Pontoni Modulari SOGEMI

Verifica ed Analisi
Giunti Strutturali

Project SPSD_118
Doc.: 118-001 Dicembre 2017_Rev. 0

INDICE

1. INTRODUZIONE 3
2. TIPO DI ANALISI 5
2.1. ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI (FEA) 5
2.2. FASE 1 – GRIGLIATO MONODIMENSIONALE 5
2.2.1. Modello ed Ipotesi di Lavoro 5
2.2.2. Reazioni Vincolari 7
2.3. FASE 2 – MODELLO SHELL 9
2.3.1. Modello ed Ipotesi di Lavoro 9
2.4. ESTRAPOLAZIONE E VALIDAZIONE DEI RISULTATI 12
3. ANALISI DEI RISULTATI 14
3.1. STATI TENSIONALI REGISTRATI 14
3.2. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI 16
3.3. CARICO SUL PERNO FILETTATO 17
4. CONCLUSIONI 18

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

1. INTRODUZIONE

Il presente documento, riassume i principali risultati dell'analisi strutturale relativa alla valutazione di una soluzione di giunzione meccanica di una coppia di pontoni.

La verifica è stata condotta su richiesta del Cliente, Sogemi srl, ed a fronte di una proposta tecnica sviluppata dallo stesso; le figure seguenti riportano i dettagli geometrici dei pontoni e della proposta geometrico-strutturale del sistema di attacco.

