioni nette delle membrature che presentano riduzioni dell'area lorda, a causa della presenza di fori per bulloni, tagli, smussi, ecc.
- le verifiche semplificate dei tramite con modelli di beam equivalenti

- le eventuali verifiche utente definite sotto forma di condizioni aggiuntive

Nel riquadro “verifiche fem componenti” si decide se e come creare i modelli fem dei componenti che lo richiedono:

- la prima opzione inibisce la creazione dei modelli
- la seconda possibilità è quella di richiedere la creazione automatica del solo scheletro dei modelli, cioè del contorno degli oggetti, con nodi nell’esatta posizione in cui si trovano i vari bulloni e i vari cordoni; sono presenti inoltre tutte le combinazioni di verifica e, in ognuna di esse, le azioni trasmesse dai bulloni, dai cordoni e dalle superfici di contrasto
- la terza opzione, in aggiunta alla precedente, implica anche la creazione automatica della mesh con elementi plate-shell aventi il corretto spessore e materiale
- la quarta opzione, infine, crea i modelli completi, esegue in automatico un’analisi statica dei modelli e, per ognuno di essi, calcola un coefficiente di sfruttamento confrontando la tensione massima di Von Mises calcolata con quella di riferimento. Lo sfruttamento ottenuto viene confrontato con quelli sullo stesso pezzo derivanti dalle altre verifiche (rifollamento, ecc.) nelle varie combinazioni e istanze.

Va indicato se si vuole che vengano creati modelli per Sargon o per Sap2000. Il solutore statico lineare del programma scelto sarà quello con cui verranno eseguite le eventuali analisi automatiche.

Infine, nel riquadro in basso, vanno definiti il massimo spostamento accettabile (nelle unità di misura attive) e la massima rotazione, espressa in radianti.

## 701 COMANDI: VERIFICHE – Verifica renodo

Il comando **Verifica renodo** è disponibile quando ci si trova in vista renodo attiva, e dà l'avvio alle verifiche automatiche del renodo corrente.

Le verifiche dipendono principalmente dalle impostazioni generali di verifica, viste nella lezione precedente.

Le verifiche dipendono inoltre da come il collegamento è stato realizzato: ad esempio se una membratura non ha fori né tagli, su di essa non verranno eseguite verifiche sulle sezioni nette, indipendentemente dalle impostazioni di verifica, in quanto non presenta sezioni con riduzione dell'area lorda.

Ogni componente ha infine dei parametri che possono escludere o includere alcuni tipi di verifica per determinati componenti. Ad esempio, se una bullonatura viene definita come unione ad attrito, su questa verranno eseguite le verifiche a scorrimento; se per un componente non si richiede l'analisi del modello fem, questa non verrà fatta indipendentemente dalle impostazioni generali.

Prima dell'esecuzione delle verifiche viene eseguito un controllo automatico di coerenza, e se ci sono pezzi non connessi, o non connessi correttamente, l'esecuzione viene interrotta, informando l'utente dei problemi riscontrati.

Se il controllo di coerenza viene superato vengono mostrate le catene, cioè i percorsi attraverso cui le varie membrature sono collegate al master o al blocco vincolo, quindi CSE passa alla verifica degli eventuali prerequisiti definiti dall'utente. Se ve ne sono di non verificati, il programma chiede se continuare o meno.

Vengono poi eseguite tutte le verifiche previste, predefinite o aggiunte dall'utente.

Se ci sono componenti che richiedono la verifica attraverso un modello fem vengono generati automaticamente i modelli e analizzati se previsto.

Infine viene stampato il tabulato e il programma informa dell'eventuale superamento dello spostamento e della rotazione limite.

Al termine delle verifiche gli strumenti per l'analisi dei risultati sono disponibili.

## 702 COMANDI: VERIFICHE – Inviluppo, Risultati correnti, Interroga

In questa lezione vedremo tre comandi che consentono di conoscere il livello di sfruttamento dei vari componenti. Si tratta dei comandi “mostra inviluppo”, “risultati correnti” e “interroga”, presenti nel menu “verifiche” e nella barra laterale.

Il comando “mostra inviluppo” consente di visualizzare contemporaneamente tutti i componenti colorati in base al loro massimo coefficiente di sfruttamento dovuto alle varie verifiche a cui sono sottoposti, in tutte le combinazioni e le istanze.

È così possibile vedere in un colpo solo se ci sono componenti non verificati, e quali sono i pezzi più sollecitati.

Il comando “interroga” consente di sapere, per ogni componente, qual è il valore esatto del coefficiente di sfruttamento massimo, qual è la causa che lo determina, e in quale combinazione e istanza si manifesta. Una volta eseguito il comando è sufficiente postare il cursore del mouse su una faccia qualsiasi del componente di cui si vuole conoscere lo sfruttamento.

Ad esempio la causa di sfruttamento massimo per questa membratura è il rifollamento nella combinazione 37 e nell’istanza 2, e vale 0,605

Per questa barra d’ancoraggio la causa del massimo sfruttamento è la verifica a sfilamento.

Per la piastra di base la causa è la resistenza: il massimo coefficiente di sfruttamento è quindi quello calcolato per mezzo dell’anali fem automatica.

Per il blocco vincolo la causa principale è lo schiacciamento legato alla verifica del contrasto.

Durante l’esecuzione del comando è possibile ruotare o traslare la vista, eseguire degli zoom, ecc. Premiamo ESC o il tasto destro del mouse per interrompere il comando.

Il comando “risultati correnti” serve a vedere i componenti colorati secondo il loro massimo coefficiente di sfruttamento nell’istanza e nella combinazione correnti, al variare delle verifiche a cui sono sottoposti.

Scorrendo tra le combinazioni e le istanze i risultati vengono aggiornati in tempo reale. Andiamo ad esempio nella combinazione 37, istanza 2, quella che abbiamo visto dare il massimo coefficiente per la membratura m2.

Eseguiamo nuovamente il comando interroga. Quando si mostrano i risultati correnti, le informazioni riportate sono più dettagliate. Il rifollamento che determina il massimo coefficiente di sfruttamento si ha in corrispondenza del bullone numero 2 della bullonatura B2; questo provoca una tensione di  $411\text{N/mm}^2$ .

Per i cordoni, ad esempio, viene riportato il punto più critico, con le relative sollecitazioni.

Nelle lezioni seguenti verranno illustrati i risultati delle varie verifiche eseguite da CSE.

## 704 COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati contrasto

Il comando “mostra risultati contrasto” si trova nel menu verifiche ed è disponibile anche un bottone nella barra laterale.

Se il renodo è già stato verificato, selezionando la bullonatura con contrasto desiderata, il comando consente di passare alla visualizzazione dei risultati sul supporto e nei bulloni. Non devono esserci altri layout di bulloni selezionati.

Nella vista grafica si passa a una vista bidimensionale della poligonale di contrasto, con le corrispondenti sezioni dei bulloni. La poligonale e i bulloni sono visualizzati nel sistema di riferimento principale della bullonatura. Vengono visualizzati gli assi locali e le proiezioni degli assi globali.

La parte compressa del supporto è colorata secondo il livello di sfruttamento nella combinazione e nell’istanza correnti, la parte tesa rimane bianca. I bulloni vengono visualizzati del colore corrispondente allo sfruttamento causato dalla sola azione assiale; se i bulloni adottati non lavorano a compressione, come in questo caso, quelli nella zona compressa risultano bianchi.

Sono riportati i valori dello sfruttamento del punto della piastra e del bullone più sfruttati. Per i bulloni non si tratta dello sfruttamento totale, che dipende anche dal taglio ed è visualizzabile nell’involuppo, ma solo della parte di sfruttamento relativa all’azione assiale.

Il limite della zona compressa è l’asse neutro della sezione piana sottoposta a flessione.

Nella parte in alto a sinistra della vista grafica sono riportati i Dati di calcolo: Nome della bullonatura, istanza, combinazione, tipo di legge costitutiva adottata per il contrasto; Azione assiale e momenti flettenti agenti Sfruttamento del supporto, massima tensione nel supporto e nei bulloni.

Scorrendo tra le varie combinazioni e istanze i risultati vengono aggiornati in tempo reale

## 705 COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati sezioni nette

Il comando “mostra risultati sezioni nette” si trova nel menu verifiche ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale.

Quando nelle impostazioni di verifica si richiede l’analisi delle sezioni nette, questo comando consente di visualizzare i risultati sulle sezioni delle membrature con riduzione della sezione lorda e per cui tale verifica è prevista. Si seleziona solo la membratura desiderata, ed eseguendo il comando si passa a un’immagine bidimensionale normale alla sezione netta più critica per quella membratura, nell’istanza e nella combinazione di carico correnti.

In questo caso si tratta della sezione netta numero 4, dove le ali sono state tagliate ma non sono presenti fori. Per informazioni sul riconoscimento automatico delle sezioni nette da parte di CSE si consulti il filmato 630. Per informazioni su come il programma calcola i risultati si veda invece il filmato 352.

L’immagine della sezione netta più sfruttata è campita secondo i livelli di sfruttamento; la scala dei colori non coincide con quella della visualizzazione degli sfruttamenti complessivi, ma viene tarata a seconda degli sforzi massimi e minimi correnti.

Sopra l’immagine sono riepilogati i seguenti dati: nome del renodo e nome della membratura, numero della sezione netta, istanza e combinazione correnti; azioni interne nella sezione netta (azione assiale e momenti flettenti); sforzo normale massimo, limite, e rapporto tra essi

Scorrendo tra le varie combinazioni e istanze i risultati vengono aggiornati in tempo reale. La sezione netta più critica può essere un’altra...

...e se lo sfruttamento massimo nella condizione corrente è causato da altre ragioni, ciò viene segnalato e nessuna sezione è mostrata. Per ragioni di occupazione di spazio su disco vengono memorizzate solo le informazioni relative alle verifiche significative.

## 706 COMANDI: VERIFICHE – Mostra forze

Dopo aver eseguito la verifica di un renodo è possibile visualizzare, attraverso il comando “mostra forze”, le azioni scambiate tra i vari componenti.

Il comando è disponibile quando la vista grafica è attiva; si trova nel menu verifiche ed è anche presente un bottone nella barra laterale.

Le forze e le coppie mostrate sono quelle calcolate nell’istanza e nella combinazione correnti, e sono rappresentate in base al seguente criterio di selezione degli oggetti: se un oggetto è selezionato, verranno mostrate tutte le azioni scambiate tra questo e tutti gli oggetti a esso collegati non selezionati.

Non verrà quindi mostrata nessuna forza se non ci sono oggetti selezionati, oppure se sono tutti selezionati.

Se sono selezionati due o più oggetti direttamente connessi, non verranno mostrate le azioni scambiate tra essi, ma solo quelle scambiate con gli altri oggetti non selezionati.

La verifica di questo modello è già stata fatta, la vista grafica è attiva. Eseguiamo il comando “mostra forze”, che resterà attivo finché non verrà premuto nuovamente il bottone. Non ci sono oggetti selezionati, non sono mostrate azioni. Selezioniamo ora la membratura orizzontale: vengono immediatamente mostrate le azioni scambiate tra questa e la bullonatura a essa collegata, nella combinazione e nell’istanza corrente. In questo caso, con la verifica ai limiti elastici, la combinazione 25 contiene la sola azione assiale della trave. Se scorriamo tra le varie combinazioni, le forze e le coppie vengono aggiornate in tempo reale.

Se selezioniamo anche la saldatura, mantenendo selezionata la membratura, le azioni tra questi due oggetti non verranno più mostrate; saranno invece visualizzate quelle tra la saldatura e la piastra. La visualizzazione avviene in corrispondenza del baricentro del layout di cordoni, e lo stesso vale per i layout di bulloni. Se deseleggiamo la membratura verranno mostrate le azioni, uguali e opposte, scambiate tra la saldatura e la piastra e tra la saldatura e la membratura stessa.

Se si lavora in estrazione, vengono mostrate tutte le forze scambiate tra gli oggetti estratti, e quelli non estratti a essi connessi.

Premendo di nuovo il bottone il comando viene interrotto.

## 707 COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati FEM componente

Il comando “Mostra risultati fem componente” si trova nel menu verifiche ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale. Dopo la verifica del renodo, questo comando apre automaticamente il modello fem del componente selezionato, se per esso ne è stata prevista la creazione, con il programma scelto.

- E' possibile richiedere la creazione e l'analisi automatica dei modelli FEM con i solutori di CSE, e visualizzare i risultati con Sargon Reader, allegato al programma. Sono disponibili il solutore Clever per le analisi statiche lineari e il solutore Curan per le analisi nonlineari.

Il salvataggio del file del modello, che ha estensione *wsr*, viene richiesto alla prima apertura del modello FEM tramite il comando di CSE; se viene eseguita una nuova verifica del renodo e c'è già un modello con lo stesso nome creato durante una verifica precedente, il vecchio file *wsr* viene sovrascritto automaticamente all'esecuzione del comando “Mostra risultati fem componente”.

- Con Sargon Reader i modelli non possono essere modificati; se si possiede una licenza di Sargon, per la modifica manuale dei modelli si deve aprire il file del modello direttamente da Sargon o con un doppio click sul file *.wsr*. Se tale file non è ancora stato creato, in un nuovo progetto di Sargon deve essere importato il file *.sr2* relativo al modello FEM di interesse.

Se si dispone di un programma agli elementi finiti interfacciato con CSE, ad esempio SAP2000, e si richiede che i modelli FEM vengano creati per questo programma, all'esecuzione del comando verrà aperto il modello del pezzo selezionato con la versione in uso del programma scelto.

### PARTE 2

Nella prima parte di questo filmato abbiamo visto il funzionamento del comando per l'apertura automatica dei modelli FEM creati da CSE durante la verifica dei collegamenti. Passiamo ora a una panoramica più generale sulla comprensione e sull'analisi di tali modelli.

Nel renodo corrente, ad esempio, è stata richiesta la creazione del modello fem della piastra di base. Il passo di mesh richiesto è di 10mm nelle zone in corrispondenza di bordi e saldature, e di 30mm nelle zone “libere”. L’angolo minimo richiesto è 19,8 gradi. La tolleranza sotto la quale due nodi vengono fusi è 0,5 millimetri. Nelle impostazioni di verifica è richiesta la creazione del modello completa di analisi automatica con Sargon. Eseguiamo l’analisi del renodo.

Poiché è stata richiesta, viene eseguita l’analisi statica del modello fem con il solutore Clever di Sargon, in tutte le combinazioni di verifica e in tutte le istanze.

Al termine delle verifiche è accessibile il post processing. Poiché è stata richiesta l’analisi FEM automatica del modello creato da CSE, è calcolato per il componente anche un coefficiente di sfruttamento confrontando la massima tensione di Von Mises calcolata nel modello FEM con la tensione di snervamento del materiale, ridotta in base al fattore  $\gamma_{MO}$  impostato.

In questo caso è proprio la verifica FEM a dare il massimo coefficiente di sfruttamento, e lo si evince dalla causa “resistenza” indicata per il componente. Se fosse stata richiesta solo la creazione del modello FEM, senza analisi automatica, non sarebbe stato calcolato alcun coefficiente di sfruttamento derivante dal modello FEM.

Selezioniamo la piastra di base e attraverso il comando “Mostra Risultati Fem componente” apriamo il modello fem con la versione Reader di Sargon.

Il modello sarebbe stato identico - ma senza risultati - se nelle impostazioni di verifica di CSE avessimo richiesto la creazione completa senza analisi FEM automatica; se invece avessimo chiesto solo lo scheletro, il modello creato sarebbe stato quello che ora verrà mostrato.

Nella creazione del solo scheletro CSE dispone degli elementi unifilari che contornano il bordo dell’oggetto; sono presenti nodi in corrispondenza di bulloni e cordoni di saldatura, e sono caricati con le corrette forze in ogni caso di carico, che corrisponde a una coppia ben precisa di combinazione di verifica e istanza del jnodo. Nel caso di solo scheletro si perdono le eventuali azioni trasmesse da una superficie di contrasto. Tre nodi risultano vincolati, ma si tratta di vincoli fittizi al solo scopo di eseguire l’analisi, in quando il modello è autoequilibrato.

Torniamo al modello completo. Qui non sono presenti i contorni dell'oggetto, ma la mesh completa fatta di elementi plate-shell con il passo specificato in CSE, e con materiale e spessore assegnati.

Vediamo che oltre alle forze in corrispondenza di bulloni e cordoni sono presenti tante forze piccole che simulano la pressione della superficie di contrasto. Visualizziamo le forze senza scalatura in proporzione al modulo.

