

CALCOLO AUTOMATICO DI COLLEGAMENTI CON POSIZIONAMENTO LIBERO

SOFTWARE COMPUTATION OF STEEL JOINTS BUILT UP FREELY PLACING COMPONENTS

Paolo Rugarli
Castalia srl
Milano, Italia
staff@castaliaweb.com

ABSTRACT

This work is about a research project aimed at the creation of an automatic software tool dealing with steel joints, allowing free placement of components. Once the joint has been built freely placing components in the scene, the software is able to automatically detect connections, overlappings, and check main safety conditions of bolts, welds, and components. The paper outlines the features of an idel software tool dealing with steel joints, and points out the many goals already reached.

SOMMARIO

In questo articolo si descrive un progetto di ricerca di Castalia srl teso a creare un software di calcolo automatico dei collegamenti che consenta il posizionamento libero delle varie parti. In questo modo, dopo aver creato liberamente il proprio collegamento posizionando sulla scena i componenti ed i mezzi di unione, l'analista può ottenere automaticamente le principali verifiche sulle saldature e le bullonature, nonché sui componenti stessi. Il lavoro delinea le caratteristiche di un programma ideale sui collegamenti e dà conto dei numerosi problemi effettivamente già risolti.

1 INTRODUZIONE

Il calcolo dei collegamenti è uno dei settori nei quali il calcolo automatico è maggiormente arretrato. Se è vero che esistono applicazioni in grado di calcolare automaticamente strutture aventi anche milioni di gradi di libertà, sia in campo lineare che in campo non lineare, o di eseguire automaticamente tavole di disegno (anche per le strutture in acciaio in 3D), ancora nulla di veramente generale sembra essere disponibile nell'ambito del *calcolo* dei collegamenti.

Il problema è formidabilmente complesso poiché non esistono formulazioni generali in grado di trattarlo compiutamente: di fatto il calcolo dei collegamenti viene oggi compiuto dai software disponibili per un certo insieme di collegamenti tipici, di layout standardizzato (*approccio estensivo o "a ricette di cucina"*). Se il collegamento in esame non rientra in quelli

tipici le soluzioni tradizionalmente disponibili vengono meno, e non si riesce ad ottenere la soluzione desiderata.

A ciò si aggiunge il fatto che, anche per i collegamenti tipici, di solito gestiti dai software in numero pari a non più di qualche unità, in rari e costosi casi in numero pari a qualche decina, la implementazione delle regole di calcolo segue criteri *hard coded*, per cui se il progettista si trova nella necessità di eseguire calcoli in diverso modo, o con ipotesi diverse rispetto a quelle tenute in conto da chi ha sviluppato il software, di fatto deve ricorrere a fogli di calcolo esterni al programma. Lo stesso posizionamento dei dispositivi di unione segue regole generalmente rigide, non sempre utili a risolvere i problemi reali. Non a caso un ipotetico censimento dei fogli EXCEL relativi al calcolo di collegamenti “tipici”, produrrebbe probabilmente centinaia di diversi esemplari.

Ben consapevole della complessità del problema e della sostanziale inattività dell’approccio “*a ricette di cucina*”, chi scrive ha avviato, nell’ambito del lavoro di sviluppo di Castalia srl, ormai da anni ([1]), una ricerca tesa a creare uno strumento di calcolo generale, o della maggior generalità possibile, atto a calcolare (non solo a disegnare: a calcolare) “nodi” bullonati e saldati delle strutture in acciaio in accordo con le normative disponibili.

Il lavoro di ricerca compiuto ha portato a importanti risultati tramutatisi in procedure software già disponibili, dei quali qui si dà cenno, e se esso non può ancora considerarsi concluso, perché restano ancora aperti alcuni fronti importanti, i risultati ottenuti giustificano un notevole ottimismo. Il programma che implementa le idee sviluppate, e quindi il frutto della ricerca, denominato C.S.E. (Connection Study Environment, [2]), è capace di eseguire automaticamente il calcolo dei “nodi” per una assai ampia generalità di casi, e comunque consentendo il posizionamento libero dei componenti e delle unioni: non quindi “a ricette di cucina” ma a composizione libera.

In questo articolo verranno introdotte alcune idee che stanno dietro a questo lavoro, riservando ad un futuro articolo più dettagliato la disamina formale dei risultati ottenuti.