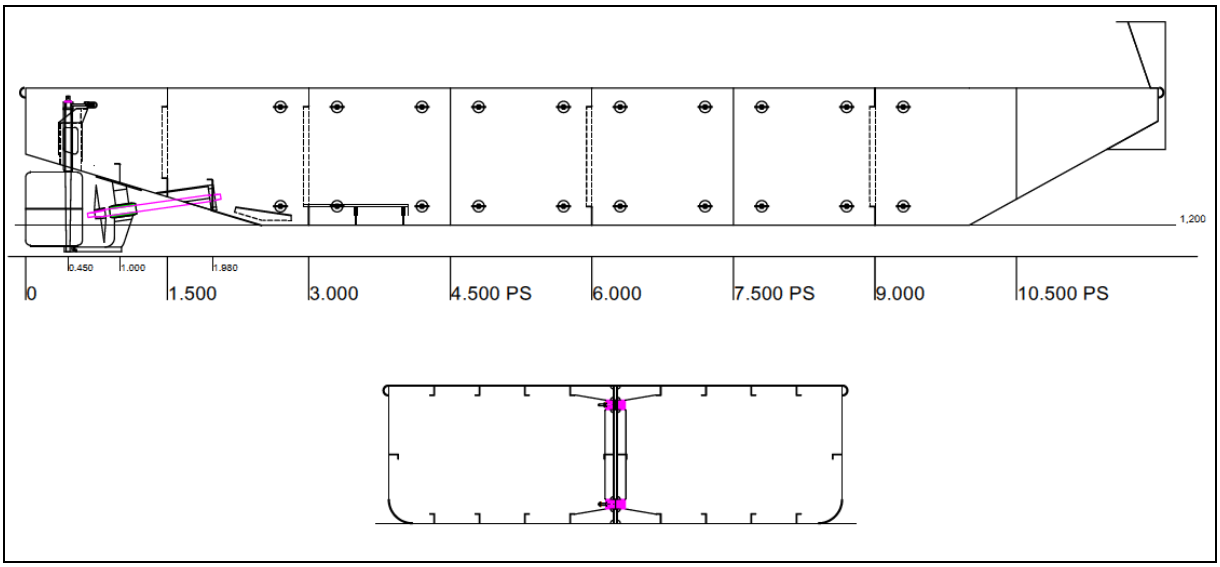

Figura 1: Geometria della coppia di pontoni

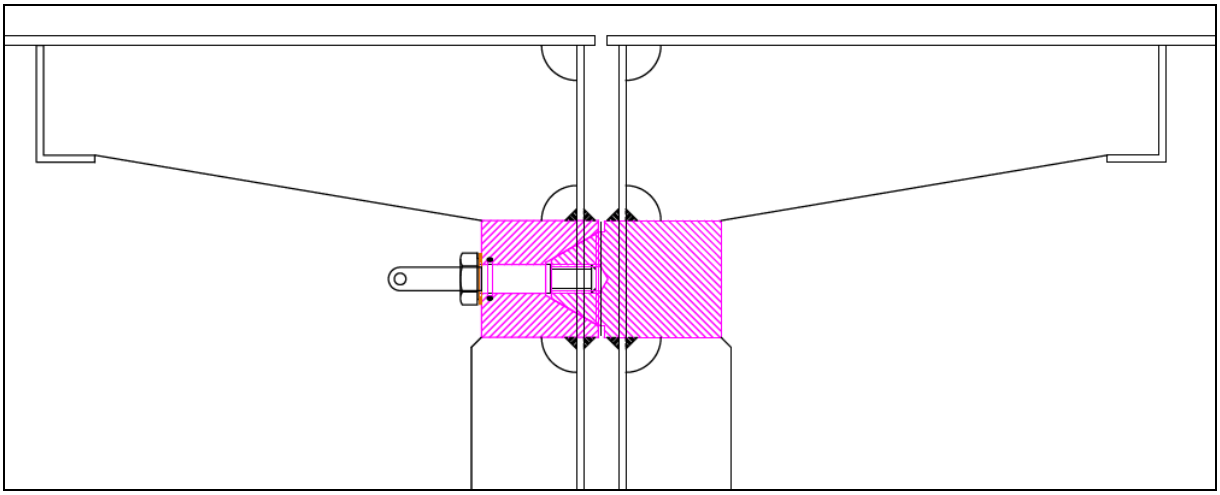

Figura 2: Dettaglio della giunzione

In pratica il singolo giunto di accoppiamento (Figura 2), consiste in una coppia di pezzi cilindrici in acciaio lavorati al tornio e ciascuno integrato strutturalmente nel relativo pontone, di cui l'uno si inserisce nell'altro tramite un'apposita sede troncoconica; il sistema viene bloccato tramite idoneo perno filettato e relativa chiavetta di serraggio. Tale vincolo annulla gli spostamenti relativi tra i due pezzi cilindrici e di conseguenza impedisce gli spostamenti relativi tra i pontoni.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

A completamento dell'introduzione ed in assenza di riferimenti grafici dimensionali da allegare alla presente relazione, si elencano le caratteristiche strutturali dei principali elementi oggetto dell'analisi:

- Materiale di costruzione dei pontoni: Acciaio Elevata Resistenza AH35;
- Spessore lamiere del ponte: 8mm;
- Spessore lamiere del fondo e fianchi: 6mm;
- Correnti Longitudinali di ponte, fondo e fianchi: profili L 100x50x6;
- Ossature rinforzate (bagli, madieri e costole): profili L 200x60x6, con squadre di testa 300x300x6 flangiate 60x6;
- Profili adiacenti il perno-giunto: barre piatte 90x10, con squadre di testa (geometria come in Figura 2), spessore 10mm.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

2. TIPO DI ANALISI

2.1. ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI (FEA)

Per l'analisi in questione si è optato per una modellazione agli elementi finiti tramite due differenti tipologie di modellazione: una prima monodimensionale, cioè tramite l'uso solo di elementi "BEAM" monodimensionali, caratterizzati da relativa geometria di sezione e materiale, ed una successiva bidimensionale, caratterizzata dall'uso elementi di tipo "SHELL", caratterizzati da relativo materiale e spessore.

Il software utilizzato è il seguente:

- STRAUS 7 FEA PROGRAM, Versione 2.4.5, rilasciata da Strand 7 Pty Ltd.

2.2. FASE 1 – GRIGLIATO MONODIMENSIONALE

2.2.1. Modello ed Ipotesi di Lavoro

La prima fase di lavoro è consistita nella modellazione 3d del singolo modulo pontone schematizzandone la struttura portante tramite una serie di elementi beam caratterizzati da relativa geometria di sezione e materiale (acciaio strutturale).

L'obiettivo di questa prima fase è stato quello, una volta ipotizzata una possibile configurazione di carico critico, di valutare le associate reazioni vincolari risultanti, che sarebbero state poi utilizzate per la verifica di dettaglio della proposta di attacco.

Una volta modellata la struttura, la configurazione di carico di calcolo è definita da uno o più carichi agenti e da uno o più vicoli esterni.

