

# **Utilizzazione del Metodo degli Elementi Finiti nella Valutazione degli SCF nei Nodi Tubolari**

Evaluation of the SCF for Tubular Connection with Finite Element Method

Marco Flavio Origgi – [m.origgi@dcrprogetti.it](mailto:m.origgi@dcrprogetti.it) - DCRPROGETTI s.r.l. - Milano

## **ABSTRACT**

This paper illustrates the procedure utilized to evaluate the Stress Concentration Factor (SCF) using the FEM approach, applied to tubular joints of an Offshore Platform. This “real case” follows the recommendation of the international Codes.

## **SOMMARIO**

Viene illustrata un'applicazione reale mediante l'utilizzo di elementi finiti per la valutazione dello Stress Concentration Factor (SCF) in nodi aventi problemi di fatica di una piattaforma per l'estrazione petrolifera al largo della Libia. La procedura segue quanto suggerito dalle normative internazionali sulla fatica.

## **INTRODUZIONE**

Con la presente memoria si vuole portare a conoscenza di una applicazione pratica del metodo degli elementi finiti utilizzato per la valutazione dei Stress Concentration Factor (SCF) di alcuni nodi tubolari della Piattaforma offshore di Sabratha per l'estrazione di gas al largo della Libia.

## **LA STRUTTURA**

La Piattaforma offshore di Sabratha collocata al largo della costa della Libia è stata progettata interamente in Italia dal gruppo ENI (Tecnomare e Saipem) per conto di AGIP, ed è una delle più grandi piattaforme del mediterraneo. Le piattaforme offshore sono in genere costituite da due grossi sottosistemi strutturali: il Jacket e il Deck, tali sottosistemi presentano delle caratteristiche peculiari molto differenti. Il Jacket è praticamente una torre tralicciata che ha una funzione di supporto sia del Deck che dei pozzi di estrazione. Il Deck, invece, ospita tutte le attrezzature e i macchinari necessari alle operazioni di estrazione e prima lavorazione del prodotto prima dell'invio a terra, mediante pipeline. La Piattaforma di Sabratha ha le seguenti caratteristiche: Jacket costituito da una struttura a traliccio, del peso di circa 26000 ton ed altezza 205.0 m, il fondale marino si trova ad una profondità di 188 m; le fondazioni del Jacket sono su pali battuti. Il Deck, collocato sulla sommità del Jacket, ha un peso di circa 11000 ton comprensivo della zona alloggi. La figura 1 illustra la Piattaforma completamente installata ed operativa, mentre la figura 2 mostra il Jacket poco prima della fase di lancio.

Dato l'enorme peso del Jacket l'installazione è avvenuta mediante lancio dalla bettolina. La figura 3 illustra sommariamente le fasi del lancio. Durante questa fase della vita della struttura alcuni nodi del telaio della via di lancio risultavano essere caricati con carichi molto elevati (6410 ton), quindi la necessità di tubi di grande diametro e spessore elevato (120 mm). I nodi per ovviare problemi dovuti al punzonamento erano forniti di anelli interni di irrigidimento,

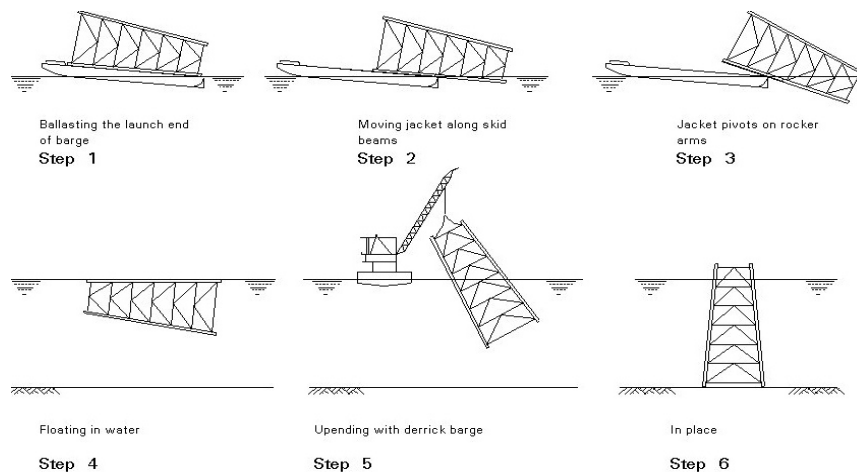
anche loro di spessore elevato (70/80 mm). Dal punto di vista della fatica ciò ha provocato la nascita di alcuni problemi.