2. UN PERCORSO IDEALE

Il percorso che idealmente si vorrebbe fare potrebbe essere così descritto:

- A. Preparare un modello agli elementi finiti e verificare la struttura per mezzo di verificatori automatici;
- B. passare in modo automatico dall’ambiente FEM (wireframe) all’ambiente 3D, trasformando gli elementi finiti in membrane;
- C. identificare e catalogare tutti i “nodi” presenti nella struttura, riconoscendo quelli eguali;
- D. per ciascun nodo definire, in modo interattivo (aggiungendo i componenti come con un LEGO™ elettronico) o automatico (proponendo modelli di nodo predefiniti, anche da parte dell’utente stesso), i componenti e le unioni per mezzo dei quali il “nodo” è realizzato;
- E. verificare ciascun “nodo” in modo automatico e/o per mezzo di specifiche regole di calcolo che l’utente possa “insegnare” al programma;
- F. ricostruire la scena complessiva aggiungendo i componenti di ciascun “nodo” così come definiti e verificati nelle fasi precedenti;
- G. restituire sotto forma di tavole e di modello 3D la struttura così concepita, con anche distinte pezzi, pesi, eccetera, e creare i file per il taglio automatico dei pezzi (CNC).

Ulteriori passi necessari sono:

- H. La possibilità di descrivere e calcolare collegamenti a prescindere dal modello FEM, calcolandoli sulla base dei limiti elastici o plastici delle membrane connesse;

- I. tornare al modello FEM e da questo di nuovo al modello dei nodi senza perdere le informazioni definite.

3. TERMINOLOGIA MINIMA

Nel seguito si farà anche uso di termini specifici, la cui introduzione o ridefinizione si è resa necessaria nel corso del lavoro di ricerca, e di cui si dà qui il significato impiegato in questo contesto:

- *componente*: un qualsiasi solido tridimensionale facente parte della scena.
- *jnodo*: è l'anello intermedio tra il "nodo" degli elementi finiti ed il "renodo": conserva le informazioni sulle membrane convergenti, le loro giaciture, le loro forme sezionali, i loro svincoli, ecc.. Può dare luogo a differenti renodi a seconda di come i collegamenti e le lavorazioni vengono effettivamente realizzati.
- *membratura*: è un elemento rettilineo o curvilineo costituito da un unico pezzo con le sue lavorazioni.
- *nodo*: è il "nodo" nel senso degli elementi finiti.
- *reclasse*: si tratta in pratica di un renodo parametrizzato, ovvero delle informazioni che definiscono la famiglia di renodi simili.
- *renodo*: è il nodo "reale" con tutti i tramite, tutti gli unitori nelle loro esatte posizioni e la definizione di tutte le lavorazioni che definiscono univocamente i pezzi come solidi 3D. Fanno anche parte del renodo le scelte dei materiali, delle regole di calcolo, le ipotesi di funzionamento degli unitori, le formule di verifica definite dall'utente, le sue variabili, ecc..
- *renodi simili*: sono renodi che differiscono unicamente per il valore numerico di alcune dimensioni dei componenti e/o di alcune posizioni, e che rispettano opportune condizioni di applicabilità.
- *scena*: è l'insieme di tutti i componenti del renodo, esattamente definiti nello spazio 3D.
- *tramite*: qualsiasi pezzo che non sia una membratura e non sia un unitore, usato per trasferire azioni da un punto all'altro o per irrigidire un componente (membratura o tramite): ad esempio squadrette, piatti, costole di irrigidimento.
- *unito*: membratura o tramite che viene unito ad altro unito per mezzo di unitori (uno o più).
- *unitore*: riunione di componenti elementari (bulloni o cordoni o chiodi) che realizza una unione tra tramite e membrane. Si considerano solo unitori omogenei: bullonature e saldature in questo lavoro. Un collegamento può però essere realizzato mediante più unitori di tipo diverso (saldature e bullonature).

4. IL PROGRAMMA IDEALE

Nelle primissime fasi della ricerca ci si è chiesto cosa il programma ideale avrebbe dovuto saper fare, arrivando a un layout di requisiti che vengono qui riportati molto sinteticamente, al fine di poterli poi commentare:

Nella gestione delle membrane e delle loro forme sezionali:

1. Trattazione di membrane (1.a) rettilinee; (1.b) curvilinee.
2. Trattazione di forme sezionali generiche incluse: (2.a) le forme elementari; (2.b) le forme ottenute per composizione; (2.c) le sezioni formate a freddo; (2.d) le sezioni cave (CHS, RHS) con le problematiche connesse. (2.e) le sezioni ottenute da poligoni generiche.