In condizione di equilibrio, il peso del singolo pontone è equilibrato dalla spinta idrostatica; in tale condizione, attraverso gli attacchi **non si trasmette alcun carico.**

I carichi attraverso gli attacchi si trasmettono nel momento in cui interviene un fattore che squilibra il sistema della coppia di pontoni, come lo spostamento di un carico interno al sistema e/o l'aggiunta di un carico su uno dei pontoni.

In assenza di configurazioni di carico specifiche, si può ipotizzare un generico peso concentrato, posizionato in una generica posizione che possa maggiormente disturbare la condizione di equilibrio iniziale: tale peso può rappresentare l'imbarco di un escavatore sul sistema di pontoni, il posizionamento di un oggetto/carico durante le operazioni, etc.

Si è optato per un carico concentrato di 10t, aumentato del 20% per tenere conto di un qualsiasi effetto dinamico istantaneo.

In Figura 3 è riportata la configurazione di carico prescelta.

L'ipotesi forzata che si è assunta, e che aumenta il margine di sicurezza intrinseco all'analisi, è che il carico, e di conseguenza lo squilibrio del sistema, avvenga in forma istantanea, e che il pontone scarico si comporti come vincolo rigido rispetto al pontone caricato; si trascurano, quindi, gli effetti dinamici della coppia di pontoni che reagirà invece assumendo una nuova configurazione di equilibrio idrostatico, limitando al solo istante iniziale del carico il picco delle tensioni che si manifestano a livello locale strutturale ed in particolare nella zona in corrispondenza dei giunti.

Ai fini del calcolo, si è quindi modellato il solo pontone soggetto al carico istantaneo, ed in corrispondenza dei giunti di accoppiamento col secondo pontone, i nodi del modello FE sono stati vincolati rigidamente in tutti gradi di libertà.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

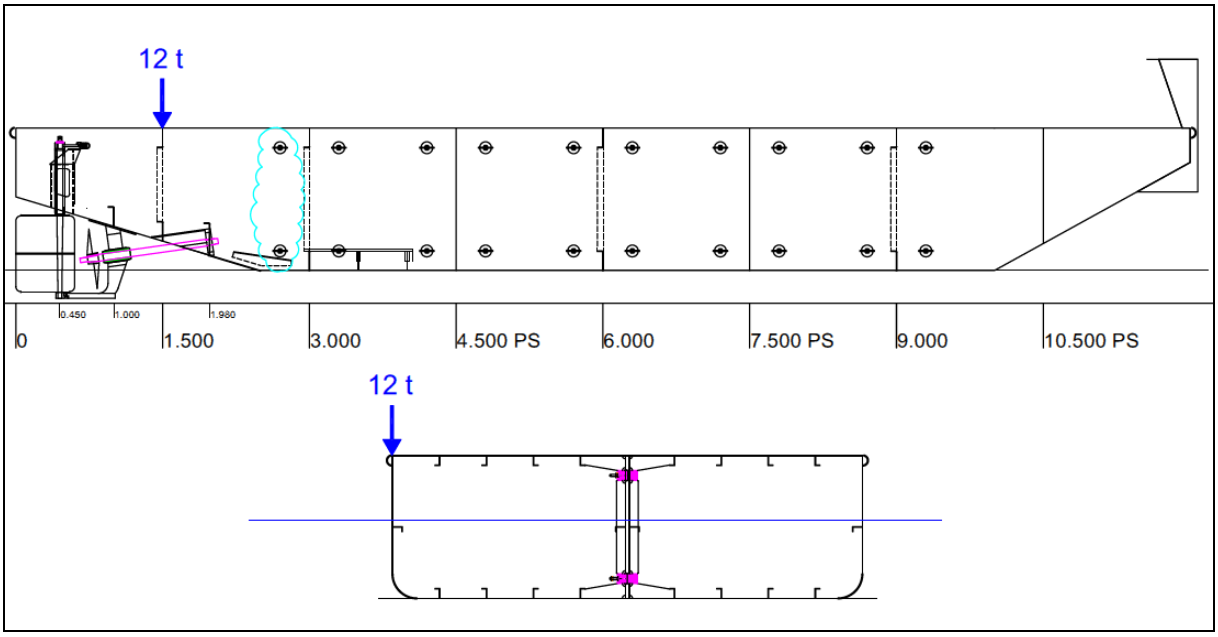

Figura 3: Configurazione di carico investigata

La scelta di posizionare il carico istantaneo verso le estremità trasversali e longitudinali del sistema di pontoni è tale da massimizzare le reazioni vincolari nella coppia di giunti più vicini (evidenziati in Figura 3), proprio a causa dell'asimmetria del carico.