Se in CSE è stata richiesta l'analisi automatica del modello, è ora disponibile il post processing classico di un'analisi statica: possiamo quindi visualizzare deformate e sforzi, nelle varie combinazioni, interrogare spostamenti nodali, ecc.

Nel modello creato da CSE vengono aggiunte automaticamente delle combinazioni in numero pari ai casi di carico, in base a una matrice unitaria. In questo modo, nell'analisi dei risultati l'involuppo sulle combinazioni coincide di fatto con l'involuppo sui casi di carico.

La massima tensione di Von Mises, sulla faccia visibile degli elementi e senza eliminazione degli scarti, calcolata al variare delle combinazioni è pari a  $124,8\text{N/mm}^2$ . Sulla faccia nascosta abbiamo un valore superiore, pari a  $129,6\text{N/mm}^2$ . Se dividiamo questo valore per la tensione di snervamento del materiale, uguale a  $355\text{N/mm}^2$ , abbiamo un coefficiente di sfruttamento pari a 0,365, che deve essere amplificato in caso di coefficiente  $\gamma_{M0}$  maggiore di 1. Poiché lo spessore della piastra è di 25mm non è richiesta alcuna riduzione della tensione di snervamento. Torniamo ora a CSE e vediamo che il coefficiente di sfruttamento calcolato in automatico è lo stesso.

Abbiamo appena visto il modello fem di una piastra; vediamo ora il modello fem di una membratura con costole di irrigidimento saldate.

Secondo impostazioni, gli irrigidimenti vengono riconosciuti da CSE e vengono aggiunti al modello FEM del componente che irrigidiscono. Vediamo in Sargon il modello agli elementi finiti creato.

Come per la piastra precedente, abbiamo tutti i casi di carico, con tutti le forze trasferite dai vari bulloni, cordoni e superfici di contrasto. In aggiunta, sono modellate le costole di

irrigidimento, connesse alla membratura per mezzo di opportuni elementi che modellano le saldature.

Vediamo alcune immagini del post processing. Abbiamo a sinistra la vista deformata in un caso di carico e, a destra, il corrispondente stato di sforzo.

È possibile richiedere la creazione dei modelli fem di membrature e componenti. Per sapere quali forme sezionali sono gestite dalla versione in uso si consultino le note di rilascio.

Va tenuto presente che solo per i modelli fem dei tramite le azioni applicate sono autoequilibrate, mentre per quelli delle membrature non lo sono, in quanto le forze che una membratura trasferisce agli altri componenti del renodo sono pari alle azioni interne di un solo estremo della membratura stessa, quello affluente al renodo in esame.

## 708 COMANDI: VERIFICHE – Deformata

Dopo l'esecuzione delle verifiche è possibile visualizzare la deformata del collegamento nelle varie combinazioni di verifica e istanze del jnodo.

Il comando “Deformata” si trova nel menu verifiche ed è anche presente un bottone nella barra laterale. È disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo.

Lo studio delle viste deformate è molto utile per capire il comportamento del collegamento sotto le varie azioni e può permettere di individuare problemi progettuali di cui non ci si è accorti in precedenza.

Alla fine del tabulato dei risultati sono riportati i massimi spostamenti e le condizioni in cui si verificano; inoltre al termine delle verifiche CSE informa dell'eventuale superamento della massima rotazione e della massima traslazione impostate; le viste deformate completano il controllo sugli spostamenti.

Si noti che ciascun componente è colorato in base al suo coefficiente di sfruttamento nella combinazione e istanza correnti.

Se si vuole una vista monocromatica, è sufficiente selezionare tutti i componenti.

È possibile modificare il fattore amplificativo degli spostamenti attraverso il comando “scala deformata” nel menu renodo e nella barra laterale.

Scorrendo tra le varie combinazioni e istanze, la vista deformata viene aggiornata in tempo reale.

## 709 COMANDI: VERIFICHE – Combinazioni e istanze

Nella fase di analisi dei risultati, dopo aver eseguito la verifica di un renodo, si utilizzano i comandi per lo scorrimento tra le varie combinazioni e tra le varie istanze per conoscere i risultati sui vari componenti nelle varie condizioni.

Il funzionamento pratico dei comandi relativi alle combinazioni e di quelli relativi alle istanze è lo stesso. I comandi si trovano nel menu verifiche e sono disponibili dei bottoni nella barra dei comandi.

È possibile passare alla combinazione successiva o precedente a quella corrente, oppure accedere alla lista di tutte le combinazioni presenti e cliccare direttamente su quella desiderata. Sotto la vista grafica è riportata la combinazione corrente.

Lo stesso vale per le istanze, qualora il renodo si presenti più volte nella struttura.

Se visualizziamo ad esempio la deformata del collegamento e scorriamo tra le varie combinazioni con i comandi combinazione “precedente” e “successiva”, la vista cambia in tempo reale mostrando via via la deformata nella combinazione corrente.

Se utilizziamo il comando “combinazione” si apre un dialogo in cui si seleziona la combinazione desiderata e, premendo OK, questa verrà impostata come corrente.

Analoghi comandi sono disponibili per le istanze: è possibile quindi passare alla precedente o alla successiva o accedere al dialogo per scegliere direttamente l’istanza desiderata.

In questo caso ci sono due sole istanze, ma possono esserci modelli con numerose istanze dello stesso renodo.

Abbiamo visto ora i comandi durante la visualizzazione della deformata, ma è possibile utilizzarli anche per visualizzare i coefficienti di sfruttamento nella combinazione e istanza desiderate, oppure visualizzare le forze scambiate tra i vari componenti, oppure visualizzare i risultati sul contrasto o sulle sezioni nette delle membrature. Tutti questi risultati sono sempre dati nella combinazione e nell’istanza correnti.

Il numero delle istanze è fisso e dipende da quante volte il collegamento si presenta nel modello.

Il numero delle combinazioni dipende invece dalle azioni interne utilizzate per il calcolo del collegamento.

Se nelle impostazioni di verifica si è scelto di utilizzare le azioni interne derivanti dal modello fem importato da Sargon o da Sap2000, le combinazioni di verifica saranno quelle del modello di partenza. Questa modalità di calcolo è utilizzabile solo in caso di importazione di un modello fem.

Se invece si sceglie di analizzare il collegamento utilizzando i limiti plastici o elastici, il numero di combinazioni sarà uguale al numero delle membrature presenti nel renodo, moltiplicato per 24.

Con questa modalità di calcolo vengono infatti create 24 combinazioni per ogni membratura, a partire dal master, ognuna delle quali contiene un'azione elementare o una opportuna combinazione tra azioni elementari in modo da portare al limite elastico o plastico eventualmente fattorizzato. Per la descrizione dettagliata delle combinazioni ai limiti plastici o elastici si rimanda alla guida del programma o all'help in linea.

I comandi descritti in questo filmato servono principalmente per l'analisi dei risultati nella vista renodo.

I comandi relativi alle combinazioni sono però utilizzabili anche nella vista fem, qualora il modello sia stato importato, per interrogare le azioni interne in travi e bielle al variare delle combinazioni di verifica. Nella vista fem, quindi, le combinazioni sono sempre quelle definite nel modello di partenza. I comandi di interrogazione sono descritti nel filmato 505.

## 710 COMANDI: VERIFICHE – Apri listato

Il comando “Apri listato” si trova nel menu “verifiche” ed è presente anche un bottone nella barra laterale. È disponibile quando è attiva la vista grafica in modalità renodo, e la sua esecuzione comporta l’apertura del listato quando il renodo corrente è già stato verificato.

→ Il nome del listato con i risultati delle verifiche è composto dalle seguenti parti: il nome del modello, la marca del renodo a cui si riferisce, la sigla della normativa usata.

L’estensione del file è *.out* e si tratta di un file di testo. Esso si trova nella stessa cartella del modello CSE. Il listato può essere richiesto in versione completa o ridotta. Vediamo la struttura della versione estesa.

All’inizio del file è presente una lista di tutti i termini e i simboli utilizzati, con le rispettive spiegazioni.

È riportato il nome del renodo (ogni renodo ha un file distinto).

L’iperconnettività è un dato matematico sulla complessità del problema allo studio, che fa uso di terminologia e concetti presenti nella teoria.

Sono riportate le unità di misura in cui sono espressi i valori riportati nel tabulato. Le unità sono quelle attive al momento dell’esecuzione delle verifiche.

Sono indicate le impostazioni sulla norma scelta, con i relativi parametri, e sulle opzioni di calcolo.

C’è una lista di tutti i componenti presenti nel renodo.

Vengono riportate tutte le possibili connessioni, chiamate catene (*chains* in inglese).

Seguono le proprietà generali e proprietà di calcolo dei layout di bulloni

Vengono fornite dettagliatamente le proprietà dei bulloni che costituiscono i vari layout (tutti i bulloni appartenenti allo stesso layout sono uguali).

Se ci sono bullonature con contrasto, sono riportati i parametri e le ipotesi di calcolo inerenti al contrasto.

È riportata la posizione di ogni bullone rispetto al centro del layout a cui appartiene. Inoltre sono forniti i moduli di resistenza di ciascun bullone.

Per ogni bullone sono riportate le distanze dai bordi di tutti gli oggetti forati.

Sono elencati i layout di saldature presenti nel renodo.

Sono quindi riportate le loro proprietà di calcolo... e le posizioni dei singoli cordoni.

Se l'utente ha definito delle variabili aggiuntive, queste sono riportate nel listato.

Se l'utente ha definito condizioni di verifica aggiuntive o prerequisiti, questi sono riportati nel listato.

Inizia la sezione in cui sono riportati i risultati delle verifiche automatiche calcolati da CSE.

Innanzitutto, se nelle impostazioni di verifica sono state richieste le verifiche utente e sono stati definiti dei prerequisiti, sono riportati i controlli su di essi, svolti da CSE preliminarmente prima di procedere con le verifiche automatiche.

Durante l'analisi, se vi è almeno un prerequisito non soddisfatto, il programma chiede se proseguire o meno l'esecuzione delle verifiche automatiche; nel caso in cui un prerequisito

non sia soddisfatto e l'utente scelga di terminare le verifiche, il listato si conclude qui, altrimenti vengono riportati i risultati delle successive verifiche automatiche.

Vengono riportati i risultati degli eventuali prerequisiti, in questo caso soddisfatti.

Vengono quindi riportate le forze agenti sui layout di bulloni ai differenti estremi, in tutte le combinazioni e le istanze. Le forze sono espresse nel riferimento globale, e derivano dal modello agli elementi finiti creato in background da CSE per il calcolo del collegamento. Queste forze non si riferiscono ai singoli bulloni, ma agli interi layout.

Vengono poi riportate le azioni interne complessive nei layout di bulloni, cioè le forze in corrispondenza delle sezioni di verifica in tutte le combinazioni e le istanze.

Si passa quindi alle azioni interne nei singoli bulloni, in tutte le combinazioni e le istanze, e i rispettivi coefficienti di sfruttamento secondo la norma scelta.

Per i layout di saldatura sono riportate le azioni interne nelle varie combinazioni e istanze, quindi sono riportati gli sforzi nei singoli cordoni e i relativi coefficienti di sfruttamento.

Per i componenti sono presenti diverse liste in funzione delle cause che provocano il massimo coefficiente di sfruttamento nelle varie combinazioni e istanze. Le liste includono le verifiche FEM automatiche e le verifiche utente, oltre a tutte le altre verifiche automatiche di CSE.



Ad esempio, se per una data piastra il massimo coefficiente di sfruttamento nella combinazione x e istanza y è il rifollamento, per quella condizione il componente sarà riportato nella lista dei “Tramite che hanno come massimo sfruttamento quello dovuto al rifollamento”; se il massimo coefficiente di sfruttamento della stessa piastra, nella combinazione j e istanza k, è dato dall'analisi automatica del modello fem creato da CSE, lo stesso componente sarà riportato nella lista dei “Tramite il cui massimo sfruttamento è dovuto alle verifiche fem” per quanto riguarda la condizione “combinazione j, istanza k”.

Sono riportati i risultati del controllo automatico sugli spostamenti, in funzione dei valori limite stabiliti dall'utente.

→ Infine, è presente un riepilogo dei massimi sfruttamenti calcolati sui vari componenti al variare di combinazioni, istanze e verifiche eseguite.

→ Nel caso si richieda il tabulato in forma ridotta, le informazioni riportate sono quelle essenziali: è riportata una lista sintetica dei componenti, senza i dettagli su bullonature e saldature; degli sfruttamenti è riportato solo l'involuppo con i valori massimi al variare di combinazioni e istanze.

## 711 COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati block tear

Il comando “Mostra risultati block tear” si trova nel menu “verifiche” ed è anche disponibile un bottone nella barra laterale.

Se tra le verifiche del renodo è stata inclusa quella per block tearing, questo comando fa accedere a un dialogo in cui vengono mostrati i risultati di tale verifica sul componente selezionato, nella combinazione e nell’istanza corrente, se il block tearing è la causa di massimo sfruttamento in quella condizione e se la vista grafica è attiva.

Nell’immagine del dialogo, che può essere copiata negli appunti o stampata, è mostrato il percorso di rottura più critico sul componente selezionato, in base alle forze calcolate nella combinazione e nell’istanza corrente. La faccia correntemente selezionata in verde non appartiene necessariamente al componente; basta scorrere con le frecce sottostanti per selezionare la faccia scelta. Il percorso di rottura termina sui bordi del componente di cui si stanno visualizzando i risultati, a prescindere dalla faccia selezionata nel dialogo.

In questo caso il percorso calcolato dà luogo a una rottura del componente come mostrato in sovrapposizione. Tale percorso, che interessa solo due dei tre bulloni del layout, è quello che risulta più critico pur soggetto a una risultante parziale. Nel documento di validazione di CSE è studiato dettagliatamente proprio questo caso e viene dimostrato che quello calcolato dal programma è effettivamente il percorso più critico.

A sinistra sono riportati, sotto alle informazioni di base, i seguenti risultati:

- resistenza ultima del percorso di rottura più critico;
- forza applicata, che può coincidere con la risultante dell’intero layout o di un sottoinsieme di bulloni;
- angolo di inclinazione della risultante applicata, con la convenzione mostrata in sovrapposizione;
- coefficiente di sfruttamento dato dal rapporto tra la forza applicata e la resistenza ultima del percorso più critico.



Per una descrizione dettagliata del metodo di calcolo dei percorsi di rottura e delle problematiche affrontate si rimanda alla guida del programma.

## 730 COMANDI: PRENODO – Nuovo, Salva

Prima di cimentarsi con la costruzione di un renodo in forma parametrica, è opportuno acquisire una buona dimestichezza con la costruzione normale.

La differenza principale della costruzione di un renodo in forma parametrica è la definizione delle quote degli oggetti o di altri dati: anziché introdurre unicamente dei numeri, si possono introdurre anche delle **formule**, espresse in funzione delle variabili del renodo.

Il comando “**Nuovo**” nel menu Prenodo serve a iniziare la registrazione di un renodo parametrico, ed è attivo se il renodo corrente è vuoto, cioè se non sono stati aggiunti componenti, variabili o condizioni, né sono state modificate membrature. Con questo comando è possibile creare tipologie standardizzate di nodi (p-renodi) da salvare in archivio e richiamare all’occorrenza.

All’esecuzione del comando viene presentato un dialogo in cui vanno definiti il nome del nuovo p-renodo, il prefisso delle immagini associate, una descrizione e una spiegazione opzionali. Attraverso l’apposito bottone, vanno inoltre definiti la classe e il tipo dei bulloni che verranno utilizzati.

Introdotti i dati, alla pressione di OK sarà possibile costruire il renodo in forma parametrica.

Durante la registrazione è disponibile il bottone per il salvataggio del p-renodo *[callout]*

Iniziamo a costruire il renodo in esame, un giunto a terra, aggiungendo una piastra di base.

Durante la registrazione, è possibile definire le dimensioni della piastra attraverso **formule**.

Definiamo la larghezza della piastra come il doppio della larghezza della membratura  $m1$ , e analogamente la sua altezza. Definiamo lo spessore della piastra pari allo spessore della flangia di  $m1$ .

I dati introdotti sono puramente esemplificativi e hanno come obiettivo la chiarezza e la semplicità, non la progettazione o l'ottimizzazione del collegamento. Aggiorniamo l'immagine in base alle quote introdotte. Inseriamo la piastra nella scena.

Ora non costruiremo tutto il collegamento, poiché non è l'obiettivo di questa lezione; salveremo un collegamento che contiene solo l'aggiunta di una piastra. Prima, però, salviamo un'immagine da associare al nodo appena costruito.

Con il comando **Salva**, il p-renodo corrente viene salvato nell'archivio e si esce dalla modalità parametrica.

Il prenodo appena salvato è ora disponibile in archivio.