*Fig. 1 - Piattaforma di Sabratha.*



*Fig. 2 - Jacket sulla bettolina.*



*Fig. 3 - Descrizione delle fasi di lancio.*

## **IL PROBLEMA**

Per alcuni nodi, tra l'altro di geometria complessa vedi figura 4, la vita a fatica risultava essere molto vicina al limite previsto dalle specifiche di progetto. La procedura standard utilizzata per il calcolo della vita a fatica dei nodi della Piattaforma segue quella prevista dalle norme API RP 2A WSD "Recommended Practice for planning, Designing and Costructing Fixed Offshore Platforms". La valutazione dello SCF per connessioni tubolari come consigliato dalle Normative americane (API) è basata su prove sperimentali e relative formule in forma chiusa. Tale procedura si basa sulla valutazione degli SCF mediante equazioni parametriche che sono state sviluppate da diversi Autori (Kuang, Smedley, Woodsworth, Efthymiou, etc.) tarandole sui nodi definiti come "simple joint", vedi fig. 5. Tali equazioni oltre che dipendere dalla geometria del nodo dipendono anche da come sono applicati i carichi.



Fig. 4 – Multi-planar Joints

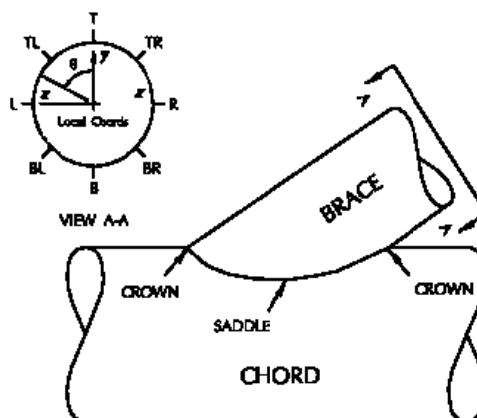


Fig. 5 - Simple Joint

Infatti i nodi tubolari vengono classificati a seconda dello stress path in maniera differente (Y, K, T, KT etc.) la figura 6 ne illustra alcune tipologie. La valutazione degli SCF risulta essere troppo conservativa quando il nodo in esame non soddisfa, per complessità geometrica e percorso dei carichi, le ipotesi iniziali del simple joint. Questo risulta essere vero per i nodi definiti “multi-planar” ed in particolare per i nodi rinforzati con ring di grosso spessore.

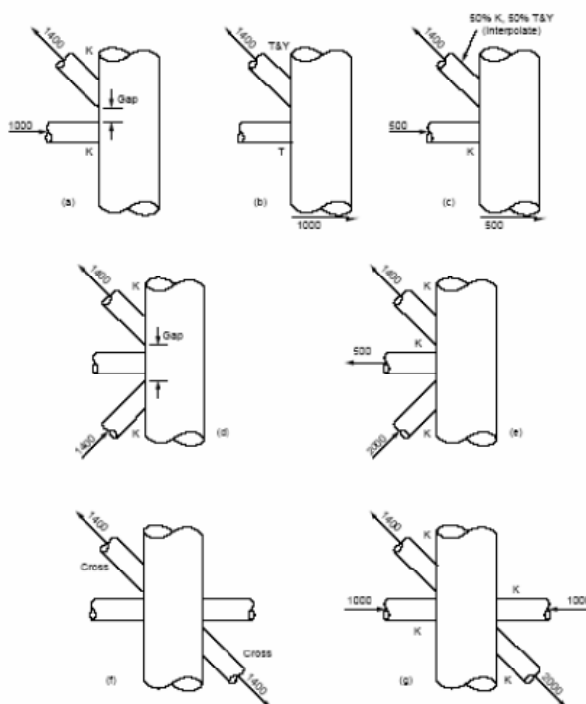


Fig. 6 – Tipologie di nodo classificate dalle Norme.

Si è così deciso di eseguire per alcuni nodi, uno studio ad elementi finiti per una valutazione più corretta dello Stress Concentration Factor, in accordo a quanto esposto nelle Normative Norvegesi, DNV RP-C203 “Fatigue Strength Analysis of Offshore Steel Structure” (ott. 2001).

## SCF PREMESSE

La geometria del dettaglio del nodo tubolare, in corrispondenza di zone molto rigide ed in prossimità della saldatura, causa un variazione sensibile dello stato tensionale. La distribuzione degli sforzi in prossimità delle saldature può essere immaginata come indicato nella figura 7a.