Nel passaggio da ambiente FEM ad ambiente 3D:

3. Passaggio da un modello FEM ad un modello a membrature riconoscendo la presenza dei collegamenti ed interrompendo le membrature ove determinato dai collegamenti in modo totalmente automatico.
4. Classificazione e catalogazione dei jnodi.
5. Riconoscimento automatico dei jnodi eguali nella stessa struttura, marcatura e numerazione dei jnodi.

Nella libera creazione della scena che fa passare da un jnodo ad un renodo:

6. (6.a) Posizionamento libero dei tramite; (6.b) l'uso di tramite generici con la stessa generalità delle membrature.
7. (7.a) Applicazione unitori bullonati con layout a blocchi di bulloni o con bulloni singoli a posizionamento libero (traslazione e rotazione del blocco su generica faccia di membratura o tramite). (7.b) Riconoscimento automatico oggetti uniti cliccando la sola faccia di partenza. (7.c) Definizione di bullonature reagenti a solo taglio o (7.d) a taglio ed a trazione, (7.e) degli ancoraggi, (7.f) dei bulloni non reagenti o reagenti a compressione.
8. Unitori saldati con layout liberi: (8.a) a cordoni d'angolo; (8b) a completa penetrazione con tutti i principali tipi di smusso.
9. Controllo interferenze e compenetrazioni in modo automatico.
10. Lavorazioni sulle membrature e sui tramite di ampia generalità.

Nel calcolo del renodo:

11. Possibilità di definire nuove variabili ed operazioni tra le stesse a partire da variabili di renodo predefinite (spessori, dimensioni, posizioni, tensioni dei materiali, ecc.).
12. Possibilità di definire liberamente disequazioni di verifica, basate sulle variabili predefinite e quelle aggiunte.
13. Possibilità di calcolare le bullonature in modo automatico: (13.a) verifiche a taglio e taglio trazione per i bulloni; (13.b) verifiche a rifollamento per i pezzi uniti dai bulloni; (13.c) verifica per block shear delle lamiere unite; (13.d) verifica dei pezzi uniti sotto l'azione delle forze applicate. (13.e) verifica automatica di bullonature soggette a taglio-torsione, con (13.f) calcolo automatico del taglio e della torsione a partire dalla scena; (13.g) verifica automatica di bullonature a trazione o compressione e flessione, con (13.h) calcolo automatico della trazione e della flessione a partire dalla scena.
14. (14.a) Possibilità di calcolare i layout di cordoni soggetti a sestuple di sollecitazione (**F**, **M**), con (14.b) calcolo automatico delle sestuple di sollecitazione a partire dalla scena. (14.c) Verifica dei pezzi uniti dal cordone (se di materiali diversi) per il contatto col cordone.
15. Calcolo di unioni "a terra" a partire dalla scena.
16. Possibilità di creare una distinta di calcolo automatica con le sollecitazioni calcolate sugli unitori e gli sforzi calcolati sui singoli componenti (bulloni e cordoni).

Nella restituzione delle tavole e nella creazione di file per il taglio automatico:

17. (17.a) Creazione automatica della scena del renodo su tavole; (17.b) esportazione verso CAD esterni del modello solido del renodo.
18. (18.a) Creazione automatica della scena complessiva della struttura mediante riunione delle informazioni sui renodi singoli; (18.b) esportazione verso CAD esterni del modello solido della struttura dopo la definizione dei renodi.
19. Creazione di una distinta pezzi.
20. Definizione di marche automatiche e/o manuali racchiudenti insieme di pezzi.
21. Calcolo del peso complessivo e del peso per marca.

Data anche l'esigenza di non ricominciare da capo per ogni nuovo renodo simile ad altri già in precedenza definiti, il programma deve anche disporre delle seguenti funzionalità:

22. Salvataggio di un renodo esistente in una reclasse.
23. (23.a) Riconoscimento delle reclasse salvate in precedenza adatte al jnodo allo studio, loro proposizione all'utente e (23.b) creazione automatica del renodo a partire dalla reclasse e dal jnodo.

5. STATO DELL'ARTE E LAVORO SVOLTO

Quello che è stato molto sinteticamente delineato nel paragrafo precedente è il programma ideale, ovvero il programma che è capace di risolvere sostanzialmente tutti i problemi in modo automatico o manuale (ovvero con l'assistenza dell'utente). Per ragioni di brevità la descrizione non è esaustiva, ma dà un'idea della vastità del compito. Negli ultimi anni la ricerca compiuta si è in particolare focalizzata su alcuni aspetti, quelli più innovativi, mentre altri problemi non sono ancora stati toccati, anche se allo stato attuale sono relativamente poche le difficoltà concettuali ancora da affrontare ([4]): in pratica, come si vedrà tra breve, il lavoro di maggior complessità è stato già fatto.