Proviamo ora ad applicare il p-renodo a un renodo diverso. Apriamo un modello nuovo e definiamo velocemente un giunto a terra con una sezione simile ma di diverse dimensioni, ad esempio un'HEB200.

Applichiamo il prenodo salvato precedentemente. Come si vede, le dimensioni della piastra sono cambiate in funzione della membratura corrente.

In questo prenodo è stata memorizzata solo l'aggiunta di una piastra, ma è possibile registrare p-renodi complessi senza limitazioni sul numero dei pezzi da aggiungere o delle operazioni da compiere.

È anche possibile riprendere la registrazione di un prenodo attraverso il comando **Restart**, descritto in un'apposita lezione.

## 731 COMANDI: PRENODO – Restart

Il comando **Restart** consente di registrare nuove operazioni aggiungendole a un p-renodo già presente in archivio.

Per poter utilizzare questa funzionalità si deve lavorare su un renodo vuoto e compatibile con il p-renodo che si vuole modificare. Per vuoto si intende un renodo con le sole membrature, senza alcuna modifica o aggiunta di componenti. Compatibile significa che deve avere la stessa topologia e gli stessi tipi di forme sezionali del p-renodo da modificare.

Una volta eseguito il comando, viene proposto l'archivio da cui scegliere il p-renodo a cui si vogliono aggiungere ulteriori operazioni. Se nessun p-renodo è compatibile con il renodo corrente appare un opportuno messaggio di avvertimento.

Se c'è almeno un p-renodo compatibile, come in questo caso, si seleziona il p-renodo desiderato e lo si applica, come in una normale assegnazione di un renodo parametrico.

Se lo si desidera, si possono modificare interattivamente alcuni parametri, oppure si applica il p-renodo così com'è.

A questo punto il p-renodo è stato applicato e ci si ritrova in modalità di registrazione. Le dimensioni dei componenti, le entità degli spostamenti, ecc. vanno definite in forma parametrica. Le operazioni compiute verranno memorizzate e aggiunte al p-renodo di partenza, che alla fine conterrà tutte le operazioni registrate precedentemente più quelle attuali.

Come durante la normale registrazione, è possibile aggiungere immagini, mettere in pausa e riprendere la registrazione stessa, salvare il p-renodo con le aggiunte o abortire la registrazione senza salvare le aggiunte.

## 733 COMANDI: PRENODO – Aggiungi immagine

Durante la registrazione di un renodo parametrico, con il comando **Aggiungi immagine** del menu P-renodo è possibile salvare la vista corrente in formato jpg e associare una o più immagini al p-renodo attuale. L'immagine deve essere salvata nella cartella di installazione di CSE, che è quella proposta di default. Il nome con cui salvare l'immagine proposto di default è costituito dal prefisso scelto all'inizio della registrazione e da un numero progressivo aggiunto automaticamente.

Il comando va generalmente utilizzato dopo che il p-renodo è stato completato, in modo da associargli immagini significative ed esaurienti. Possono essere aggiunte anche immagini di viste in estrazione, di zoom su dettagli e tutto ciò che possa essere utile alla comprensione del p-renodo.

E' inoltre possibile aggiungere nuove immagini a un p-renodo già salvato anche attraverso la gestione dell'archivio.

## 735 COMANDI: PRENODO – Pausa, Continua, Abortisci

Durante la registrazione di un renodo parametrico, con il comando **Pausa** si interrompe momentaneamente la registrazione delle operazioni e si esce dalla modalità parametrica, tornando a quella standard. Ciò che viene fatto durante la pausa non viene memorizzato nel p-renodo. Per riprendere la registrazione si usa il comando **Continua**, che riporta nella modalità parametrica.

Durante una pausa è possibile eseguire operazioni che non si vogliono registrare, come prove di lavorazione, modifiche o altro. Tali operazioni non devono però interferire con ciò che verrà fatto al termine della pausa. Un esempio chiarirà meglio quanto appena detto: se durante la pausa viene aggiunto un nuovo componente, ad esempio la piastra P1, e alla ripresa della registrazione si aggiunge una saldatura su quella piastra, risulta evidente che l'applicazione di quel p-renodo comporterà un'incongruenza, poiché è stata memorizzata l'aggiunta di una saldatura su un componente inesistente, in quanto tale componente è stato definito durante una pausa e quindi non memorizzato.

Con il comando **Abortisci** è possibile terminare la registrazione di un p-renodo senza salvarlo. I pezzi aggiunti, le lavorazioni e le modifiche effettuate rimarranno sul renodo corrente, ma la loro registrazione andrà persa. Contestualmente, dalla modalità parametrica si ritorna a quella standard.

## 739 COMANDI: PRENODO - Archivio

Il comando **Archivio**, nel menu prenodo, consente di gestire l'archivio dei renodi parametrici, o P-Renodi, attraverso un opportuno dialogo, che si apre all'esecuzione del comando stesso.

Nel riquadro a sinistra sono riportati tutti i p-renodi presenti nell'archivio. Del renodo selezionato in blu è mostrata la prima immagine a esso associata. Se vi sono più immagini associate, queste si possono scorrere con le apposite frecce. Il bottone *Modifica/Guarda* apre con Paint l'immagine corrente, in modo da poterla vedere nelle sue dimensioni reali ed eventualmente modificarla.

Il bottone *Rimuovi* consente di eliminare l'associazione tra l'immagine corrente e il p-renodo a cui si riferisce. Viene chiesto se rimuovere solo il collegamento con il p-renodo o se cancellare anche l'immagine dal disco.

Il bottone *Aggiungi* consente di associare una nuova immagine al p-renodo corrente, specificando l'indirizzo del file.

Veniamo ora ai bottoni della sezione "Operazioni sul p-renodo selezionato". Tutte le operazioni vengono salvate alla pressione del bottone *OK*, mentre non vengono memorizzate se si preme *Cancel*.

*Rimuovi* comporta l'eliminazione del p-renodo correntemente selezionato, previa conferma da parte dell'utente. *Duplica* crea alla fine della lista una copia del p-renodo selezionato, che potrà poi essere modificata con il comando *Restart* del menu p-renodo oppure attraverso la gestione alfanumerica. *Modifica o mostra i dati di partenza* ripropone il dialogo utilizzato per iniziare a registrare un nuovo p-renodo e che fissa alcune impostazioni preliminari. Qui possono essere cambiati: il nome del p-renodo corrente; il prefisso associato alle sue immagini; la descrizione; la spiegazione; la classe dei bulloni. *Modifica prenodo via testo* consente di modificare il p-renodo corrente per via alfanumerica. In pratica, si modifica un file di testo (ASCII).

E' possibile, ad esempio, cambiare le dimensioni di un componente modificando il testo. Per salvare le modifiche si deve premere *OK* in questo dialogo e poi anche in quello principale.

Vediamo infine i bottoni nella sezione “Operazioni sull’archivio”

*Aggiungi nuovi prenodì da file* chiede all’utente l’indirizzo di un file di testo contenente nuovi p-renodì; *Salva prenodì in un file txt* consente la creazione di un file di testo contenente tutti i p-renodì presenti in archivio. Questi due comandi, insieme alla modifica dei file txt che vengono creati, consentono quindi di gestire e personalizzare l’archivio, ad esempio organizzando i p-renodì in sottoarchivi differenti.

*Salva i prenodì in un file (bin)* consente appunto di salvare l’archivio corrente in un file binario, ad esempio per salvare una copia di backup.

*Elimina tutti i prenodì dall’archivio* consente di svuotare l’archivio corrente. Questa operazione, così come l’aggiunta di p-renodì da file, viene salvata alla pressione di *OK*.



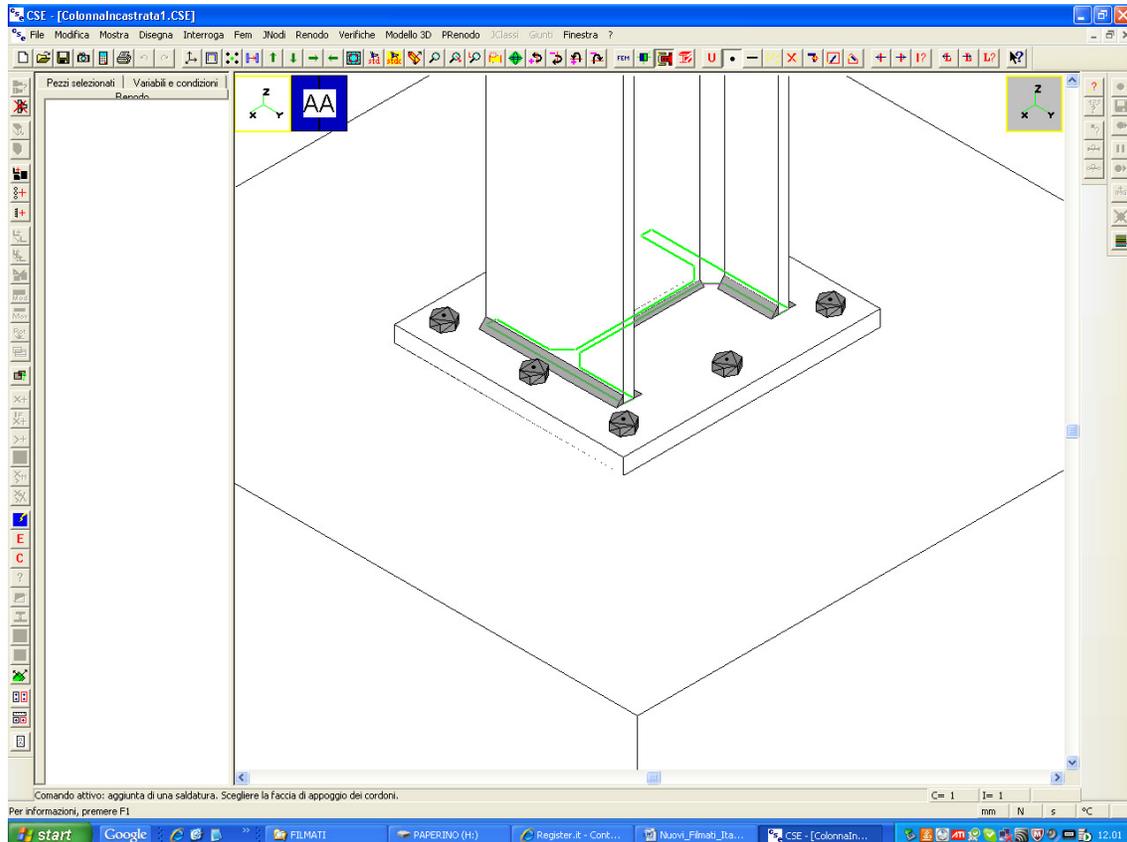
## 801 PROBLEMATICHE: Contrasto – Superficie di contrasto

In questa lezione si vuole discutere come definire la superficie di **contrasto** la cui descrizione è stata fatta nella lezione 205. Si rimanda a questa lezione per la definizione di cosa sia un contrasto e a quale funzione assolve.

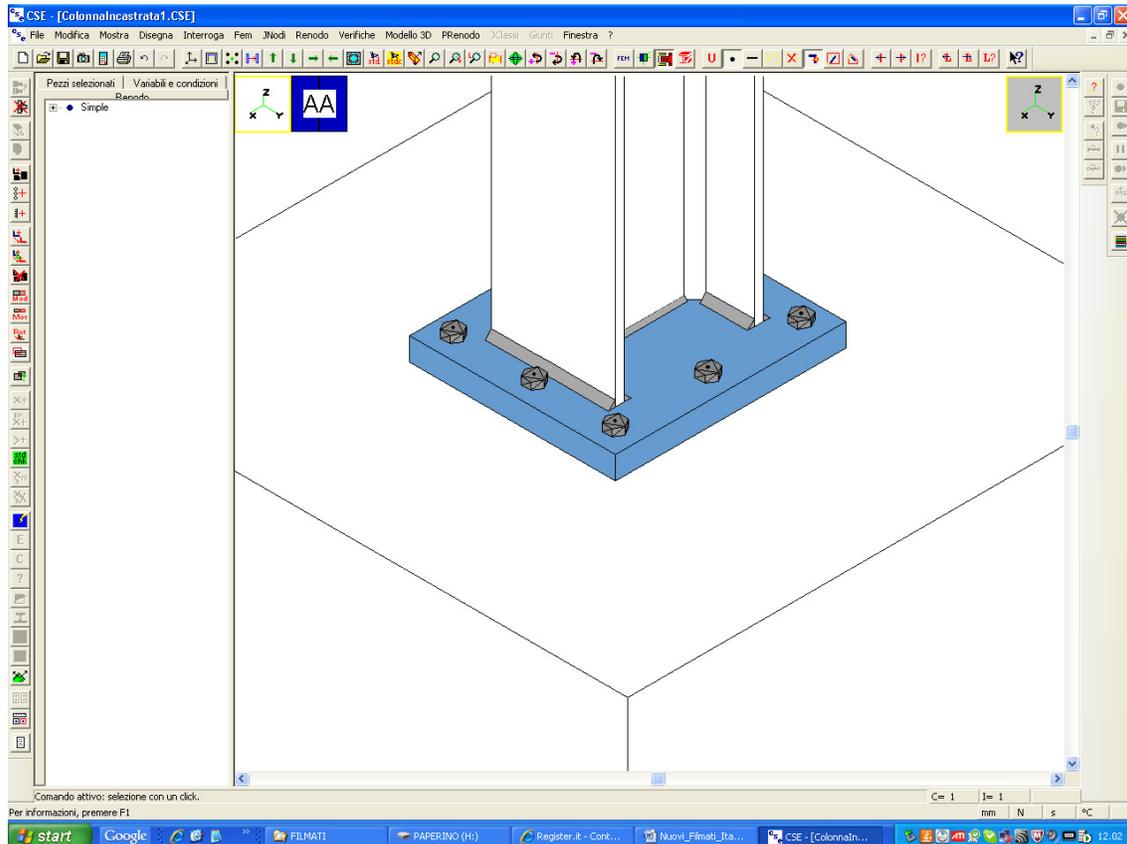
Un contrasto esercita la sua azione mediante lo scambio di **tensioni normali di compressione tra due o più superfici.**

Perchè queste tensioni possano essere scambiate in modo efficiente è **indispensabile** che la rigidezza del contrasto sia sufficiente.

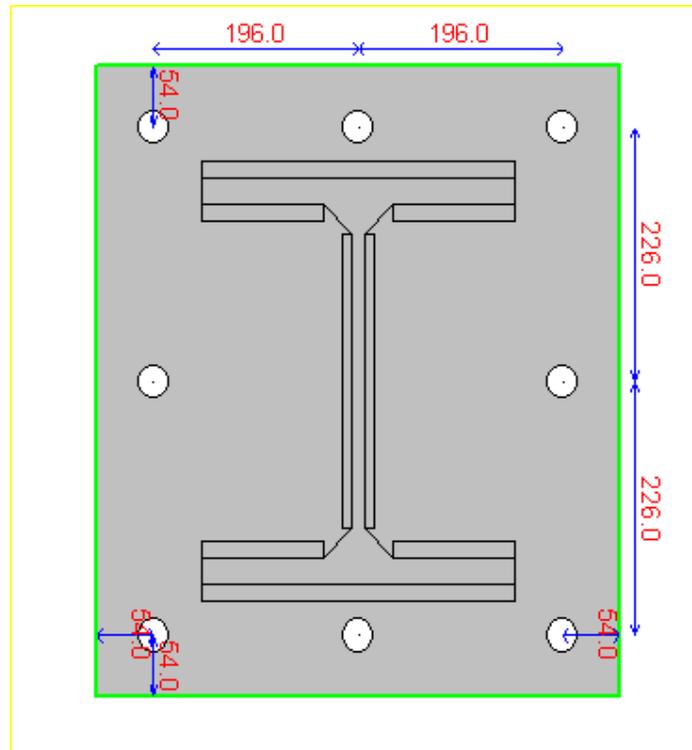
La superficie di contatto tra una piastra e un'altra, o tra una piastra e un blocco vincolo può in generale esercitare tensioni di compressione, ma la rigidezza che offre **cambia** in generale da punto a punto (esattamente come cambia da punto a punto la deformata sotto una pressione costante di una piastra).