Queste variazioni di stress vengono chiamate “geometric stress”. La variazione del “geometric stress” o “hot spot stress” viene utilizzato come base per il calcolo della fatica. Lo hot spot stress è definito come lo sforzo massimo estrapolato al piede della saldatura, tale estrapolazione è valutata in maniera tale che gli effetti della geometria globale, della saldatura non sia compresa nello sforzo geometrico. Quindi il primo punto dell’estrapolazione deve essere posizionato al di fuori dell’area di influenza evidenziata nella figura 7b.

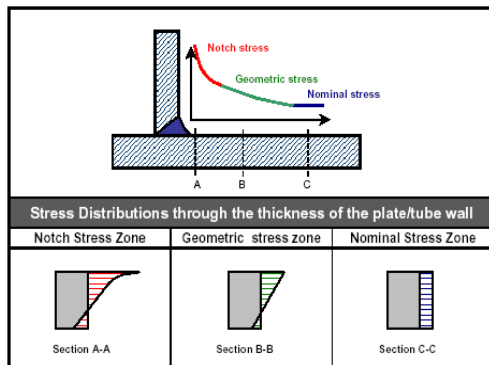


Fig. 7a – Andamento dello stato tensionale stress in prossimità della saldatura.

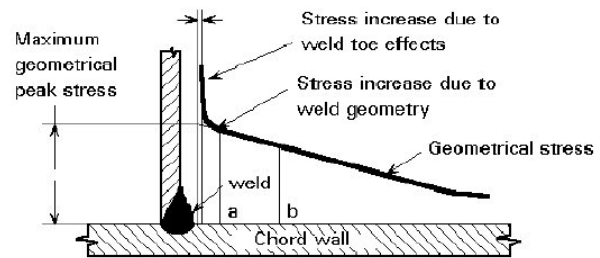


Fig. 7b – Estrapolazione hot spot stress

Per i nodi tubolari lo hot spot stress è valutato mediante interpolazione lineare fra lo stress valutato nella zona dello geometric stress e il piede della saldatura, come definito nella figura 8.

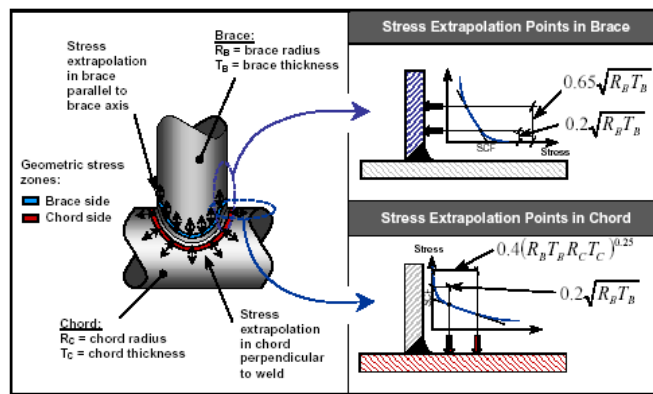


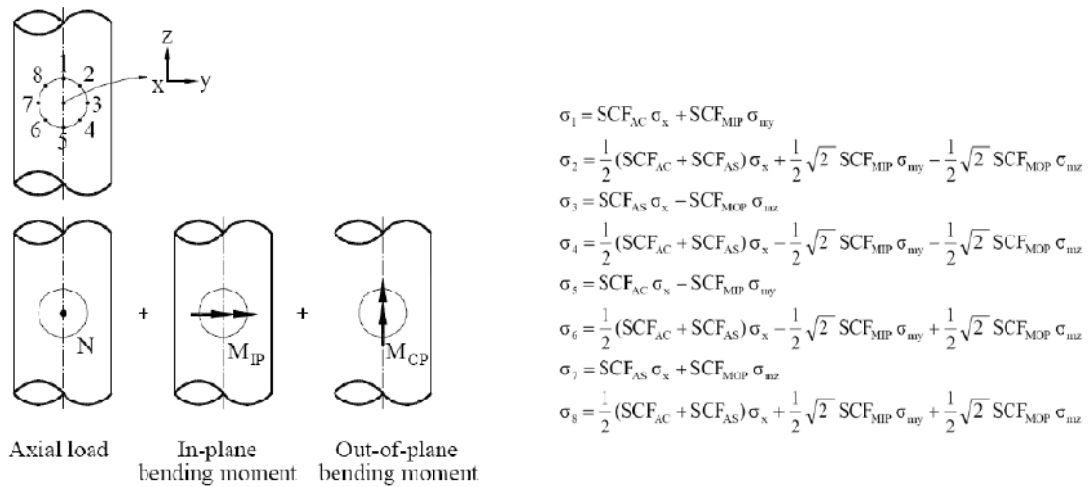
Fig. 8 – Geometric stress nei giunti tubolari.