Nel progetto ideale delineato in precedenza le difficoltà maggiori sono nei seguenti punti: 3, 4, 5, 13, 14, 15. Si tratta infatti di problemi che sono oggi alla frontiera, e per i quali non sono descritti approcci generali: su di essi si tornerà in seguito.

I punti 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21 sono tipici dei CAD 3D ed esistono, ad oggi, programmi in grado di gestirli in modo efficiente.

I punti 11 e 12 non presentano complessità insolubili a patto di poter gestire di fatto un compilatore interno al software in oggetto (o sviluppato internamente, o usando soluzioni già pronte come VBA. La prima soluzione è preferibile poiché si possono implementare comandi di estrema facilità d'uso e che non richiedono la conoscenza di alcun linguaggio di programmazione da parte dell'utente: chi scrive ha optato per questa strada nello scrivere CSE, cfr. fig. 2).

I punti 21 e 22 sono stati parzialmente affrontati da programmi per il disegno di carpenteria metallica o da programmi di CAD parametrico e non comportano, almeno relativamente al problema puramente geometrico, particolari problemi.

Al momento la ricerca ha portato a risolvere i seguenti punti:

3: il programma è in grado di compiere il passo in modo totalmente automatico. Di fatto è l'utente che decide come dividere in membrature il suo modello mediante la specificazione di alcuni semplici codici denominati "segno di connessione". Se un beam ha uno svincolo ha sempre un segno di connessione in corrispondenza; i truss hanno sempre segni di connessione agli estremi; i beam con segni di connessione (ma non end release) sono interrotti da un punto di vista fisico (membrature slave) ma non interrotti da un punto di vista statico. I segni di connessione e le informazioni FEM sono sufficienti a risolvere il problema.

4: il problema è stato risolto mediante la definizione di una opportuna struttura di dati (detta Toponodo) che identifica le caratteristiche del jnodo, nonché mediante una opportuna ed articolata catalogazione dei possibili tipi di unione tra membrature diverse. La preclassificazione dei jnodi è fondamentale al fine di identificare le proprietà tipiche dei collegamenti. Sono in particolare state individuate, mediante lo studio analitico dei jnodi, queste categorie di jnodo tra quelle possibili: *jnodi gerarchici*, nei quali una membratura è ininterrotta e le altre si montano sulla prima, e poi eventualmente a terra; *jnodi centrali*, nei quali tutte le membrature risultano interrotte e unite ad uno o più tramite centrali, eventualmente collegati a terra;

jnodi cuspidali, nei quali due o più membrature risultano ininterrotte e terminanti nel jnodo: tali jnodi sono riducibili sempre a gerarchici e indicano un difetto di informazione; *jnodi tangenti* in cui due o più membrature passano ininterrotte nel jnodo: si tratta di collegamenti eccentrici; *jnodi semplici*, in cui una membratura è collegata “a terra”.

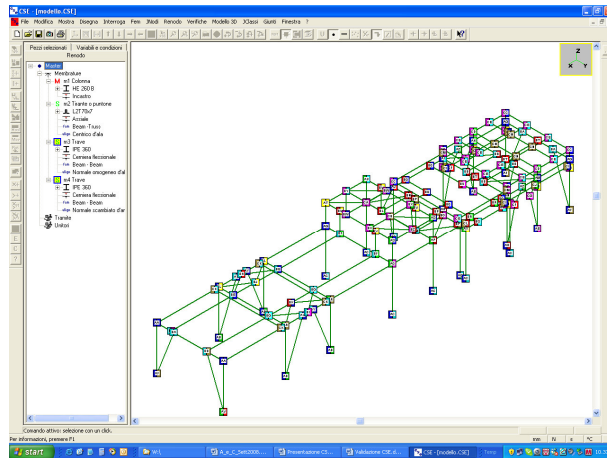


Fig. 1- Riconoscimento di jnodi eguali in una struttura semplice, nell’interfaccia di CSE. Ciascun jnodo potrà poi essere lavorato, come con un Lego® per diventare un renodo ed essere verificato in modo automatico. Alcuni componenti, più delicati, potranno essere verificati a parte con modelli fem creati in automatico. Saldature e bullonature saranno verificate in modo automatico.