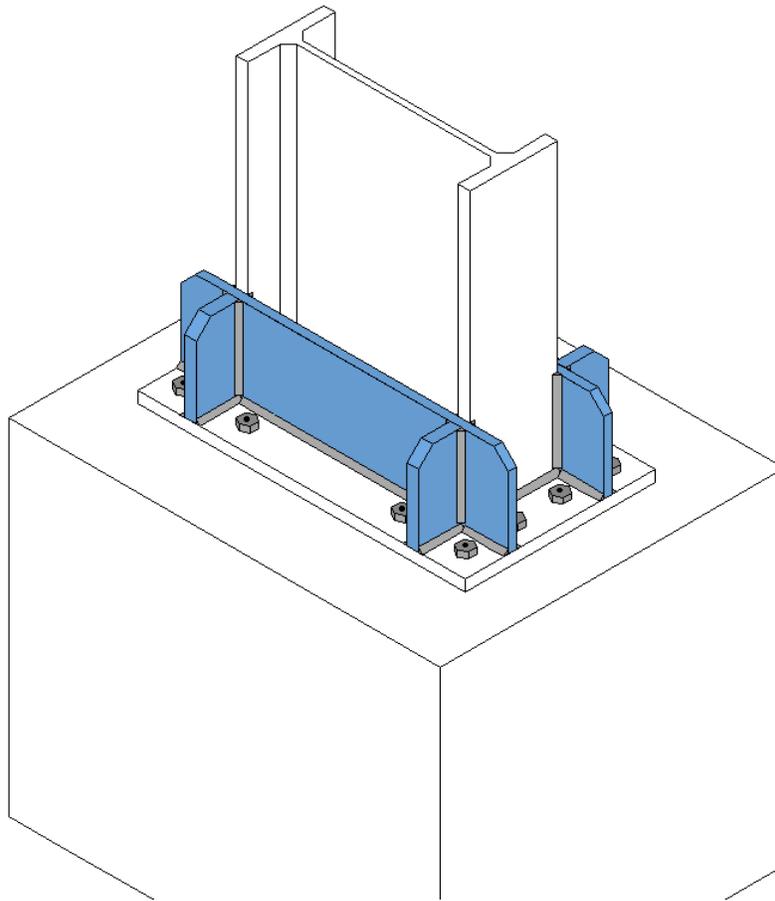
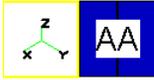
La flessione della bullonatura, che il contrasto contribuisce ad assorbire, viene normalmente esercitata per mezzo di una prima superficie, generalmente la sezione trasversale di una membratura, detta **impronta di carico**. Da questa prima superficie, grazie alla rigidità flessionale della piastra a cui la bullonatura si connette, la flessione viene poi trasferita al contrasto. Perché la piastra a cui la bullonatura si connette possa esercitare questa funzione di trasferimento delle tensioni normali necessarie, **essa deve possedere una sufficiente rigidità**.



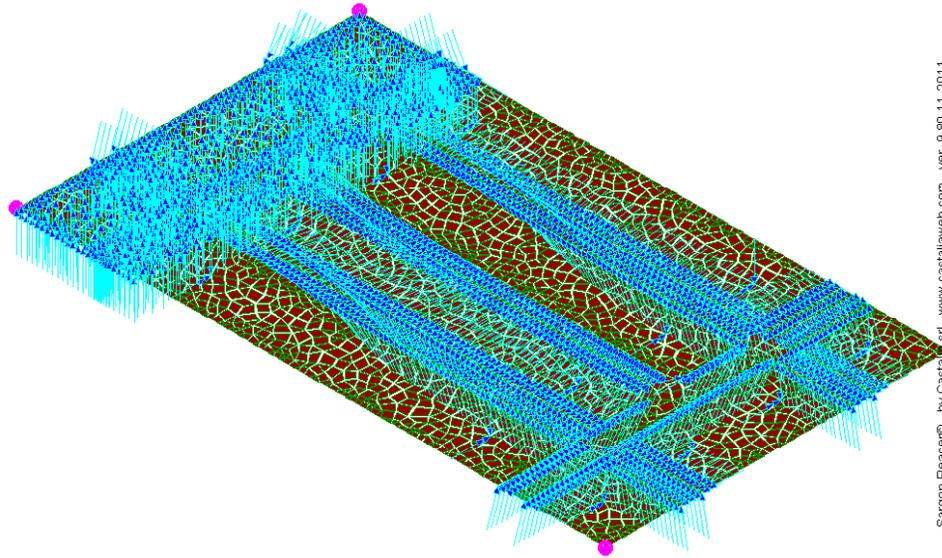
La rigidità della piastra **dipende dal suo spessore, e dalla geometria del collegamento**. Una piastra sufficientemente spessa può essere in grado di possedere la rigidità sufficiente in tutti i suoi punti.



In questo caso la superficie di contrasto potrà essere l'intera superficie della piastra alla quale la bullonatura si connette.

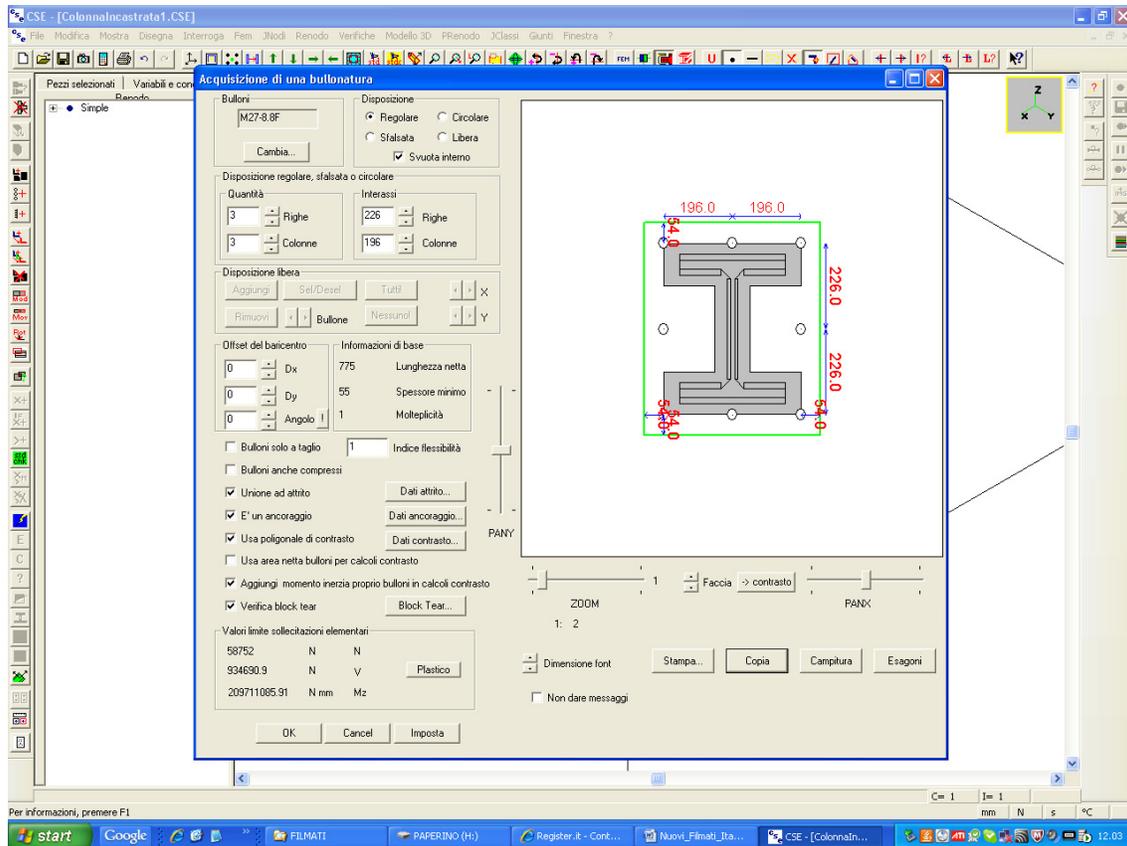


Una piastra sottile tenderà ad inflettersi facilmente, e solo una modesta zona nell'intorno della impronta di carico potrà assolvere al compito assegnatole. In questi casi è possibile che piatti di irrigidimento atti a collegare la piastra con la membratura da cui origina la flessione ne aumentino localmente la rigidità. Se tali piastre di irrigidimento sono in numero sufficiente, esse possono contribuire a rendere efficace ai fini del trasferimento delle tensioni normali la intera superficie della piastra, che, benché sottile, può integralmente assolvere al compito assegnatole.

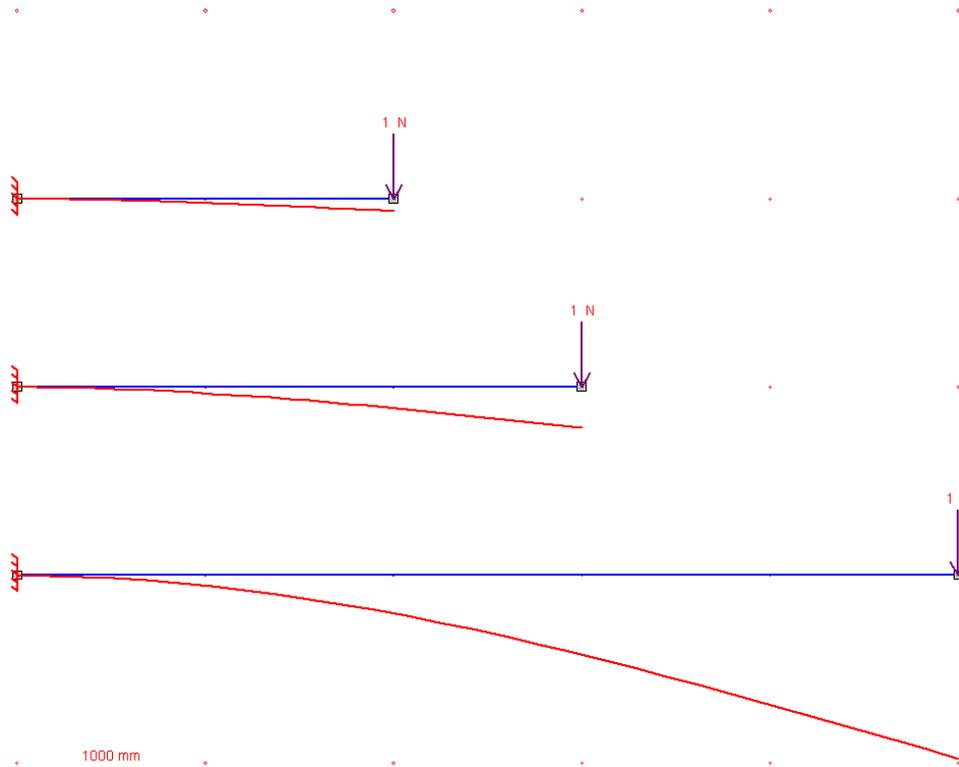


Sargon Reacore - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 9.80 11-2011

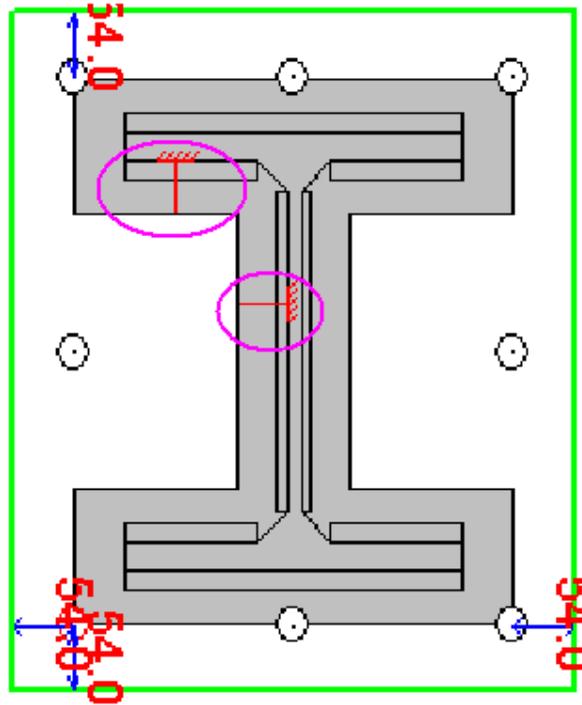
Le tensioni normali di compressione necessarie ad assorbire la flessione sono, per la piastra, pressioni normali al suo piano medio, e possono essere viste **come un carico applicato** ad essa. Nella figura si vedono le forze esercitate sulla piastra dalle saldature e la pressione esercitata dal contrasto.



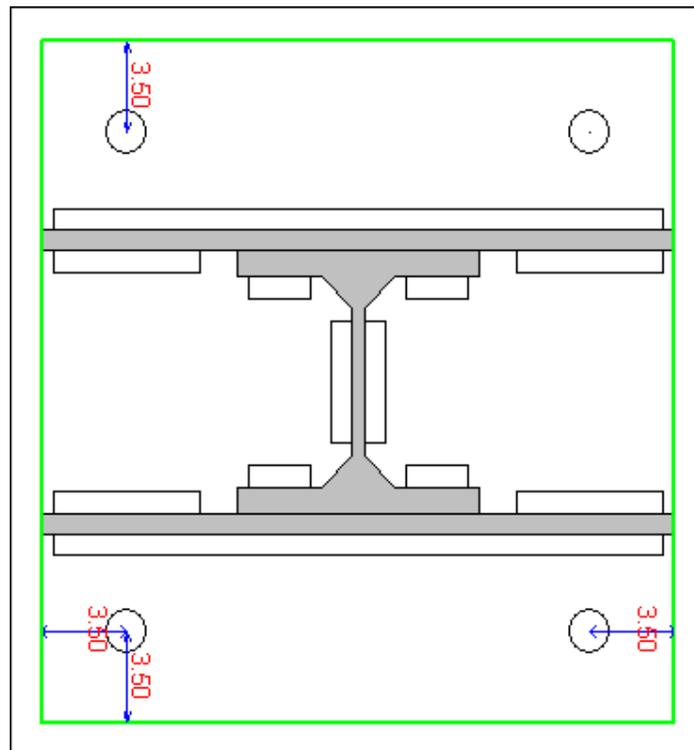
Un modello adottato dalle normative più recenti e molto utile per comprendere quale estensione della piastra possa agire da contrasto, prevede che la superficie della impronta di carico sia aumentata di un certo **spessore perimetrale**, funzione dello spessore della piastra stessa, e di altri parametri. Tale modello annette la rigidità sufficiente solo a una porzione della piastra, quella appunto ottenuta con questa costruzione geometrica.



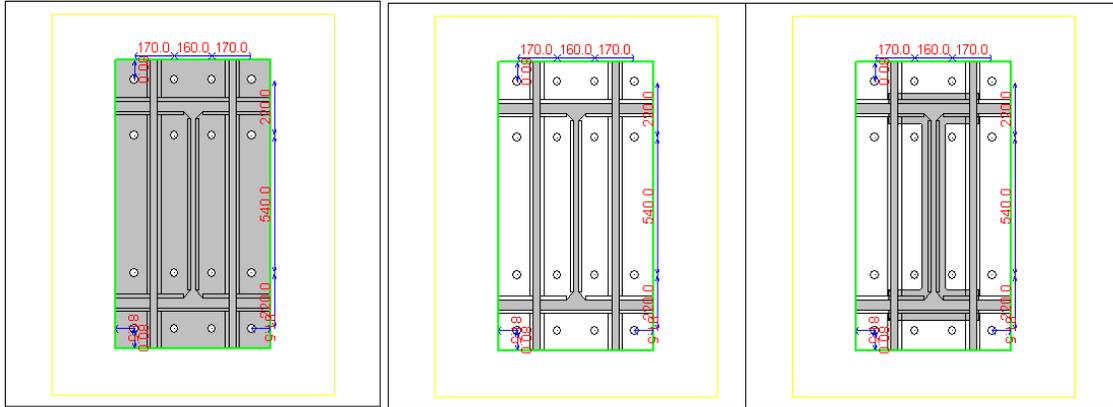
In una mensola la rigidezza dipende dall'inverso del cubo della luce della mensola stessa. **Più la mensola è corta, più è rigida.** Un analogo funzionamento è associato alla piastra a cui i bulloni si collegano.



La luce della mensola è assimilabile alla ampiezza del bordo da aggiungere alla superficie della impronta di carico. Tale luce **dipende direttamente dallo spessore della piastra.**



Quando sono presenti piatti di irrigidimento, la superficie della impronta di carico non è solo quella della sezione trasversale della membratura, **ma a questa vanno aggiunte le superfici di contatto dei piatti di irrigidimento**. Nella figura compaiono due lunghi piatti di irrigidimento che collegano la colonna alla piastra di base. I rettangoli adiacenti, di colore bianco, indicano le saldature.



La definizione della superficie di contrasto deve tener conto di queste considerazioni: **spetta al progettista determinare realisticamente la superficie di contrasto**. CSE mette a disposizione dell'utente un ampio insieme di strumenti per definire la superficie di contrasto. Essa può essere una delle facce complanari in contatto, eventualmente orlata della quantità necessaria, **o il risultato una qualsiasi serie di operazioni booleane applicate a superfici del medesimo tipo**.