La vita a fatica di un nodo o dettaglio strutturale dipende essenzialmente dallo “stress range”, per i nodi tubolari lo stress range è valutato come lo “nominal stress” moltiplicato per SCF

$$\sigma = \sigma_{nom} \times SCF$$

Da qui l’importanza della valutazione corretta dell’ SCF. In particolare, per i nodi tubolari il valore dello SCF varia al variare della posizione ove viene valutata la vita a fatica, e del

carico applicato . Nella tabella qui sotto sono evidenziate le formule utilizzate per calcolare lo stress range nelle otto posizioni tipiche di un nodo (saddle, crown e posizioni intermedie).



Tab. 1 - Valutazione degli stress range nelle otto posizioni di un nodo tubolare.

### IL MODELLO AD ELEMENTI FINITI

Le analisi effettuate sono state eseguite con il software ANSYS, utilizzando elementi “brick” a 20 nodi (SOLID95) che hanno ottime caratteristiche per modellare le superfici curve in quanto l’elemento può tollerare anche forme irregolari senza avere un’eccessiva perdita di accuratezza nei risultati. Al fine di valutare la “mesh ideale” avente le dimensioni “giuste” degli elementi compatibilmente con i tempi di elaborazione, sono state eseguite delle analisi di sensibilità con mesh di dimensioni diverse (100mm, 50mm e 50mm+20mm nella zona di interesse). Le analisi hanno dimostrato che la differenza percentuale fra le varie mesh era meno del 1%. Si così scelto di optare per la dimensione massima di 100 mm.

La porzione del nodo modellato era sufficiente grande da poter eliminare gli effetti di estremità/vincolo. Tutte le parti costituenti il nodo (can,brace, ring) sono state modellate con le loro reali dimensioni e/o spessori. Per ogni nodo esaminato, in totale quattro, si è creato un modello specifico con differenti condizioni di carico in modo da simulare le diverse classificazioni del nodo. In questa memoria vengono riportati i risultati del nodo 207. La figura 9 mostra la mesh del nodo in esame.

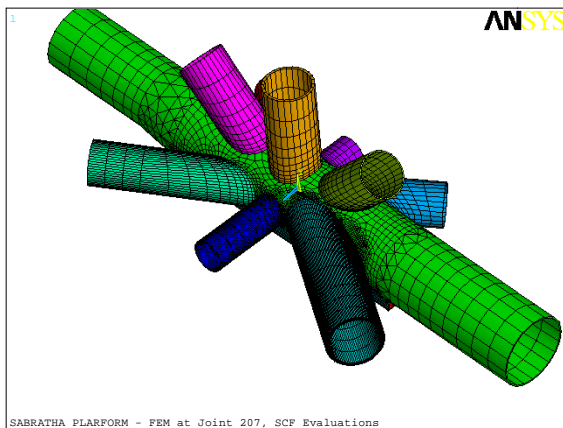


Fig. 9 - Nodo 207 mesh e dettaglio con evidenziato ring interni.

La tabella 2 mostra le caratteristiche geometriche delle parti costituenti il nodo. Come si vede gli spessori sono notevoli (can 120mm, ring interni 80mm).

| Joint and launch runner component<br>Joint 207 | Diameter<br>[mm]       | Thickness<br>[mm] |
|------------------------------------------------|------------------------|-------------------|
| Can (C1)                                       | 2250                   | 120               |
| Brace 2015 -                                   | 1500                   | 75                |
| Brace 1525 (S4)                                | 1400                   | 30                |
| Brace 1523 (S3)                                | 1400                   | 40                |
| Brace 2033 (S2)                                | 1000                   | 25                |
| Brace 2084 (S7)                                | 1300                   | 60                |
| Brace 1085 (S5)                                | 1700                   | 85                |
| Brace 2007 (S1)                                | 1000                   | 25                |
| Brace 2086 (S8)                                | 1300                   | 30                |
| Brace 1091 (S6)                                | 1300                   | 30                |
| Ring                                           | Web rings depth<br>600 | 80                |
| Transversal plate                              |                        | 50                |
| Longitudinal plate                             |                        | 40                |
| Side plate                                     |                        | 50                |
| Base plate                                     |                        | 50                |