Si ritiene che le ipotesi sopraccitate siano sufficienti al tipo di analisi in questione.

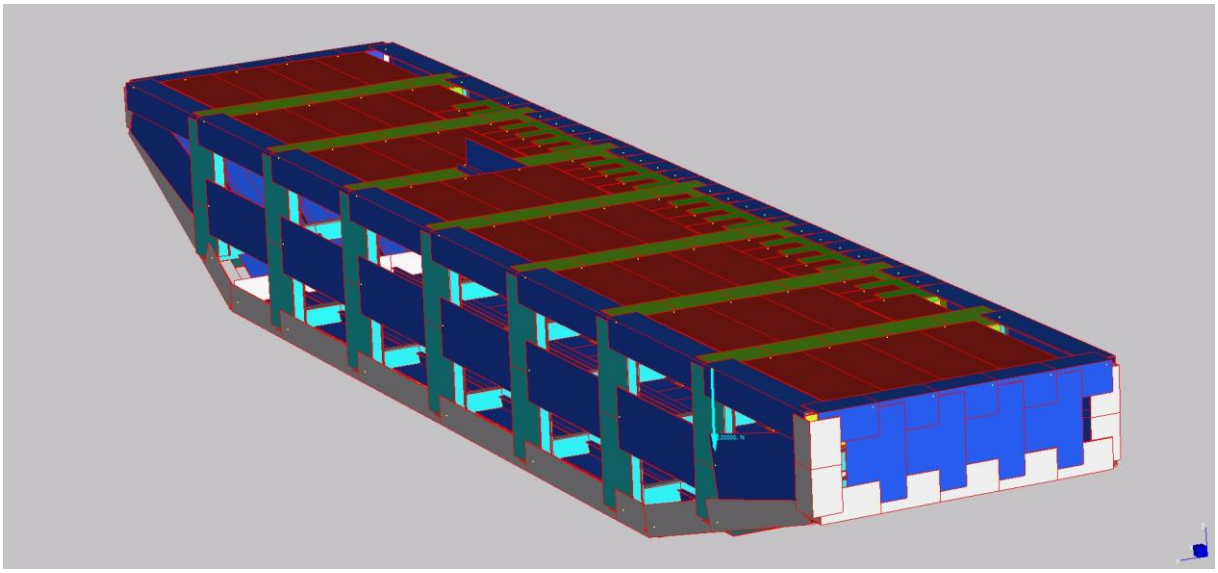

Figura 4: Modello 3d Beam e Carico

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

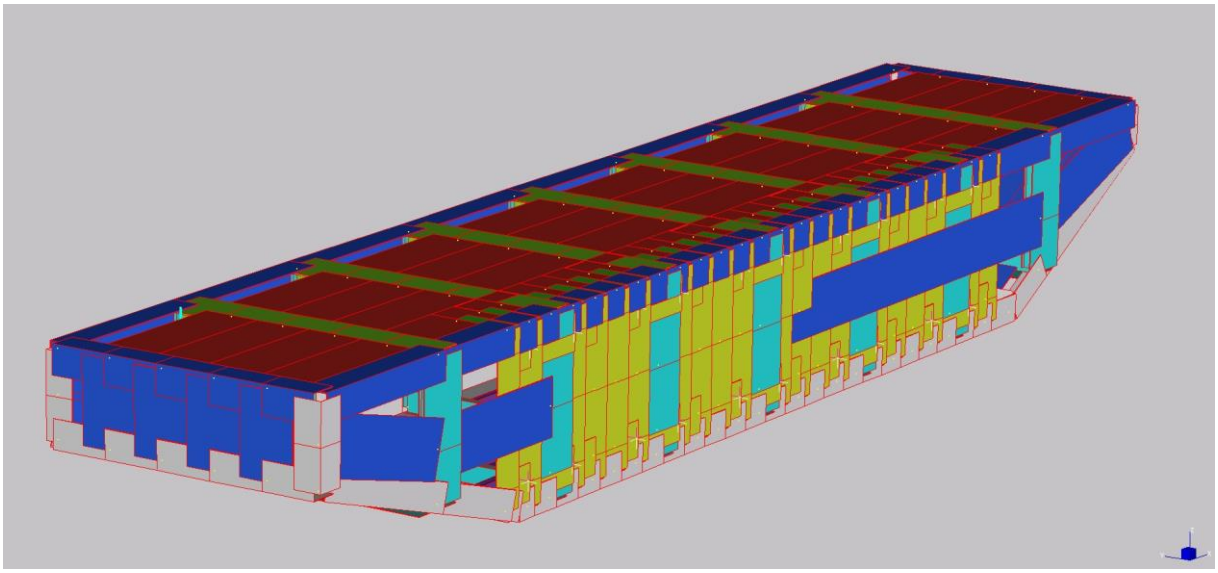

Figura 5: Modello 3d Beam e Vincoli

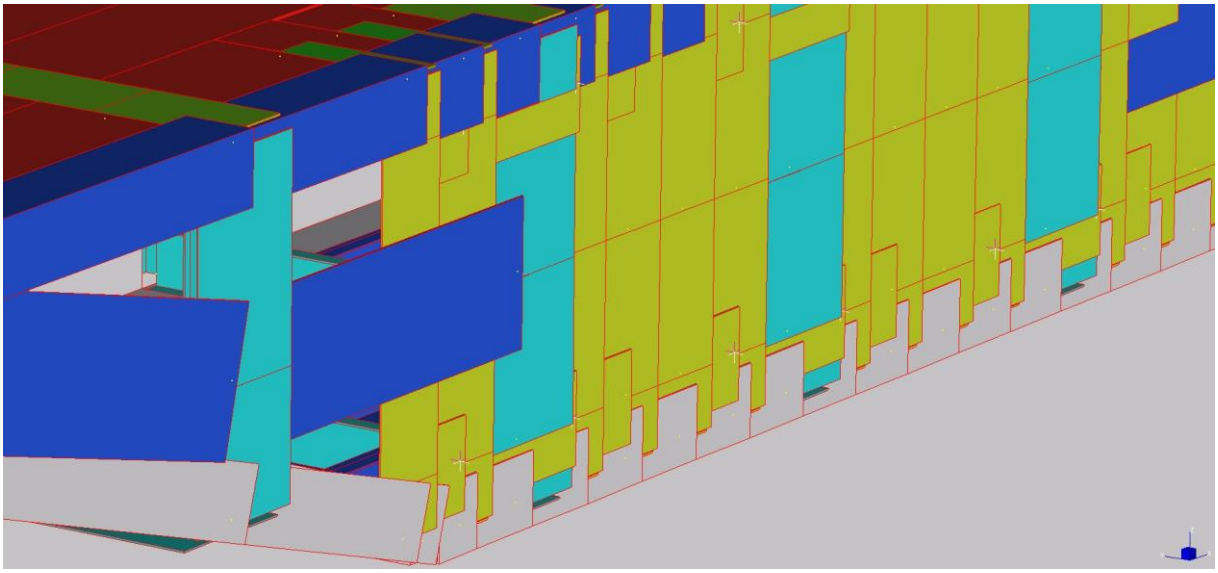

Figura 6: Modello 3d Beam e Vincoli (dettaglio)

2.2.2. Reazioni Vincolari

Il calcolo sopradescritto ha avuto l'obiettivo di definire quali siano le reazioni vincolari che si manifestano a seguito del carico prescelto.

L'immagine seguente evidenzia lo stato delle sollecitazioni risultanti attorno alla zona dei giunti (per semplicità di lettura le immagini riportano solo gli elementi strutturali adiacenti ai giunti); in particolare in Figura 7 si riporta l'andamento della risultate delle reazioni Fxyz.