- (4) The forces transferred through a T-stub should be assumed to spread uniformly as shown in Figure 6.4(a) and (b). The pressure on the resulting bearing area should not exceed the design bearing strength  $f_{jd}$  and the additional bearing width,  $c$ , should not exceed:

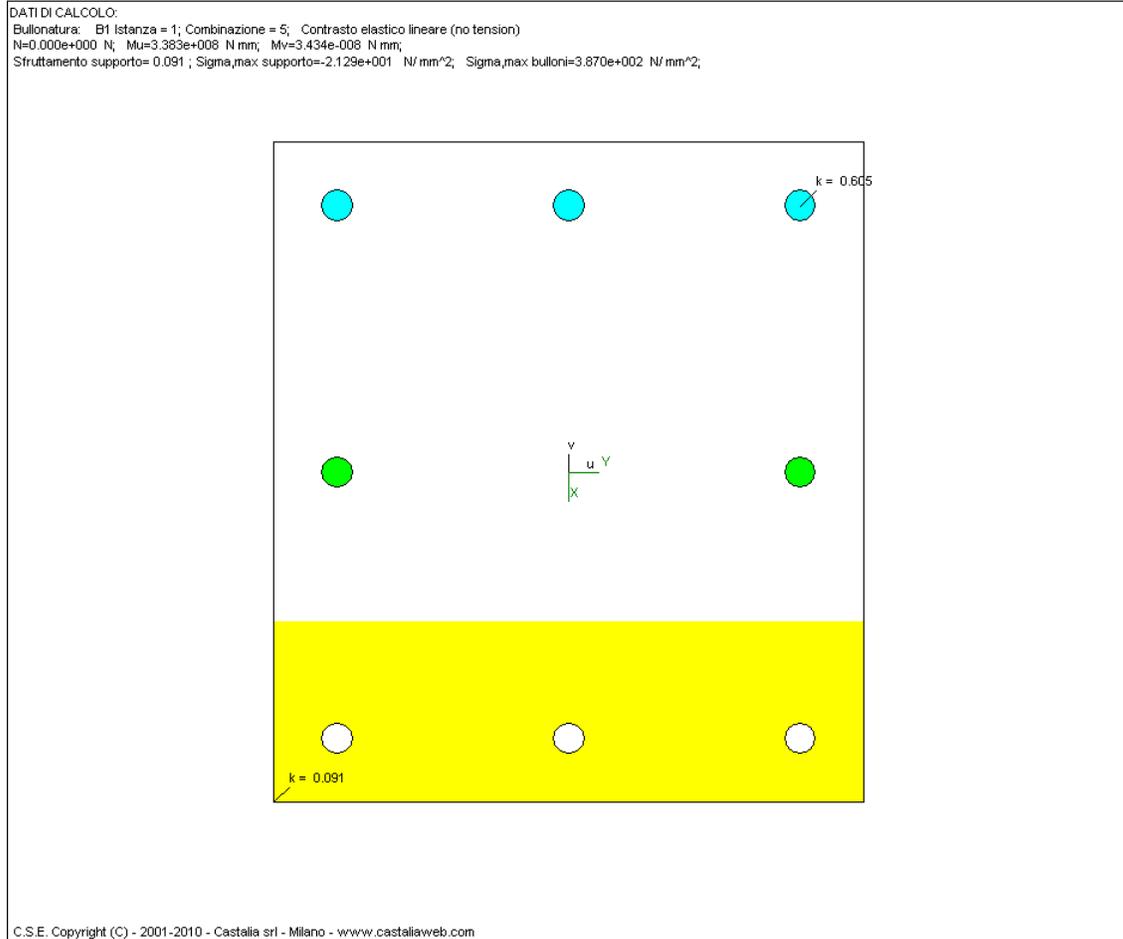
$$c = t [f_y / (3 f_{jd} \gamma_{M0})]^{0.5} \quad \dots (6.5)$$

where:

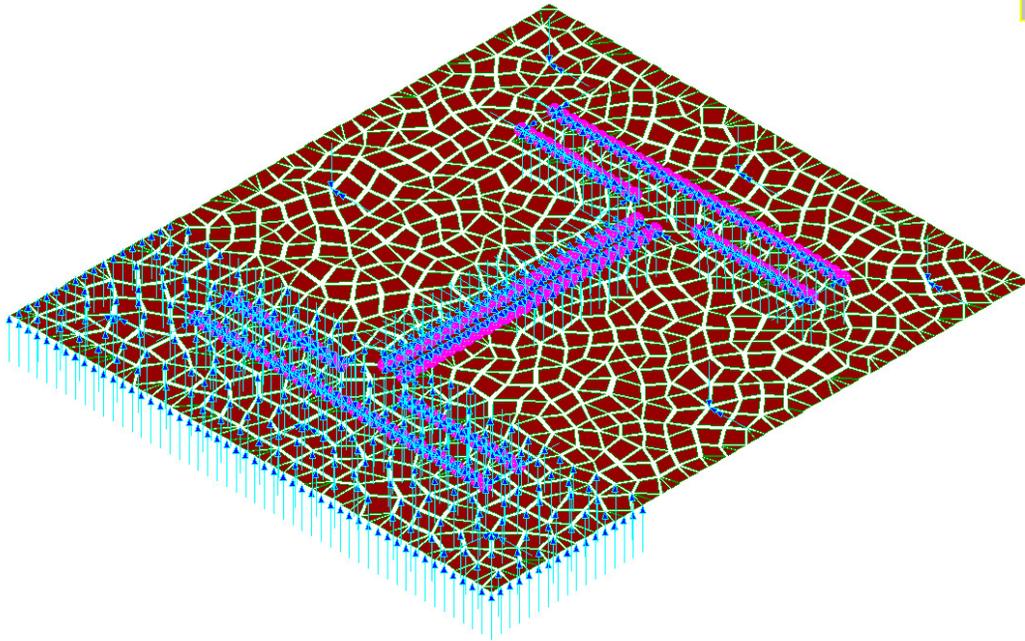
- $t$  is the thickness of the T-stub flange;  
 $f_y$  is the yield strength of the T-stub flange.

La determinazione della ampiezza del tratto da considerare, nell'intorno di una impronta di carico, è fatta da CSE mediante la formula dell'Eurocodice 3.

Chiediamoci ora cosa possa succedere se il progettista **sbaglia** a scegliere la superficie di contrasto, ad esempio ipotizziamo che la superficie di contatto di una piastra piuttosto sottile e priva di rinforzi venga considerata integralmente come superficie di contrasto.

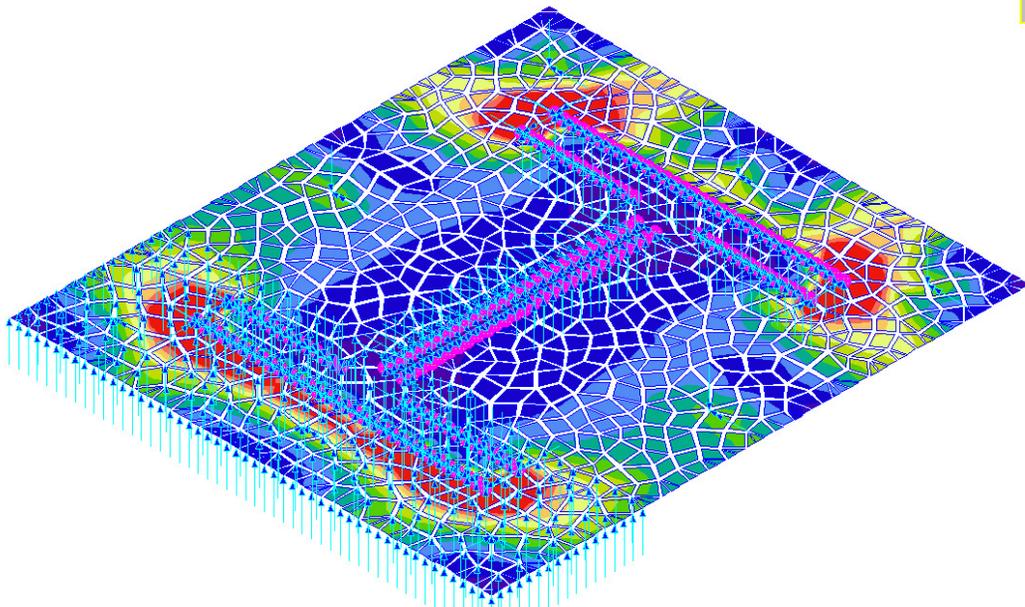


In questo caso l'intera superficie di contatto sarà chiamata a sostenere le tensioni di compressione. Il calcolo non lineare dirà quale particolare parte della intera superficie risulterà compressa, e quindi reagente, e quale altra parte, in quanto tesa, risulterà non reagente. In questo caso la zona di colore giallo è la parte reagente.



Sargon Readere - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 9.80 11-2011

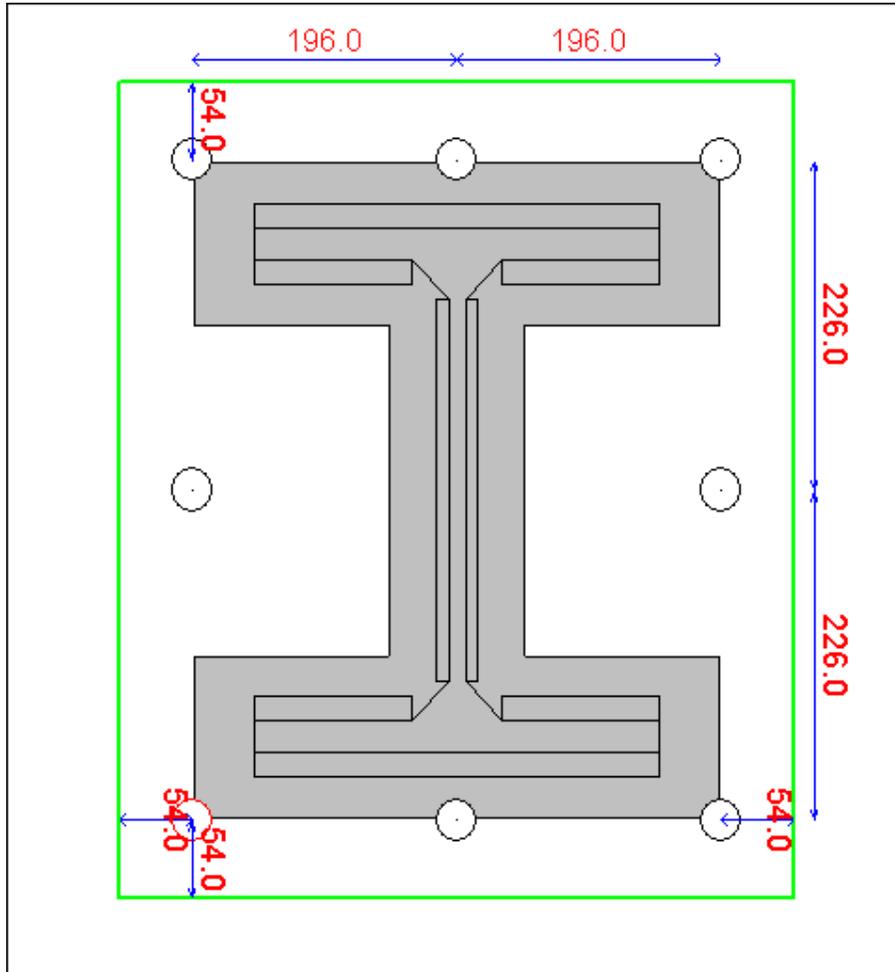
Nel momento in cui però sarà fatta la verifica di resistenza della piastra mediante modello FEM, **le tensioni di compressione esercitate dal contrasto diventeranno carichi di pressione normale sul modello della piastra stessa**, e questa risulterà inflessa. Si notino le forze (non scalate) corrispondenti alla pressione normale esercitata sulla piastra, a sua volta in relazione con la zona compressa (gialla) del contrasto nella immagine precedente.



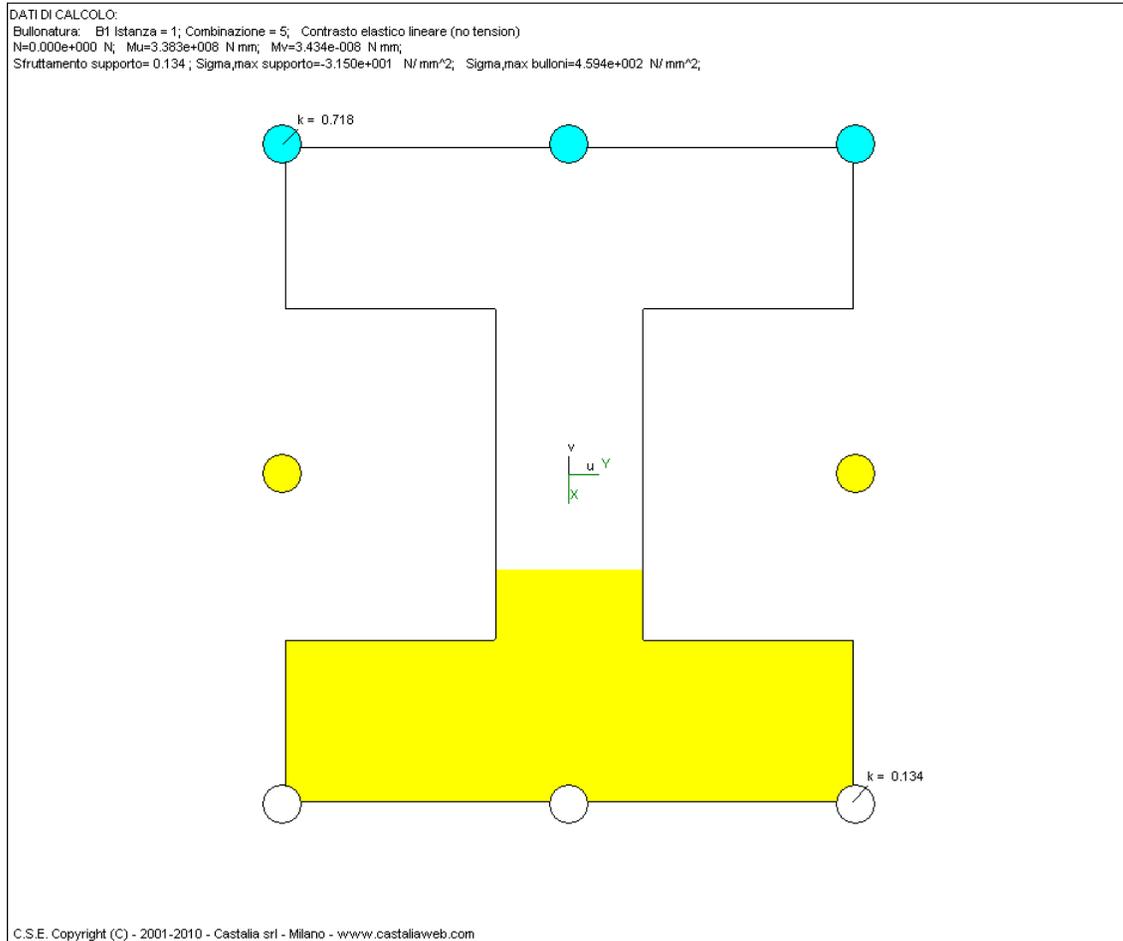
Sargon Readere - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 9.80 11-2011



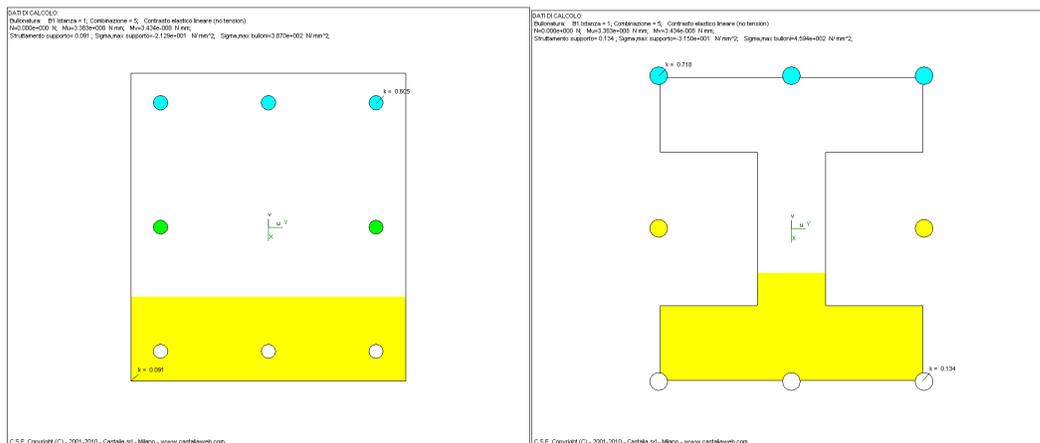
Si avrà un certo insieme di sforzi sul lato compresso della piastra (tensione di Von Mises), che dipenderanno dalle pressioni ipotizzate sul contrasto e, naturalmente, dallo spessore della piastra e dallo schema di calcolo. Se la piastra è troppo sottile si infletterà troppo e **non potrà portare il carico**. In questo esempio si sono considerate le saldature come incastri (i pallini color magenta).