Tab. 2 – Caratteristiche geometriche parti del nodo

### LA METODOLOGIA SEGUITA

Per i dettagli saldati lo hot spot stress è uguale allo SCF. Come calcolare lo hot spot stress? Lo hot spot stress può essere valutato come lo sforzo normale alla saldatura oppure come il numericamente più elevato sforzo principale ( $\sigma_1$  oppure  $\sigma_3$ ). Questo secondo approccio è quello che si utilizzato nella valutazione degli SCF, come raccomandato dalle norme DNV

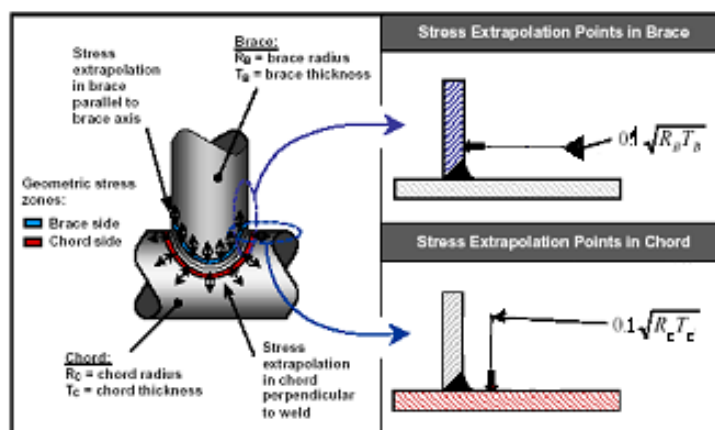


Fig. 10 - Posizioni linee di lettura nei nodi tubolari.

ed evidenziato nella figura 10. Quindi il modello ad elementi finiti è stato creato con delle opportune linee di lettura posizionate sia sul chord che sul brace, vedi fig. 11 dove la freccia indica una linea di lettura.



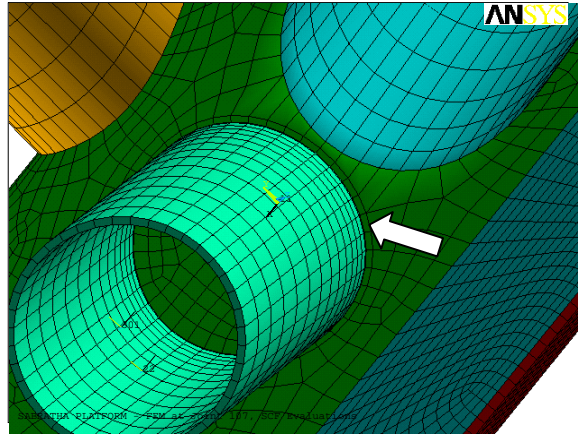
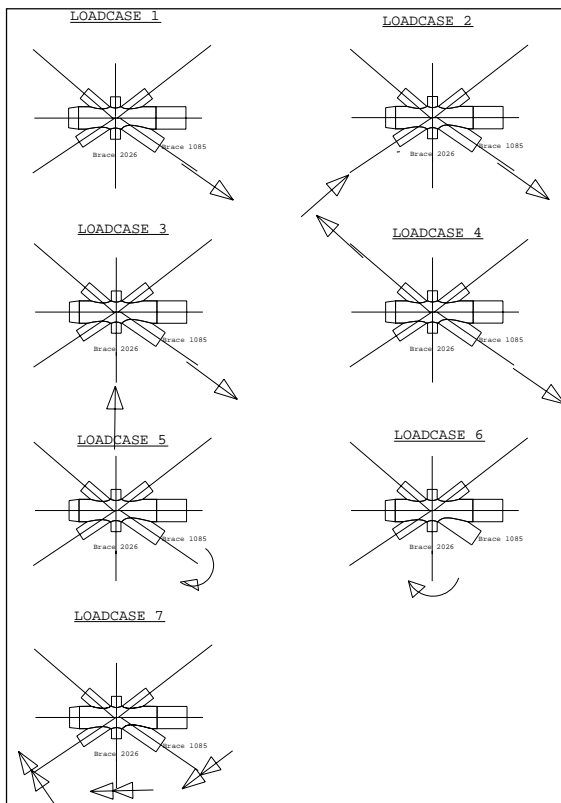


Fig. 11 - Posizione linea di lettura: lato chord.