5: il problema è stato risolto mediante la introduzione e lo studio dei Toponodi e mediante algoritmi che fanno uso di trasformazioni ortogonali: il programma è in grado di riconoscere i jnodi eguali in strutture spaziali marcando quelli identici e ovviamente scartando i nodi non corrispondenti a jnodi (perche interni a membrature e quindi utili solo a fini fem).

11 e 12: il problema è stato risolto mediante la creazione di un compilatore interno e di una interfaccia specificamente pensata per lavorare sui renodi. E’ da notare che l’uso di queste funzionalità è limitato al caso in cui qualche verifica sia omessa dagli algoritmi automatici, o non pienamente soddisfacente agli occhi dell’analista.

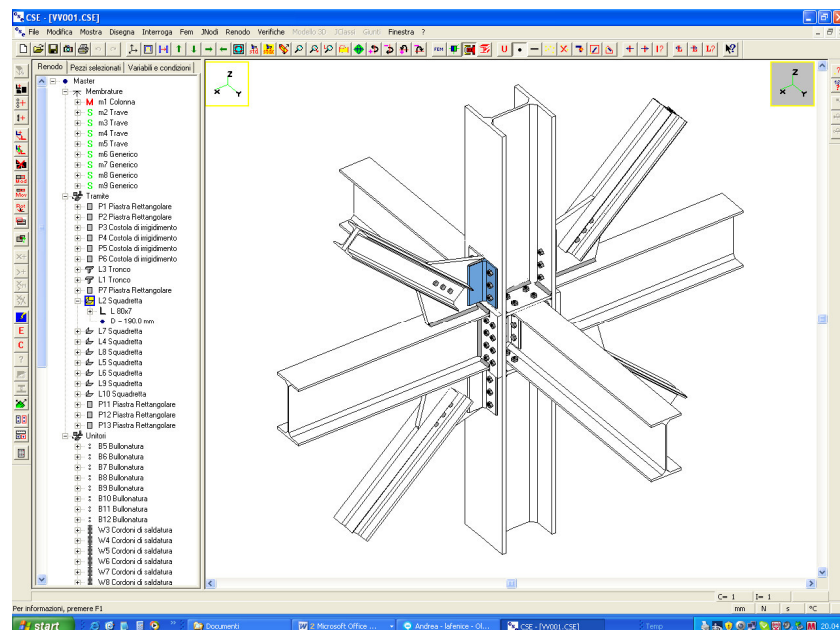


Fig. 2 - Esempio di collegamenti misti saldati e bullonati ottenuti per composizione libera dei componenti in CSE (tramite ed unitori). La verifica di un simile (re)nodo è svolta in modo automatico

13: si tratta di gran lunga del problema più complesso segnatamente per la parte che riguarda il calcolo automatico delle sollecitazioni afferenti a ciascun unitore a partire dalla scena, ovvero solo a partire dal posizionamento dei componenti e sulla base delle informazioni logiche in merito alle unioni. Questo specifico punto (13.f, 13.h e 14.b), ovvero il calcolo delle sollecitazioni sugli unitori a partire dalla scena (e dalle sollecitazioni FEM delle membrature, ovviamente) è stato un problema molto arduo: la sua risoluzione, ottenuta nel corso del 2008, rappresenta il maggior risultato degli ultimi tre anni di ricerca e ha aperto la strada alla soluzione del problema complessivo, poiché gli sforzi sugli unitori sono l'input per la verifica dei componenti. Il modello messo a punto consente di calcolare le sollecitazioni sugli unitori tenendone in conto la posizione spaziale, la connettività, la tipologia e la rigidezza. Ogni momento parassita o di trasporto è correttamente tenuto in conto.

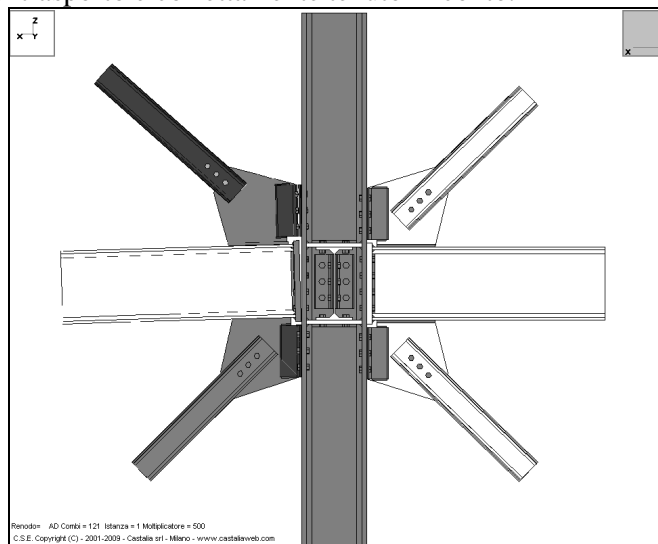


Fig. 3- Resa della deformata amplificata (500 volte) in una combinazione di verifica generica