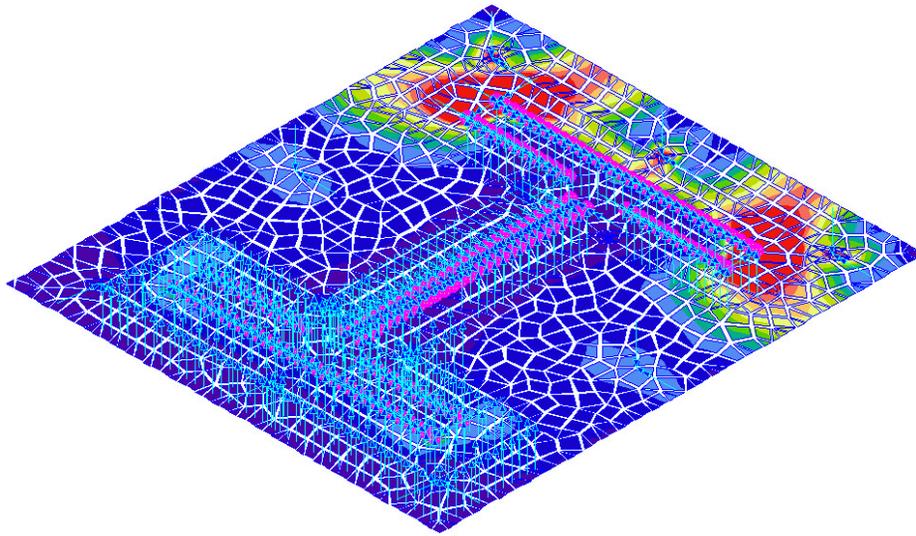
Vediamo ora cosa sarebbe successo se si fosse adottata come superficie di contrasto, una superficie minore, ottenuta orlando la impronta di carico come mostrato in figura.



Il calcolo non lineare avrebbe dato una zona compressa differente, generalmente più vicina alle saldature. In giallo la parte reagente che, come si vede, **non è un rettangolo ma ha la forma di una T.**



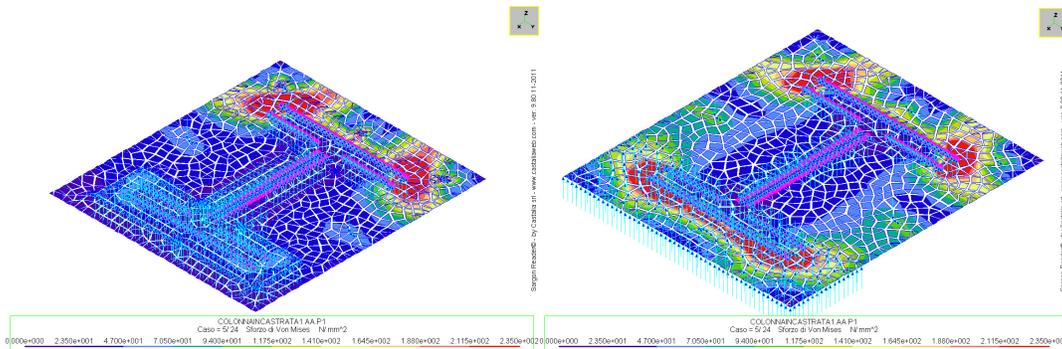
Qui si vede il confronto con la situazione precedente.



Sargon Readere - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 9.80.11-2011



La zona sulla piastra coinvolta dalla compressione è ora minore e gli sforzi di Von Mises nella zona compressa della piastra non superano ora il valore dello snervamento.



Dunque riassumendo possiamo dire così: scegliere una superficie di contrasto maggiore di quella realistica comporta uno stato di sforzo molto più severo sulla piastra, causato dalla presenza di zone di pressione normale molto più estese del dovuto.

Nella prossima lezione ci occuperemo della **legge costitutiva del contrasto**.

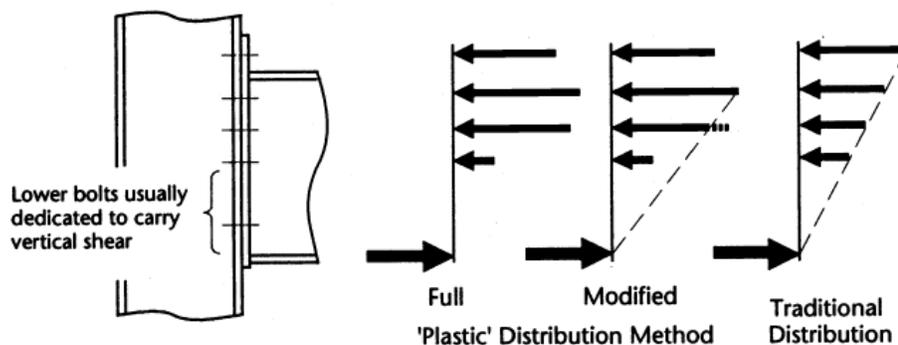
## 802 PROBLEMATICHE: Contrasto - legge costitutiva del contrasto

Oltre a definire la superficie di contrasto, occorre definire la sua legge costitutiva.

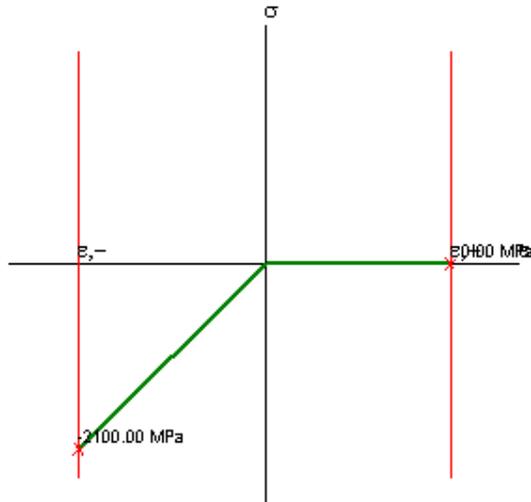
Il contrasto esercita, tramite la superficie di contrasto, una distribuzione di tensioni normali di compressione che, assieme alle trazioni nei bulloni, equilibra l'azione assiale e la flessione applicate alla bullonatura.

Queste tensioni di compressione seguono una legge costitutiva uniassiale che mette in relazione gli sforzi e le deformazioni. A seconda di come sia definita questa legge costitutiva, cambia la distribuzione delle compressioni e la loro intensità.

Data una superficie di contrasto ed un certo numero di bulloni, la tenso o presso flessione applicata viene equilibrata in modo diverso a seconda delle leggi costitutive uniassiali dei bulloni e del contrasto. Il calcolo è non lineare.



La legge costitutiva dei bulloni è di tipo elastico perfettamente plastico. Dunque se uno o più bulloni raggiungono la tensione di snervamento, il calcolo prevede una redistribuzione delle trazioni dai bulloni snervati a quelli non ancora snervati. Se tutti i bulloni sono snervati, il carico supera il suo possibile limite e la convergenza non è possibile. In questo caso la bullonatura non è in grado di sostenere le azioni applicate.

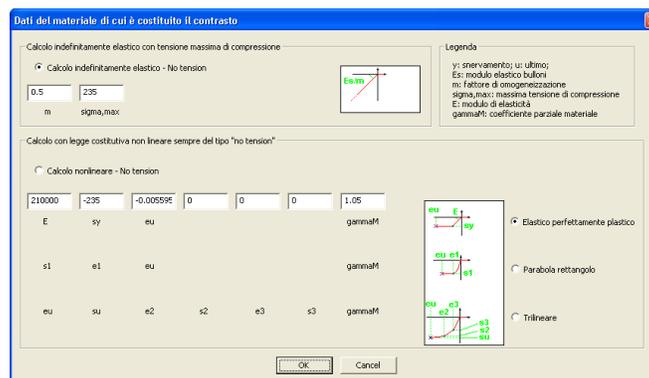


La legge costitutiva del contrasto è di tipo no tension, e quindi **è sempre non lineare**. Solo una parte della superficie di contrasto reagisce, un'altra parte no. La zona compressa può reagire, nel ramo di compressione, con una legge costitutiva di tipo lineare o non lineare.

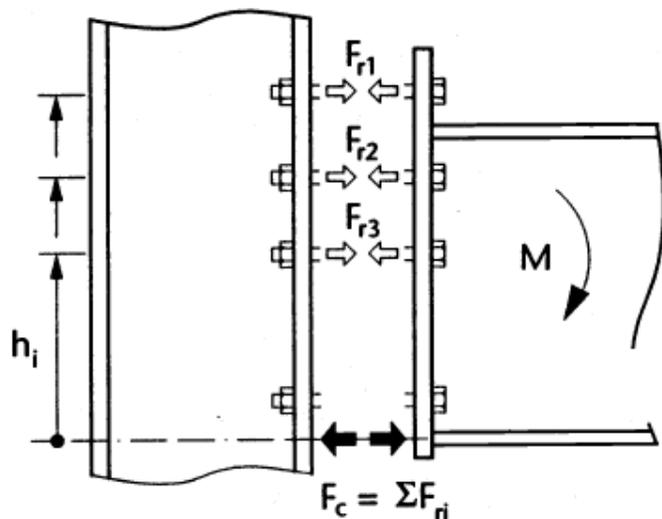
Se il ramo compresso è lineare, occorre fornire il fattore **m** che, moltiplicato per il modulo di elasticità  $E_c$ , del contrasto dà il modulo di elasticità dei bulloni. Se **m** è grande, il contrasto è **meno rigido** dei bulloni, se **m** è piccolo (minore o anche molto minore di 1), il contrasto è **più rigido** dei bulloni.

Al crescere di **m** aumenta la zona della superficie di contrasto coinvolta dalle tensioni di compressione, infatti, a parità di deformazioni, saranno minori le tensioni normali di compressione esercitate dal contrasto.

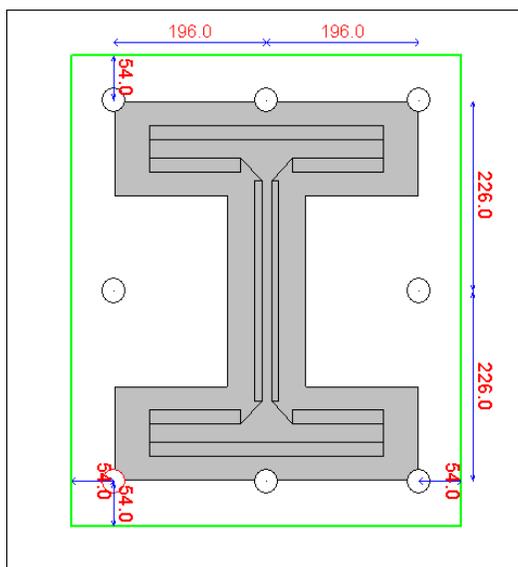
Viceversa, al diminuire di **m**, la zona del contrasto coinvolta dalle tensioni di compressione diminuisce, ma le tensioni esercitate aumentano.



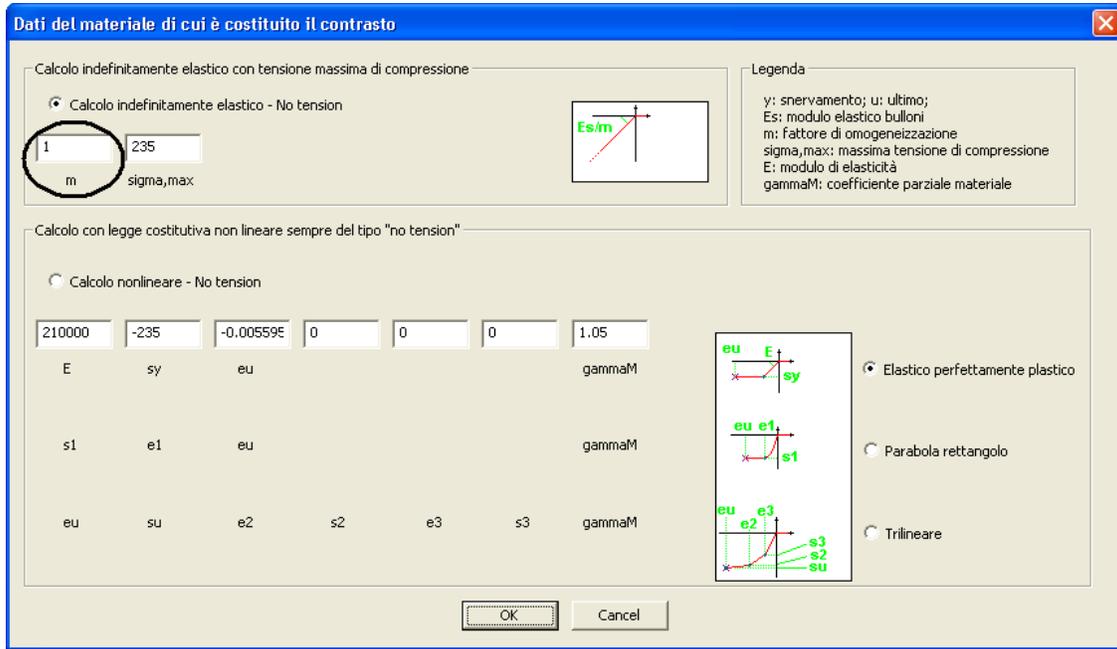
Oltre a definire leggi di tipo lineare per il contrasto, l'utente può specificare leggi di tipo elastico perfettamente plastico, leggi a parabola rettangolo o leggi di tipo tri-lineare.



Talvolta viene fatta l'ipotesi che una bullonatura ancorata ad una piastra in flessione eserciti su di questa una rotazione che avviene **attorno ad uno degli spigoli di estremità**. Si può simulare un tale comportamento mediante una legge costitutiva per il contrasto che veda questo molto più rigido dei bulloni (ad esempio ponendo  $m=0,01$  o  $0,001$  nel caso lineare).

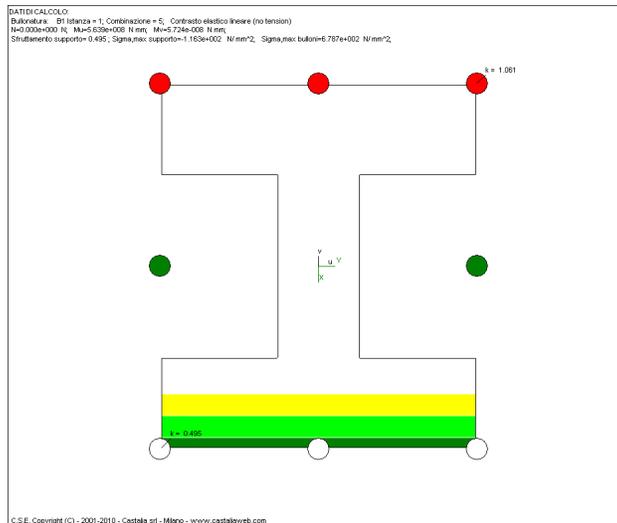


Per farci un'idea, supponiamo che la superficie di contrasto abbia la forma della figura indicata.

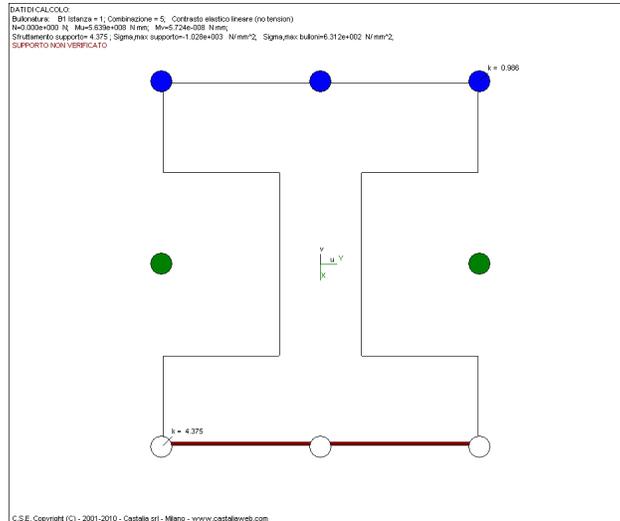


E poniamo  $m = 1$  inizialmente.