### I CARICHI

Per il nodo 207 si sono esaminati 7 casi di carico differenti, corrispondenti a comportamenti del nodo riportati nella tabella 3 ed illustrati nella figura 12.



| Load condition | Type | Brace          |
|----------------|------|----------------|
| 1              | Y    | 1085           |
| 2              | K    | 1085 with 2084 |
| 3              | K    | 1085 with 2026 |
| 4              | X    | 1085 with 2086 |
| 5              | Mipb | 1085           |
| 6              | Mipb | 2026           |
| 7              | -    | -              |
| 8              | Mopb | 2007           |

Tab. 3 – Nodo 207 classificazione

Fig. 12 – Nodo 207 – classificazione

### I RISULTATI

I risultati delle analisi dovevano essere, successivamente utilizzati per il calcolo della vita a fatica utilizzando un programma ad elementi di travi specifico per l'offshore (SESAM™). L'utilizzo delle linee di lettura lato brace e lato chord permette di conoscere puntualmente il

valore dello SCF; il programma a travi ha bisogno del valore dello SCF negli otto punti illustrati nella tabella 1. L'analisi dei risultati ha dimostrato che i ring interni fanno variare notevolmente il valore dello SCF in corrispondenza della saddle, di conseguenza sono state ridefinite le zone "saddle" e "crown" in modo da poter dare un valore mediato dell'SCF al programma SESAM per la fase successiva di calcolo della vita a fatica. La figura 13 illustra le zone definite come crown (60°) e quelle definite come saddle (120°) e l'andamento riscontrato degli sforzi principali S1 (azzurro) S2 (viola) ed S3 (rosso) nei nodi esaminati.

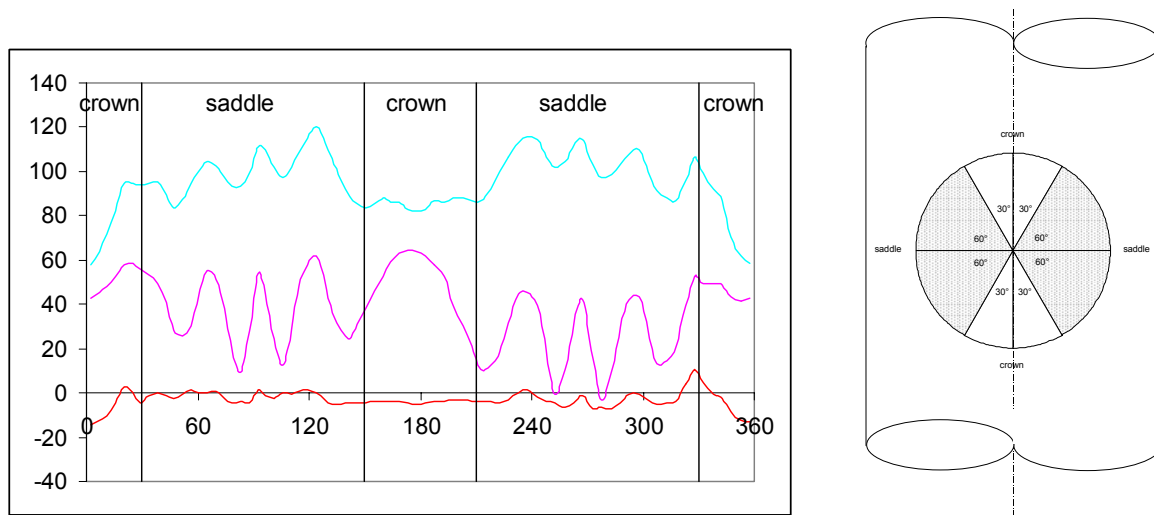


Figura 13 - Andamento sforzi principali lungo la linea di lettura e definizione delle zone Saddle e Crown.

Nelle figure successive sono riportati i risultati per due degli sette casi di carico studiati, in particolare si è riportato il load case 1 corrispondente ad un comportamento ad Y e il load case 4 corrispondente ad un comportamento a X (vedi tab. 3). Per ognuno dei due casi si è riportato il plottaggio degli stress di Von Mises e l'andamento degli sforzi principali lungo le linee di lettura sia lato brace che lato chord.