Di questo punto 13 sono stati al momento affrontati e risolti i punti: 13.a, 13.b, 13.d per le piastre e per la verifica delle sezioni nette, 13.e, 13.f, 13.g, 13.h. I punti 13.c e 13.d per componenti generici non sono ancora stati affrontati: di questi il 13.c è di soluzione a portata di mano (essendo ormai noti i tagli dei bulloni), mentre il 13.d (verifica dei tramite generici e delle membrature con le lavorazioni) è di maggior complessità data la generalità del problema in specie per quanto riguarda i tramite, che sono pezzi 3D non afferenti ad alcuna teoria se non a quelle generali. Per le piastre, sia in campo membranale che flessionale, il problema è stato già risolto creando in automatico specifici modelli fem autoequilibrati che tengano conto di tutte le sollecitazioni afferenti dagli unitori alla piastra (fig. 4). A breve il metodo sarà esteso ai componenti più complessi (tronchi di profilato, squadrette, ecc.), sempre via modelli fem locali.

14: il punto 14 è stato risolto in analogia al 13, ovvero mediante lo stesso tipo di modello numerico 3d del renodo.

15: non è che un caso particolare dei precedenti.

Dato che CSE aveva come principale obiettivo risolvere una ampia classe di problemi, ma specificamente i punti 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15 (che ad eccezione del 3 non erano assolutamente affrontati da altri software a quanto consta), si sono fatte *ab initio* delle scelte che danno a CSE un sottoinsieme delle caratteristiche del programma ideale.

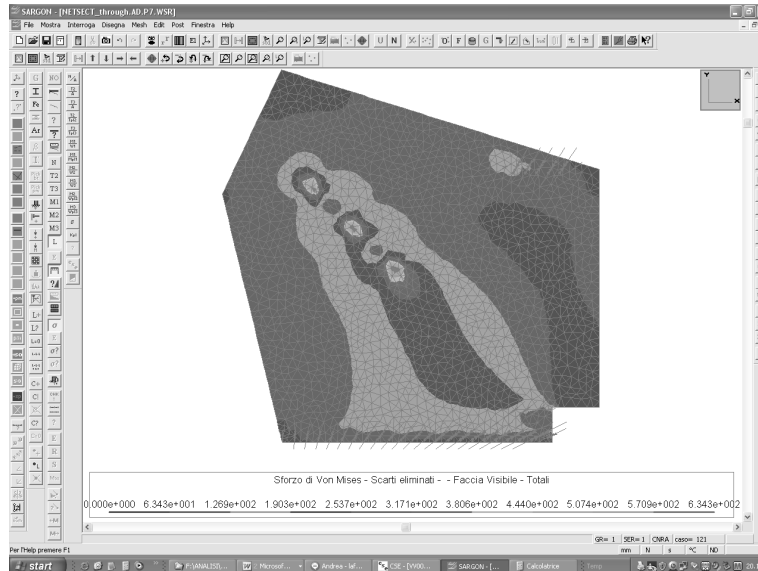


Fig. 4- Modello fem di piastra generato automaticamente dal programma CSE per la verifica dettagliata di un componente (sforzi di Von Mises, MPa, in Sargon®). Le azioni applicate sono globalmente autoequilibrate, si intuisce l'impronta dei bulloni ed il tiro della diagonale. Il passo di mesh è scelto dall'utente. Lungo la linea in basso si possono scorgere le azioni trasferite dai cordoni di saldatura.

In pratica le seguenti caratteristiche del programma ideale sono già state affrontate e risolte in CSE:

- 1a, 2a, 2b, 2c, 2e, 3, 4, 5, 6, 7, 8a, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, 17b, ad eccezione di 13c e 13d, da completare con i tramite generici.