Come previsto, a seguito dell'asimmetria del carico, la coppia verticale di giunti più vicina alla zona di carico è quella che maggiormente reagisce ed in essa si registra il valore maggiore delle reazioni vincolari; il valore delle singoli componenti delle reazioni vincolari sono riassunte di seguito.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

Giunto Superiore

Fx= 62618 N

Fy=-48437 N

Fz= 36723 N

Mx= 7546268 Nmm

My=12174330 Nmm

Mz= 3114313 Nmm

Giunto Inferiore

Fx= -69823 N

Fy= 46906 N

Fz= 48678 N

Mx= 8183180 Nmm

My= 13282890 Nmm

Mz= 2616916 Nmm

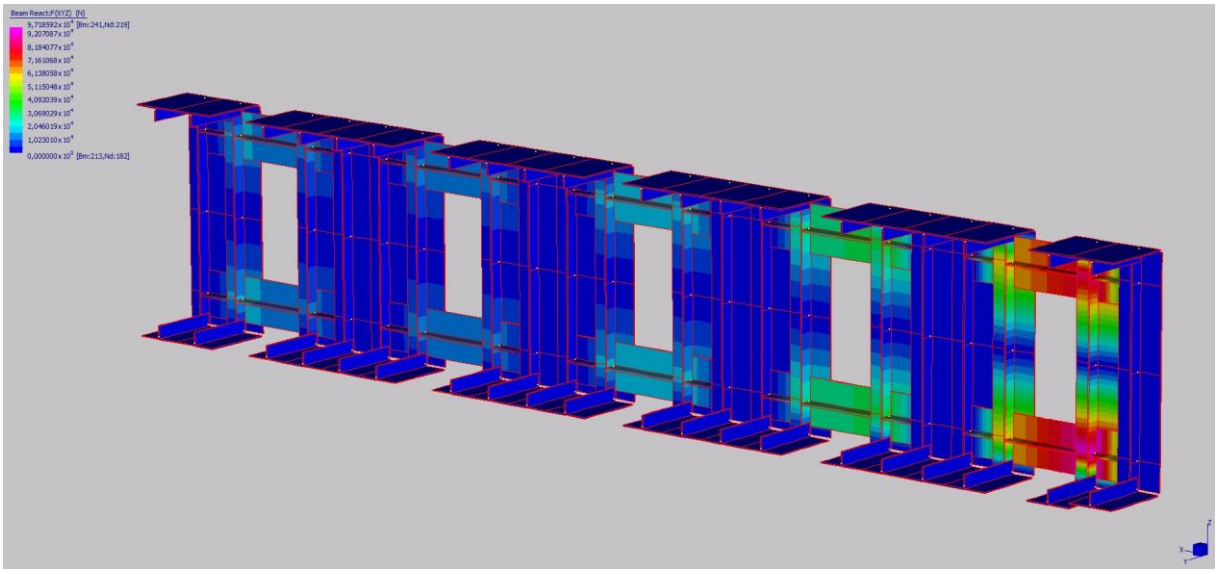

Figura 7: Andamento delle reazioni vincolari Fxyz

In particolare, si anticipa che la reazione Fy, cioè la componente lungo l'asse del giunto, sarà quella fondamentale per la validazione/scelta del tipo di collegamento filettato proposto per l'accoppiamento effettivo del giunto.

In Figura 8 si riporta l'andamento della componente Fy: correttamente la componente nel giunto superiore assume valore negativo, rispetto al sistema di riferimento del modello, stando ad indicare che la reazione è tale da mettere in trazione il collegamento filettato.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