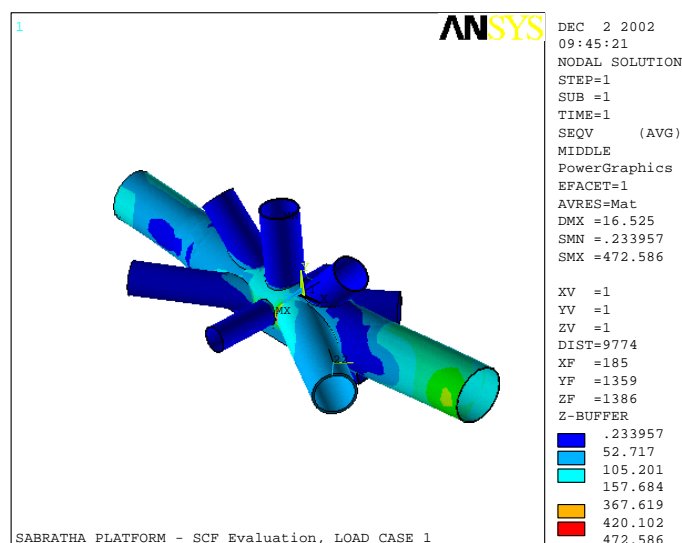


Figura 14 - Load case 1: Andamento sforzi di Von Mises nodo 207.



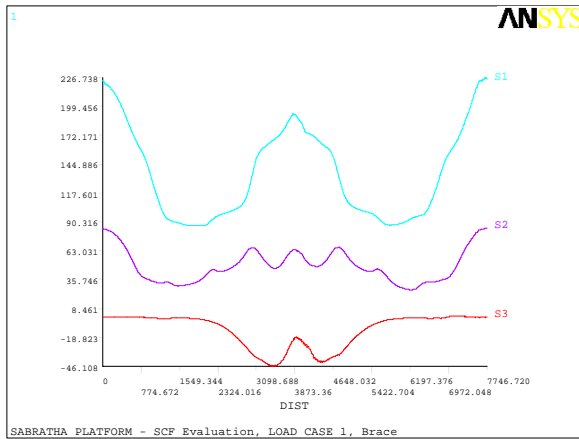


Figura 15a - Load Case 1: Sforzi principali lato brace

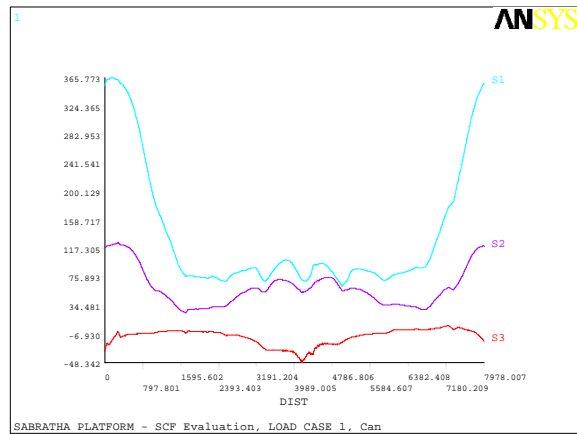


Fig. 15b - Load Case 1: Sforzi principali lato chord

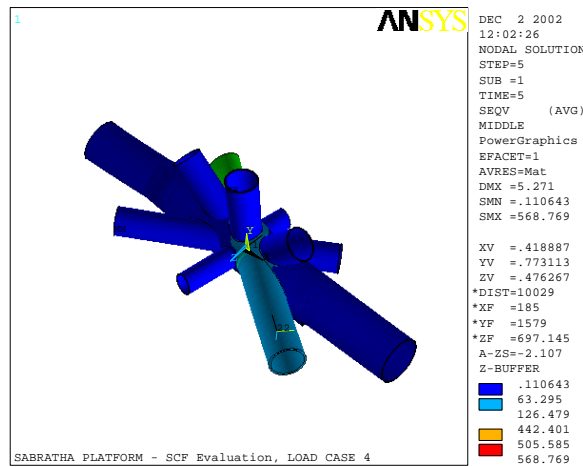


Figura 16 - Load case 2: Andamento sforzi di Von Mises nodo 207.