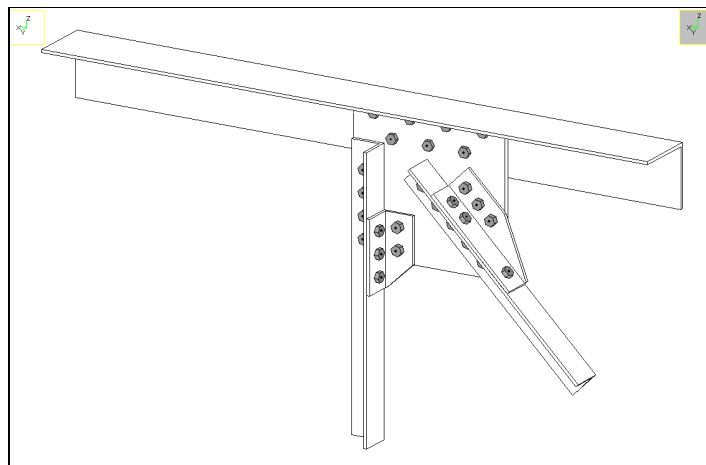


Fig. 5 – Versatilità del posizionamento libero....

Non sono ancora stati affrontati, per ragioni di tempo, ma alcuni lo saranno si ritiene a breve, i seguenti punti: 2d, 8b, 13c, 13d (componenti generici), 17a, 18, 19, 20, 21, 22, 23. Di questi pongono particolari problemi solo il 13d, in specie per quanto riguarda la verifica dei tramite. Gli altri problemi sono tutti essenzialmente di soluzione nota, sebbene ovviamente comportino lavori di programmazione non trascurabili. Sono anche plausibili interfacciamenti con software esistenti.

In pratica il programma ad oggi è in grado di calcolare le bullonature e le saldature a cordoni d'angolo in modo totalmente automatico, su renodi composti da un numero generico di membrature affluenti, inclinate e lavorate come si vuole, consentendo il posizionamento libero di

bullonature e saldature, nonché dei tramite. Il renodo può essere definito con ampia generalità, posizionando i componenti dove si vuole. Vengono eseguite tutte le verifiche principali.

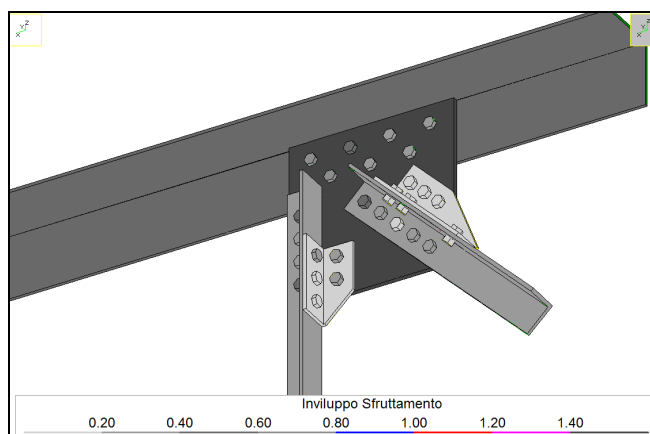


Fig. 7- ...e verifica automatica

Per i giunti flangiati e le piastre a terra è previsto un calcolo di “bullonature con contrasto” in cui bulloni tesi e contrasto compresso portano il carico applicato. Il contrasto ha legge costitutiva lineare o nonlineare, ma sempre no-tension.

6. PROSPETTIVE DEL LAVORO

Se il lavoro sin qui compiuto da chi scrive non ha ancora risolto tutti i problemi, segnatamente quelli relativi ad alcune verifiche dei tramite, la disponibilità di uno strumento affidabile in grado di calcolare le sollecitazioni afferenti agli unitori in modo automatico, per situazioni totalmente generiche di configurazione, semplifica enormemente il lavoro di verifica e di calcolo dei collegamenti. Non sono note oggi al mondo altre applicazioni in grado di compiere questo passo. E' infatti noto a chiunque lo abbia fatto almeno una volta in vita sua, che la parte più fastidiosa e tale da generare errori, è proprio quella in cui si deve passare dalle sollecitazioni delle membrature, note o per definizione (se elastiche o plastiche), o da un calcolo FEM, alle sollecitazioni che sollecitano *quel* layout di bulloni o di cordoni. Tale passaggio generalmente non è univoco ovvero non bastano mere considerazioni di equilibrio, in sé a volte di fastidiosa valutazione a mano, per ottenere le sollecitazioni affluenti alle singole unioni. La verifica del layout di bulloni o di cordoni, nota la sollecitazione afferente su di esso, è invece relativamente semplice, e comunque esprimibile in forma chiusa o mediante ben noti algoritmi diretti o iterativi. Ciò che non è esprimibile facilmente, in generale, è proprio la sollecitazione sull'unitore a partire dalle sollecitazioni delle membrature.