In una combinazione che preveda solo il momento flettente al limite elastico del profilo otteniamo la seguente distribuzione:

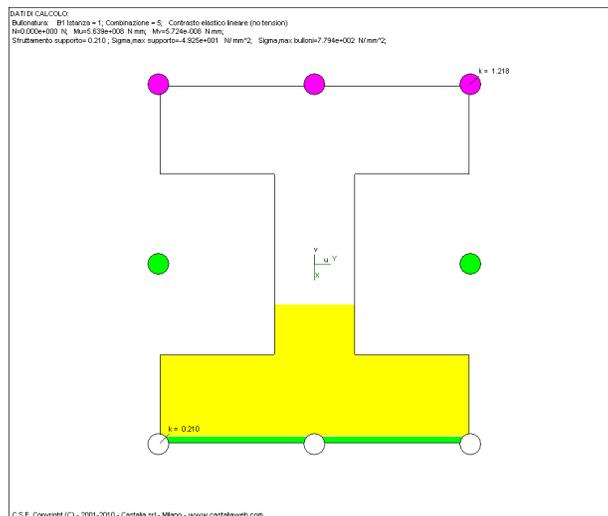


Se ora poniamo  $m = 0,01$  e rifacciamo il calcolo, con le stesse azioni e con la stessa superficie di contrasto, otteniamo questa distribuzione:



Ciò in pratica simula la rotazione attorno al lato inferiore della superficie di contrasto. La zona della superficie di contrasto coinvolta è molto, molto minore, ma il picco di tensione è quasi 10 volte maggiore (4,375 volte la tensione limite del contrasto contro 0,495 volte nel caso precedente).

Se ora poniamo  $m=10$ , immaginando che il modulo elastico del contrasto sia 10 volte minore del modulo elastico dei bulloni.



La distribuzione che si ottiene è quella in figura. La zona della superficie di contrasto coinvolta dalla compressione è aumentata, la tensione di picco diminuita (0,210) e il tasso di lavoro delle barre tese **molto accresciuto** (**perchè è diminuito il braccio della coppia interna di bulloni**).

## 805 PROBLEMATICHE: Bulloni solo a taglio

Nel progetto di collegamenti capita spesso di considerare bullonature agenti mediante un meccanismo resistente che idealmente esclude la presenza di trazioni o compressioni nel gambo dei bulloni stessi. Tali bullonature possono portare solo tagli e momenti torcenti (vale a dire, solo tagli eccentrici), per mezzo di un taglio nei gambi dei bulloni.

Tali bullonature sono dette **solo a taglio**, e sono attivabili mediante una opportuna casella di controllo, nel dialogo di aggiunta o modifica delle bullonature.

Le bullonature solo a taglio hanno una modestissima rigidezza flessionale nel modello di calcolo di CSE. Se esiste un momento flettente che sollecita tali bullonature, questo momento flettente, a meno che non sia ridottissimo, dà luogo a **elevati** spostamenti (anche se nei gambi dei bulloni si producono le azioni di trazione e compressione **comunque indispensabili** per l'equilibrio).

Quando ciò avviene la bullonatura **non può essere solo a taglio**, ma dovrà essere calcolata come capace di sostenere anche momenti flettenti (ovvero **non** dovrà essere solo a taglio).

Una bullonatura può essere solo a taglio solo in due modi, teoricamente: o **non** sono presenti momenti flettenti, o, se sono presenti, questi sono assorbiti da altre bullonature solo a taglio, o altri mezzi di unione, che **collaborano** per assorbirli.

Nella realtà, nessuna bullonatura è priva di momenti flettenti. Anche nei casi in cui la pratica tecnica suole trascurare i deboli momenti di trasporto dei tagli, causati dai pur modesti spessori dei piatti, nel modello di calcolo gestito da CSE tali momenti di trasporto **esistono** e danno luogo a (in generale modesti) momenti flettenti. Del resto la presenza di un taglio genera sempre, a una certa distanza, un momento flettente.

Se la bullonatura è **iso connessa**, ovvero **staticamente determinata** (si veda la lezione 810), e il collegamento prevede la completa assenza di momenti flettenti (come avviene in una cerniera), la bullonatura può essere solo a taglio.

Se la bullonatura è **iso connessa** e vi sono **modestissimi** momenti flettenti, dovuti al trasporto dei tagli di calcolo per distanze ridotte, si può agire in due modi.

O si lascia la bullonatura come **solo a taglio** e si trascurano i possibili alti spostamenti evidenziati dal programma.

O si trasforma la bullonatura in una bullonatura **non solo a taglio**, ma **senza specificare alcun contrasto**. In questo caso la flessione dovuta al trasporto (**parassita**) sarà assorbita da una **modesta** trazione e compressione nei gambi dei bulloni, che non inficerà il suo calcolo di verifica.

Se la bullonatura è iper connessa e vi sono più bullonature che cooperano al fine di portare tutte le azioni di calcolo, allora le bullonature possono essere solo a taglio, a patto che i momenti flettenti di calcolo siano assorbiti da due o più bullonature che, pur agendo solo a taglio, riescono a portare il momento flettente applicato mediante essenzialmente una **coppia di forze** (di taglio nella bullonatura).

Se queste bullonature che cooperano **non ci sono** o sono **mal disposte**, il programma calcolerà spostamenti rilevantissimi, che indurranno il progettista a rivedere il progetto del suo collegamento.

## 810 PROBLEMATICHE: Indice di flessibilità delle bullonature

Generalmente, nella maggior parte dei casi, una bullonatura assolve ad un ben preciso compito statico, e le sollecitazioni che fluiscono su di essa sono determinabili per mezzo di mere considerazioni di equilibrio. In questo caso la bullonatura si dice **iso connessa** (o **staticamente determinata**).

In altri casi più bullonature concorrono a portare un certo insieme di sollecitazioni, ed in questo caso la bullonatura si dice **iper connessa** (o **staticamente indeterminata**).

Le indagini sperimentali hanno dimostrato che le sollecitazioni affluenti a una bullonatura **iper connessa** dipendono anche da complessi fenomeni come il rifollamento, ovvero dalla plasticizzazione della lamiera dovuta alla presenza del taglio nei gambi dei bulloni, ma anche dall'attrito e dai giochi foro-bullone.

Le azioni globalmente prese da due o più bullonature tendono quindi a ridistribuirsi, **migrando** dalla bullonatura che ha prodotto il rifollamento della lamiera, o che ha un maggior gioco foro-bullone, alle altre.

Per tener conto di questi complessi fenomeni, generalmente valutati in modo **convenzionale** e **forfettario** dai metodi di calcolo oggi disponibili, in CSE è stato introdotto il concetto di **indice di flessibilità** associato a una bullonatura.

Ogni bullonatura, in CSE, viene calcolata con una **rigidezza nativa** che dipende da molteplici fattori, come il numero dei bulloni, la loro distanza, il loro diametro, e la posizione della bullonatura stessa. Se non si modifica l'indice di flessibilità di una bullonatura, lasciando il valore di default pari a 1, le azioni che due o più bullonature sono chiamate a sostenere **si ripartiscono tra queste proporzionalmente alle loro rigidezze native**.

In certi casi il mutuo dosaggio delle sollecitazioni tra le varie bullonature presenti può risultare non adeguato a tener soddisfacentemente conto dei fenomeni di plasticizzazione e redistribuzione a cui si è appena fatto cenno.

Per modificare il mutuo dosaggio tra le sollecitazioni afferenti a un insieme di bullonature iper connesse, è possibile incrementare l'indice di flessibilità di una o più bullonature **diminuendone così la rigidità** rispetto a quella nativa. Ciò simula la redistribuzione dovuta alla plasticizzazione di cui si è fatto cenno.

In certi casi può quindi essere opportuno incrementare l'indice di flessibilità di certe bullonature dal valore iniziale di 1 sino a 3, 5, 10 o più.

## 820 PROBLEMATICHE: Verifiche irrigidimenti

In CSE gli irrigidimenti sono componenti che trasferiscono forze da una parte di un componente ad un'altra parte **del medesimo** componente.

Essi **non vanno confusi** con quei piatti o componenti, detti anch'essi **di irrigidimento**, che connettono componenti **diversi**.

Per la maggior parte, si tratta di costole di irrigidimento di profili ad I o ad H

o di piatti di rinforzo, per esempio d'anima (nelle connessioni a momento).

Né i mezzi di unione degli irrigidimenti, né gli irrigidimenti stessi sono verificati automaticamente da CSE.

Gli irrigidimenti normalmente non devono essere sottoposti a verifiche numeriche, ma meramente proporzionati in modo adeguato, generalmente funzione delle dimensioni del componente che irrigidiscono.

Tuttavia, nei casi in cui si ritiene necessario, essi possono essere verificati da CSE:

- per mezzo dell'aggiunta di verifiche utente o verifiche standard appositamente previste
- per mezzo della verifica FEM del componente che irrigidiscono.

E' compito dell'utente assicurarsi che le eventuali necessità di verifica di questi componenti siano state adeguatamente previste.

## 825 PROBLEMATICHE: Modellazione FEM: generalità

Mentre le verifiche dei bulloni e delle saldature seguono regole fisse tutto sommato ben determinate e normate, le verifiche dei componenti sono molto più complesse, perché i meccanismi resistenti che si attivano in un componente dipendono dalla sua forma, dalle sue proporzioni, e dal modo in cui è collegato agli altri componenti.

Alcune verifiche (rifollamento, punzonamento, sezioni nette delle membrature ed altre ancora) sono in qualche misura formalizzabili. Altre sono così complesse e generali che è utile eseguire un vero e proprio modello agli elementi finiti del componente, al fine di farne una stress analysis.

Nelle normative questo approccio non è previsto, perché al suo posto è di solito previsto un modello a T-stub, che però ha alcune evidenti manchevolezze e difettosità. In primo luogo la mancanza di generalità (i bulloni devono essere in due file, regolari, eccetera). In secondo luogo la drastica semplificazione rispetto ai casi che si incontrano nella pratica. In terzo luogo la macchinosità e la complessità di calcolo. Il modello a T-stub di fatto cerca di ottenere i risultati di una analisi limite mediante la teoria delle slip line.

L'approccio ad elementi finiti ha pregi e difetti.

I difetti sono legati al tempo di calcolo, che però con solutori sparse matrix come quello di CSE è limitato, in specie in ambito elastico, ed alla necessità di guardare i risultati della stress analysis per formarsi un giudizio ingegneristico sulla accettabilità del pezzo. Inoltre la modellazione FEM dei componenti è convenzionale e può dirsi - nello stretto ambito dei collegamenti saldati e bullonati - ancora in parte oggetto di studio.

Il maggior pregio è la generalità, che consente di affrontare qualsiasi problema in modo sostanzialmente esatto (nei limiti di un approccio numerico). Sebbene i modelli siano convenzionali, sia i bulloni che i cordoni possono essere modellati in modo da dare risultati a favore di sicurezza. Le mappe di sforzo sono quindi uno strumento molto più raffinato e preciso dei modelli T-Stub, che si riferiscono a situazioni elementari di sforzo e poco generali come geometria.

Nell'approccio di verifica che usa la modellazione ad elementi finiti, occorre tener conto che alcuni possibili modi di crisi sono già tenuti in conto da altre verifiche: per esempio il rifollamento o il block tear.

A differenza di quanto previsto dalle normative, non viene calcolato un carico limite, da raffrontare poi con il carico applicato. Il carico viene applicato al pezzo e si esamina lo stato di sforzo risultante, giudicando poi la sua accettabilità.

Nelle verifiche a T-stub previste dall'Eurocodice 3 parte 1-8, la verifica viene eseguita applicando domini di interazione tra le componenti elementari di sollecitazione alquanto semplificati. Se ad esempio è presente una azione assiale ed un momento, si valuta la azione assiale limite ed il momento limite, e poi si determina un dominio limite di interazione linearizzando.

Invece, le verifiche FEM applicano contemporaneamente l'azione assiale ed il momento flettente di ciascuna combinazione (e anche le altre sollecitazioni eventualmente presenti), determinando lo stato di sforzo corrispondente. L'approccio è dunque completamente diverso, sebbene da un punto di vista ingegneristico si stia facendo la stessa cosa. Anche se non esplicitamente previsto dalle normative, l'approccio di verifica che usa una modellazione FEM è per definizione più rigoroso e volto ad ottenere i medesimi risultati.

## 826 PROBLEMATICHE: Modellazione FEM: lineare vs nonlineare

L'approccio normalmente seguito dalle normative più recenti è quello di far calcolare le azioni limite (plastiche) e poi raffrontarle a quelle esistenti. Tuttavia, non sempre le azioni esistenti comportano la piena plasticizzazione di un componente.

Dato che l'analisi lineare è molto più semplice e rapida di una analisi non lineare, conviene sempre eseguirla per prima, in modo da poter decidere se il pezzo raggiunge il limite di plasticizzazione o no.

Dato che il rifollamento è già tenuto in conto da altre verifiche, modeste plasticizzazioni intorno ai nodi che simulano i bulloni sono normalmente accettabili. Eventuali picchi di tensione intorno a questi nodi non portano a scartare il pezzo.

Se, viceversa, la plasticizzazione coinvolge ampie zone del componente, si potrà concludere che una analisi lineare è insufficiente. Non sempre, comunque, conviene passare direttamente ad una analisi non lineare, in quanto quando la plasticizzazione dilaga nel pezzo calcolato elasticamente, è probabile che anche un'analisi non lineare porterà a conclusioni simili: scartare il pezzo e riprogettarlo.

L'analisi non lineare è utile quando la plasticizzazione predetta da un calcolo elastico è intermedia, ovvero non semplicemente limitata alle aree limitrofe rispetto ai bulloni o alle saldature, ma nemmeno dilagante sulla intera superficie del pezzo.

In questo caso può essere utile fare una analisi non lineare del pezzo.

L'analisi non lineare è più lunga di quella lineare, poichè il calcolo è iterativo.

Sono sostanzialmente due i possibili approcci, e dipendono dalla legge costitutiva adottata per il metallo.

Se si usa una legge costitutiva elastica-perfettamente plastica, scopo dell'analisi è arrivare a convergenza con l'intero carico applicato. Se questo avviene non si è superato il carico limite ed il componente è accettabile. Se invece non si raggiunge il carico applicato perchè la soluzione diverge, o lo si raggiunge ma a prezzo di spostamenti inaccettabili, allora il componente dovrà essere riprogettato.

Se si usa una legge costitutiva incrudente (hardening), allora la convergenza sarà raggiunta comunque e saranno due le condizioni da esaminare. La prima è che la tensione di rottura non venga raggiunta in nessun punto. La seconda è che gli spostamenti sotto i carichi applicati non siano eccessivi.

L'analisi dello stato di sforzo di un componente di cui sia stato fatto un modello FEM viene svolta mediante l'analisi del suo stato di sforzo di Von Mises. Ciò viene fatto nel programma di appoggio a CSE detto Sargon Reader. Tra le funzionalità disponibili, c'è la possibilità di vedere la mappa di involuppo su tutte le combinazioni dello sforzo di Von Mises, e quindi sapere subito che picchi di tensione siano stati raggiunti, in quale zona, ed in quali combinazioni.

## 830 PROBLEMATICHE: Scegliere che verifiche fare e come farle

La scelta di **quali verifiche fare** e di **come farle** è un passo **fondamentale** per qualsiasi progettista di collegamenti, anche a prescindere da CSE.

CSE fornisce numerosi strumenti atti a semplificare, approfondire e velocizzare il lavoro del progettista di collegamenti, ma, ad eccezione del caso dei PRenodi tipici già pronti, **non può e non vuole sostituirsi completamente a lui.**

In funzione del problema in esame sarà possibile e necessario fare certe verifiche e non altre. Le verifiche fatte dipendono anche **dalla scelta della modalità di funzionamento delle bullonature e dalla scelta del tipo di saldature.**

Alcune verifiche sono automatiche e non richiedono intervento alcuno da parte dell'utente. Altre richiedono all'utente alcune informazioni.

Stabilito il modo in cui una bullonatura funziona, **le verifiche dei bulloni in CSE sono totalmente automatiche e non richiedono alcun intervento da parte dell'utente. Ciò vale anche per le saldature.**

I componenti, membrature e tramite, uniti da saldature e bullonature, possono invece richiedere tanti tipi diversi di verifiche a seconda di come sono fatti e del ruolo statico che assolvono.

Le verifiche di **rifollamento** sono automatiche e possono o essere eseguite o meno, a richiesta.

Le verifiche di **punzonamento** sono anch'esse automatiche e possono o meno essere eseguite.

Le verifiche di **block tear** sono automatiche e possono o meno essere eseguite. Dato che il problema del block tear è formidabilmente complesso, è bene che l'utente esegua dei controlli per verificare che il percorso di rottura trovato dal programma sia accettabile.