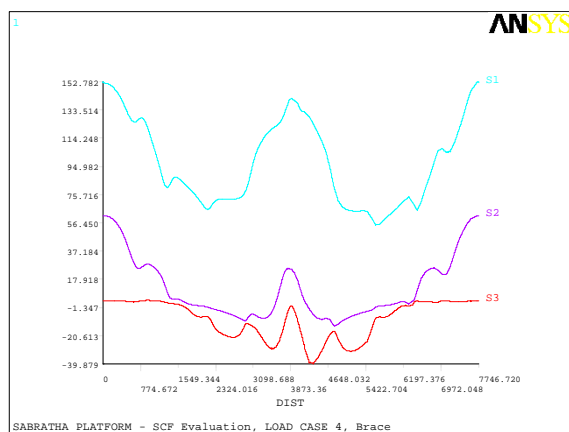


Figura 17a - Load Case 2: Sforzi principali lato brace

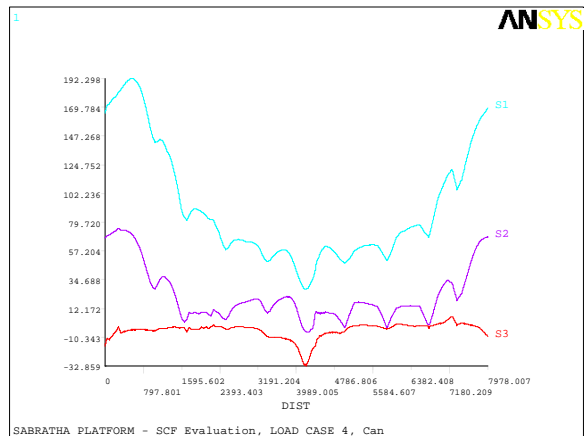


Fig. 17b - Load Case 2: Sforzi principali lato chord

La tabella 4 riassume e confronta i valori degli SCF calcolati con il metodo degli elementi finiti e quelli proposti in letteratura. In particolare i programmi ad elementi di trave utilizzati

nel campo Offshore (SESAM™, SACS™ e GTSTRUDL™) utilizzando questi ultimi risultano essere un po' più conservativi. Come si vede dalla tabella la riduzione del valore dello SCF in alcune posizioni e tipologie di nodo sono piuttosto sensibili. Il grosso della riduzione si ha in corrispondenza del crown per azioni assiale, la riduzione è sempre superiore al 40% lato chord e del 80% lato brace.

Una notevole riduzione si ha anche per i casi di in plane bending (IPB) e out of plane bending (OPB) con riduzioni minime del 28% e massime del 47%.

| Finite Element Analysis |      |            |           |       |       |            |           |       |       |
|-------------------------|------|------------|-----------|-------|-------|------------|-----------|-------|-------|
| Joint 207               |      | CHORD SIDE |           |       |       | BRACE SIDE |           |       |       |
| Type                    | Elem | Ax crown   | Ax saddle | IPB   | OPB   | Ax crown   | Ax saddle | IPB   | OPB   |
| YT                      | 1085 | 3.652      | 1.000     | 1.000 |       | 2.257      | 1.000     | 2.232 |       |
|                         | 2033 |            |           | 1.000 |       |            |           | 1.749 |       |
| X                       | 1085 | 1.912      | 1.000     |       |       | 1.523      | 1.000     |       |       |
|                         | 2033 |            |           |       |       |            |           |       |       |
| K                       | 1085 | 1.666      | 1.000     |       | 1.010 | 1.924      | 1.000     |       | 1.000 |
|                         | 2033 | 1.000      | 1.000     |       | 1.000 | 1.659      | 1.491     |       | 1.566 |

| SESAM Data |      |            |           |       |       |            |           |       |       |
|------------|------|------------|-----------|-------|-------|------------|-----------|-------|-------|
| Joint 207  |      | CHORD SIDE |           |       |       | BRACE SIDE |           |       |       |
| Type       | Elem | Ax crown   | Ax saddle | IPB   | OPB   | Ax crown   | Ax saddle | IPB   | OPB   |
| YT         | 1085 | 5.908      | 1.085     | 1.284 |       | 4.373      | 0.788     | 3.298 |       |
|            | 2033 |            |           | 1.256 |       |            |           | 2.029 |       |
| X          | 1085 | 2.711      | 0.724     |       |       | 3.069      | 0.269     |       |       |
|            | 2033 |            |           |       |       |            |           |       |       |
| K          | 1085 | 3.135      | 0.758     |       | 1.140 | 2.853      | 0.994     |       | 1.066 |
|            | 2033 | 3.129      | 1.165     |       | 1.457 | 3.366      | 1.916     |       | 2.148 |

Tabella 4 - Comparazione SCF.

## CONCLUSIONI

L'utilizzo del metodo degli elementi finiti nella valutazione dello SCF risulta essere sicuramente vantaggioso rispetto il metodo tradizionale che prevede l'utilizzo dei valori ricavati da prove sperimentali. Il modello analitico deve essere una fedele riproduzione della realtà senza semplificazioni, l'utilizzo di elementi finiti 3D di ordine elevato permette di ottenere risultati buoni anche nel caso di geometrie complesse.

L'impegno computazionale e di modellazione è notevole e potrebbe essere ridotto in particolare quello di modellazione utilizzando modellatori 3D avanzati.

Naturalmente lo sforzo risulta essere giustificato in casi particolari in cui l'approccio tradizionale porterebbe a sovradimensionare la struttura.