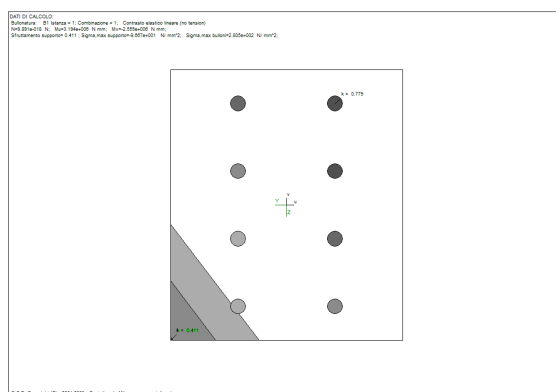


Fig. 6- mappa degli sforzi normali su contrasto (piastra di collegamento flangiato)

La ricerca ha consentito di mettere a punto un *modello generale* molto efficiente che consente di fare questo calcolo in modo automatico, tenendo conto delle rigidzze degli unitori e della loro posizione: vengono così ad essere calcolati anche gli sforzi parassiti come la flessione sui gambi, generalmente forfettizzati o trascurati dalle procedure di calcolo a mano. Tale importante risultato è la chiave di volta per tutti i risultati successivi, poiché consente di conoscere le sollecitazioni afferenti a ciascun componente.

La forza del modello consiste nel fatto che si basa su proprietà del tutto generali: la posizione dei componenti, il dimensionamento delle unioni -e quindi il numero il diametro e la posizione dei bulloni-, il numero la posizione e la sezione di gola dei cordoni-, la intensità delle azioni applicate ed il loro punto di applicazione. Non vengono mai usate istruzioni *ad hoc*, che sfruttino informazioni che non siano desumibili dalla scena e dalle impostazioni date al calcolo. Ciò consente di trattare virtualmente qualsiasi tipo di renodo che viene ad essere calcolato in modo totalmente automatico.

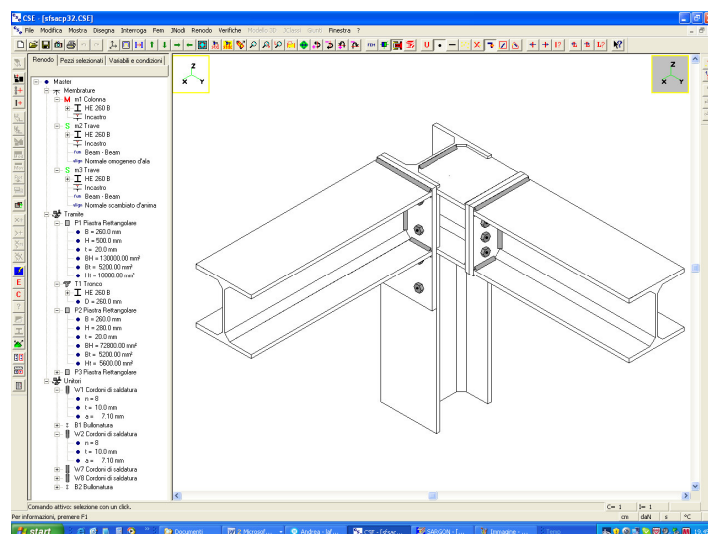


Fig. 7 – Esempio di renodo nell’interfaccia del programma CSE ([3]). A sinistra la lista dei componenti con le loro dimensioni e proprietà. A destra l’immagine del renodo correntemente allo studio. Si ringraziano gli Ingg. Gustin e Piccoli, Milano.

7. CONCLUSIONI

Da quanto sinteticamente spiegato si conclude che è oggi disponibile una procedura di calcolo automatico in grado di calcolare i collegamenti delle strutture in acciaio con posizionamento libero. La strategia computazionale messa in atto è capace di risolvere, in modo automatico, la gran parte dei complicati problemi che ha di fronte l’analista nella delicata fase della verifica e della progettazione dei collegamenti.

8. RIFERIMENTI

- [1] C.S.E. storia del progetto (www.castaliaweb.com/ita/p/CSE/history.asp)
- [2] C.S.E. Book informativo (www.castaliaweb.com/ita/p/cse/BookCse.pdf)
- [3] Comunicazione dell’Ing. Paolo Gustin e dell’Ing. Piccoli a Castalia srl
- [4] C.S.E. scheda tecnica (www.castaliaweb.com/ita/p/CSE/scheda.asp)