Il gruppo delle "**verifiche di resistenza dei componenti**", si articola in numerose possibili verifiche locali, a seconda del problema in esame. Sta all'utente comprendere quali verifiche devono essere eseguite e quali no, il programma mette a disposizione un vasto insieme di strumenti automatici o semi-automatici, che consentono di affrontare qualsiasi situazione.

- Le **verifiche delle sezioni nette delle membrature**, appartenenti a questo gruppo, sono automatiche ed eseguite a richiesta.
- Le **verifiche FEM dei componenti** sono automatiche ed eseguite a richiesta. Sono eseguite per problemi complessi, o componenti di particolare importanza. Anche esse appartengono a questo gruppo di verifiche.
- Le **verifiche standard** includono speciali verifiche appartenenti a questo gruppo e sono eseguite sotto forma di verifiche utente, a richiesta.
- Le **verifiche semplificate dei tramite** appartengono a questo gruppo e sono utili per certe particolari tipologie di pezzi. Sono eseguite solo a richiesta.
- Le **verifiche utente** possono sempre essere aggiunte al fine di coprire particolari verifiche appartenenti a questo gruppo. Anch'esse sono eseguite a richiesta.

Il gruppo delle "**verifiche di stabilità dei componenti**" è confinato ad un numero modesto di casi, dato che il più delle volte è lo stesso proporzionamento a coprirle in modo implicito. Per questo tipo di verifiche sono disponibili due modalità, in CSE:

- alcune **verifiche standard** coprono specifiche verifiche di stabilità, ad esempio la stabilità del pannello d'anima è una di queste.
- le **verifiche utente** consentono di aggiungere tutte le particolari verifiche di stabilità eventualmente resesi necessarie.

**Molte verifiche non sono da farsi mediante calcoli, ma sono automaticamente soddisfatte mediante un corretto proporzionamento dei componenti.**

Delle verifiche che richiedono calcoli CSE copre la stragrande maggioranza. Esistono tuttavia casi in cui certe verifiche devono essere aggiunte dall'utente mediante lo strumento delle "verifiche utente".

I nodi preconfezionati mediante la parametrizzazione dovrebbero contenere, al loro interno, anche tutte le scelte necessarie ad eseguire le verifiche in modo completo.

## 840 PROBLEMATICHE: La parametrizzazione dei Renodi

La parametrizzazione dei Renodi è una importante funzionalità del programma: essa consente di creare Renodi parametrici, che potranno essere applicati a intere famiglie di Renodi vuoti.

Un primo ovvio insieme di scelte da fare nel corso della parametrizzazione riguarda **la dimensione fisica dei componenti**. Le dimensioni possono essere espresse mediante formule anziché numeri. Queste formule possono adoperare sia le variabili predefinite che quelle aggiunte dall'utente.

Nel caso delle bullonature, **il numero ed il diametro dei bulloni è parametrizzabile**, e così l'**interasse tra le righe e le colonne**, o il **tipo di disposizione**. Anche le scelte in merito al funzionamento statico della bullonatura, la superficie di contrasto ed altre informazioni sono parametrizzabili.

Nel caso dei cordoni di saldatura **è parametrizzabile il numero dei cordoni, la loro lunghezza ed il loro spessore**.

Anche **la collocazione spaziale dei componenti** è parametrizzabile, nel senso che il posizionamento può adattarsi alle varie diverse situazioni di ciascuno dei Renodi appartenente alla famiglia di Renodi a cui si può applicare il PRenodo.

La costruzione geometrica di un PRenodo non esaurisce l'ambito in cui è possibile parametrizzarlo. Anche la scelta delle verifiche, l'aggiunta di variabili utente e di verifiche standard ed utente, **sono tutte parametrizzabili**.

Grazie alla parametrizzazione è possibile fare in modo che CSE crei in un attimo Renodi completi e pronti per l'uso. Di tale funzione si giova anche la versione LIGHT del programma.

La parametrizzazione richiede uno sforzo di generalizzazione, dato che non si descrive un unico particolare Renodo, bensì una intera famiglia. Ogni progettista potrà pervenire a diverse parametrizzazioni, in funzione delle sue particolari esigenze.

## 901      VERSIONE LIGHT: Definizione di un nodo

Per studiare un nodo con la versione LIGHT iniziando da un modello vuoto, la prima operazione da eseguire è definire la tipologia del collegamento, assegnando le necessarie proprietà alle varie membrature. Per fare ciò si utilizza il comando “*Nodi tipici*” che si trova nel menu “*Nodi*” e presenta anche un bottone nella barra laterale.

Il comando è disponibile solo se è attiva la vista grafica. Per attivarla qualora non lo sia già, basta cliccare al suo interno.

Eseguiamo il comando “*Nodi tipici*”.

Viene proposto un property sheet con tutte le tipologie strutturali disponibili, divise per categoria: giunti di prosecuzione, giunti trave-colonna, giunti trave-trave, collegamenti a terra, controventi, nodi di travi reticolari. Alcune tipologie richiedono la definizione di quote per determinare la geometria del nodo: tali quote sono riportate nelle immagini; una volta scelta la struttura desiderata, è necessario determinare solo i parametri richiesti per questa.

La membrature rossa è il master della struttura in esame. Se non vi sono membrature rosse, si tratta di un nodo centrale.

Scegliamo ad esempio un giunto trave-colonna. Cliccando l’immagine, la struttura viene selezionata e viene proposto un dialogo per definire le proprietà delle varie membrature.

Scegliamo il materiale che verrà assegnato a tutte le membrature del nodo (con la versione LIGHT non è possibile definire nodi le cui membrature abbiano materiali diversi). Dall'archivio, scegliamo ad esempio l'S235 e applichiamo. Oltre a scegliere un materiale dall'archivio, è anche possibile definire un nuovo materiale specificandone le proprietà.

Anche per le forme sezionali è possibile scegliere dall'archivio o definire nuove sezioni. Il bottone *Aggiungi* serve per introdurre una nuova sezione. Scelta la tipologia, vanno introdotte le quote nel successivo dialogo.

Scegliamo un profilo dall'archivio. Attiviamo il filtro sulle sezioni HEB e premiamo "Archivio". Dalla lista dei profili di tipo HEB, scegliamo ad esempio la 280 e applichiamo.

Tale sezione risulta ora quella corrente. Assegniamola alla membratura 1, cioè la colonna.

Adesso assegniamo un profilo di tipo IPE alle travi. La sezione corrente è ora l'IPE270: assegniamola alle due travi

Se si vuole che i collegamenti tra le travi e la colonna siano a taglio, si devono spuntare le caselle "Cerniera" delle relative travi. Rimuovendo la spunta "Asse forte" la sezione delle relative membrature verrà ruotata di 90 gradi.

Definiti i parametri desiderati, premiamo OK per ottenere il nodo tridimensionale.

Abbiamo un nodo con le sole membrature, non connesse tra loro e compenetranti. Il passo successivo è l'assegnazione di un nodo parametrico tra quelli compatibili presenti in

archivio. Questa operazione è spiegata dettagliatamente nel filmato 698. Qui è mostrata brevemente per completezza.

Eseguiamo il comando “Assegna nodo parametrico”, scegliamo il tipo di collegamento desiderato e applichiamo.

Dopo l’assegnazione di un nodo parametrico, i cui parametri possono essere modificati, vanno impostate ed eseguite le verifiche del nodo.



## SOMMARIO

001	PANORAMICA: Progetto CSE.....	5
006	PANORAMICA: Nodoteca (aggiornata a gennaio 2012).....	9
007	PANORAMICA: Creazione di un nodo con la versione Light .....	10
008	PANORAMICA: Registrazione e riassegnazione prenodo .....	14
010	TOUR – Da FEM – Fasi iniziali .....	19
011	TOUR - Piastra di base.....	21
012	TOUR – Giunto di prosecuzione flangiato .....	25
013	TOUR – Trave-colonna flangiato.....	28
014	TOUR – Trave-trave con squadretta .....	31
015	TOUR – Nodo di controvento.....	34
019	TOUR – Partendo da CSE .....	36
020	TOUR – Trave-colonna (squadretta).....	39
021	TOUR – Trave-trave (saldato) .....	40
022	TOUR – Giunto di prosecuzione (coprigiunti) .....	41
030	TOUR – Giunti non standard .....	42
100	FULL-LIGHT: Fasi di lavoro .....	45
101	FULL Fase 1a: importazione del modello FEM .....	49
102	FULL Fase 1b: creazione manuale o modifica del modello FEM .....	51
103	FULL Fase 1c: creazione automatica del modello FEM.....	52
105	FULL Fase 2: ricerca delle membrature .....	53
110	FULL Fase 3: ricerca dei Jnodi .....	54
120	FULL Fase 4a: creazione manuale del Renodo partendo da zero.....	57
130	FULL Fase 4b: creazione automatica o semiautomatica del Renodo .....	59
140	FULL Fase 5: impostazione delle verifiche.....	61
145	FULL Fase 6: esecuzione delle verifiche e analisi dei risultati .....	65
150	LIGHT Fase 1a: importazione del modello, ricerca Jnodi.....	67

151	LIGHT Fase 1b: creazione automatica del modello del nodo singolo .....	68
160	LIGHT Fase 2: costruzione del Renodo .....	69
165	LIGHT Fase 3: eventuale modifica del Renodo costruito .....	71
170	LIGHT Fase 4: eventuale impostazione delle verifiche .....	72
180	LIGHT Fase 5: esecuzione delle verifiche ed analisi dei risultati.....	73
200	TERMINOLOGIA: Nodo, Jnodo, Renodo.....	75
201	TERMINOLOGIA: Classificazione dei Jnodi.....	77
202	TERMINOLOGIA: Uniti, unitori, tramite, irrigidimenti .....	78
203	TERMINOLOGIA: Irrigidimento vs tramite.....	79
204	TERMINOLOGIA: Attacchi rigidi o elastici .....	80
205	TERMINOLOGIA: Constrasto .....	81
207	TERMINOLOGIA: Variabile predefinita .....	82
208	TERMINOLOGIA: Variabile utente.....	83
209	TERMINOLOGIA: Verifiche utente.....	84
301	TEMATICHE: Modello degli oggetti in CSE .....	87
302	TEMATICHE: Rappresentazione unitori in CSE.....	89
303	TEMATICHE: Identificazione degli oggetti in CSE .....	90
304	TEMATICHE: Connessione .....	92
305	TEMATICHE: Catene .....	95
306	TEMATICHE: Coerenza del Renodo.....	97
307	TEMATICHE: Compenetrazioni .....	98
308	TEMATICHE: Lavorazioni .....	99
310	TEMATICHE: Bullonature .....	100
320	TEMATICHE: Saldature .....	102
330	TEMATICHE: Azioni interne necessarie alle verifiche.....	103
331	TEMATICHE: Combinazioni fittizie, combinazioni utente, combinazioni FEM....	105
333	TEMATICHE: Verifica sezioni nette delle membrature.....	107

334	TEMATICHE: Verifiche semplificate dei tramite .....	108
335	TEMATICHE: Verifiche utente.....	109
336	TEMATICHE: Verifiche di Block Tear .....	110
350	TEMATICHE: Verifiche delle bullonature .....	111
360	TEMATICHE: Verifiche delle saldature.....	112
370	TEMATICHE: Verifiche di spostamento .....	113
380	TEMATICHE: Verifiche standard .....	114
390	TEMATICHE: Segni di connessione nel modello FEM .....	115
400	INTERFACCIA: Interfaccia .....	117
401	INTERFACCIA: Viste .....	118
402	INTERFACCIA: Bottoni.....	121
500	MENU: Menu.....	125
501	MENU: File.....	128
502	MENU: Modifica .....	130
503	MENU: Mostra.....	131
504	MENU: Disegna.....	133
505	MENU: Interroga .....	134
506	MENU: Fem.....	137
507	MENU: Jnodi .....	138
508	MENU: Renodo.....	139
509	MENU: Verifiche .....	139
510	MENU: Finestra e Help .....	140
511	MENU: Prenodo.....	140
600	COMANDI: FILE – Importa/Aggiorna modello FEM .....	143
610	COMANDI: MODIFICA – Unità .....	145
611	COMANDI: MODIFICA – Seleziona.....	146
612	COMANDI: MODIFICA – Impostazioni.....	148

620	COMANDI: MOSTRA – Orientazione.....	149
621	COMANDI: MOSTRA – Modalità.....	151
622	COMANDI: MOSTRA - Oggetti.....	152
623	COMANDI: MOSTRA – Punti scena.....	153
630	COMANDI: INTERROGA – Sezioni nette .....	155
640	COMANDI: FEM – Nodi .....	157
641	COMANDI: FEM – Elementi (parte 1 di 3).....	158
642	COMANDI: FEM – Elementi (parte 2 di 3).....	161
643	COMANDI: FEM – Elementi (parte 3 di 3).....	163
645	COMANDI: FEM – Nodi tipici .....	166
650	COMANDI: FEM – Assegna vincolo .....	169
651	COMANDI: FEM – Assegna svincolo.....	170
652	COMANDI: FEM – Cerca membrature .....	172
660	COMANDI: JNODI - Cerca .....	174
661	COMANDI: JNODI - Edita .....	177
662	COMANDI: JNODI – Estrai membrature .....	180
664	COMANDI: JNODI – Crea/Apri tabulato.....	181
670	COMANDI: RENODO – Fissa orientazione corrente .....	183
671	COMANDI: RENODO – Allunga-accorcia membratura.....	184
672	COMANDI: RENODO – Modifica membratura .....	186
673A	COMANDI: RENODO – Aggiungi tramite .....	188
673B	COMANDI: RENODO – Aggiungi tramite (parte 2) .....	190
674	COMANDI: RENODO – Aggiungi layout di saldature.....	193
675	COMANDI: RENODO – Aggiungi bullonatura.....	196
676	COMANDI: RENODO – Aggiungi bullonatura (dialogo).....	198
680	COMANDI: RENODO –Cancella componenti .....	206
681	COMANDI: RENODO – Modifica componente.....	207

682	COMANDI: RENODO – Copia/Ricopia componenti .....	208
683	COMANDI: RENODO – Ruota componenti .....	210
684	COMANDI: RENODO – Modifica opzioni bullonature.....	211
685	COMANDI: RENODO – Sposta componenti .....	212
686	COMANDI: RENODO - Lavorazioni.....	214
689	COMANDI: RENODO – Aggiungi variabile.....	218
690	COMANDI: RENODO – Aggiungi condizione .....	219
691	COMANDI: RENODO – Modifica variabile o condizione .....	221
692	COMANDI: RENODO – Elimina variabile o condizione .....	222
695	COMANDI: RENODO – Controlla compenetrazioni.....	223
696	COMANDI: RENODO – Controlla coerenza .....	224
697	COMANDI: RENODO – Esporta.....	225
698	COMANDI: RENODO – Assegna Prenodo.....	226
700	COMANDI: VERIFICHE – Imposta .....	230
701	COMANDI: VERIFICHE – Verifica renodo .....	232
702	COMANDI: VERIFICHE – Inviluppo, Risultati correnti, Interroga.....	234
704	COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati contrasto.....	236
705	COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati sezioni nette.....	237
706	COMANDI: VERIFICHE – Mostra forze.....	238
707	COMANDI: VERIFICHE – Mostra risultati FEM componente .....	240
708	COMANDI: VERIFICHE – Deformata .....	244
709	COMANDI: VERIFICHE – Combinazioni e istanze .....	245
710	COMANDI: VERIFICHE – Apri listato .....	247
730	COMANDI: PRENODO – Nuovo, Salva.....	253
731	COMANDI: PRENODO – Restart.....	255
733	COMANDI: PRENODO – Aggiungi immagine.....	256
735	COMANDI: PRENODO – Pausa, Continua, Abortisci .....	257

739	COMANDI: PRENODO - Archivio .....	258
801	PROBLEMATICHE: Contrasto – Superficie di contrasto .....	261
802	PROBLEMATICHE: Contrasto - legge costitutiva del contrasto .....	275
805	PROBLEMATICHE: Bulloni solo a taglio .....	280
810	PROBLEMATICHE: Indice di flessibilità delle bullonature .....	282
820	PROBLEMATICHE: Verifiche irrigidimenti.....	284
825	PROBLEMATICHE: Modellazione FEM: generalità .....	285
826	PROBLEMATICHE: Modellazione FEM: lineare vs nonlineare.....	287
830	PROBLEMATICHE: Scegliere che verifiche fare e come farle .....	289
840	PROBLEMATICHE: La parametrizzazione dei Renodi.....	292
901	VERSIONE LIGHT: Definizione di un nodo.....	293