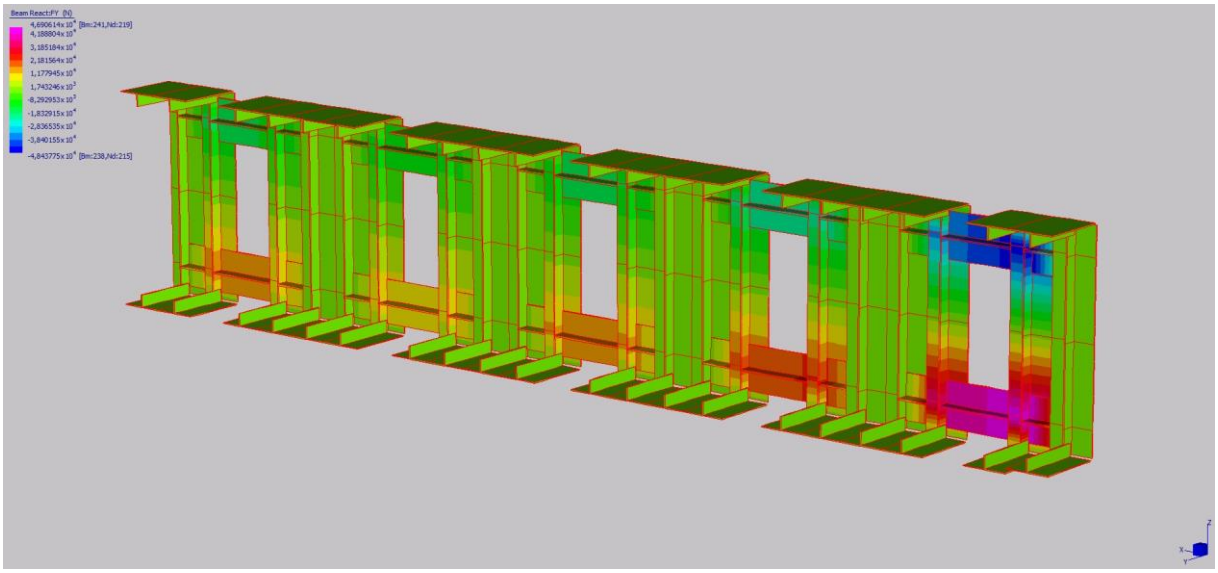

Figura 8: Andamento delle reazioni vincolari Fy

2.3. FASE 2 – MODELLO SHELL

2.3.1. Modello ed Ipotesi di Lavoro

Come anticipato, i valori delle singole reazioni vincolari ottenute al termine della Fase 1, sono stati usati come input per la verifica del modello FE dettagliato della zona adiacente ai giunti.

E' stato sviluppato un dedicato modello FE; la modellazione si è basata sull'uso di elementi "shell", cioè elementi bidimensionali caratterizzati da un materiale ed uno spessore associato. La dimensione massima degli elementi utilizzati è 50mm x 50mm.

Le figure seguenti riassumono la geometria ed i dettagli del modello sviluppato (a colori differenti degli elementi corrispondono spessori differenti).

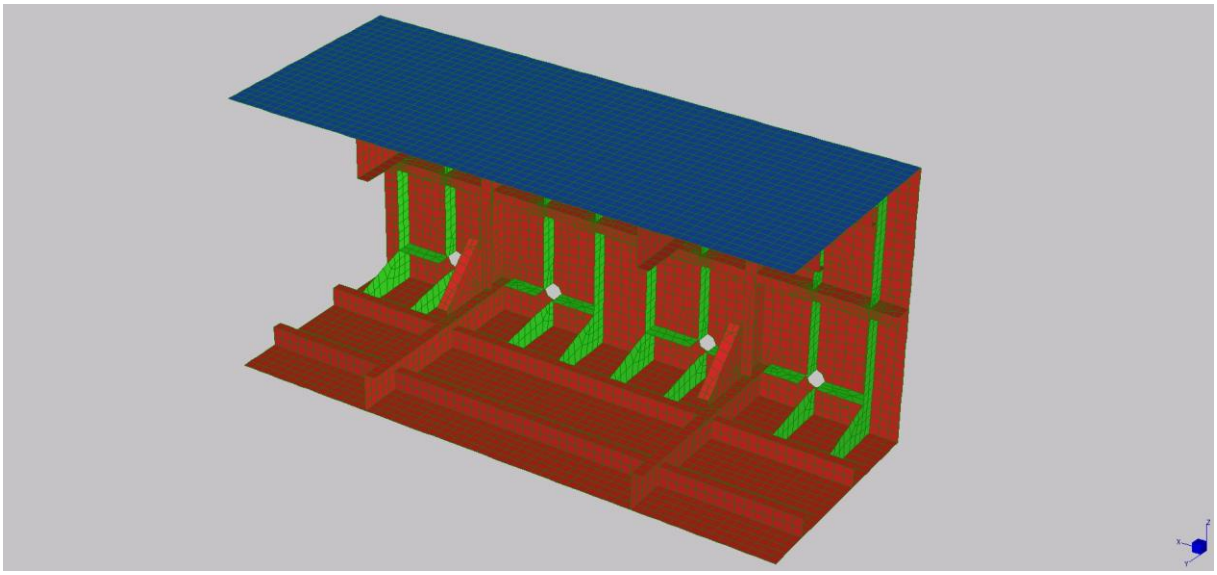

Figura 9: Modello Shell

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

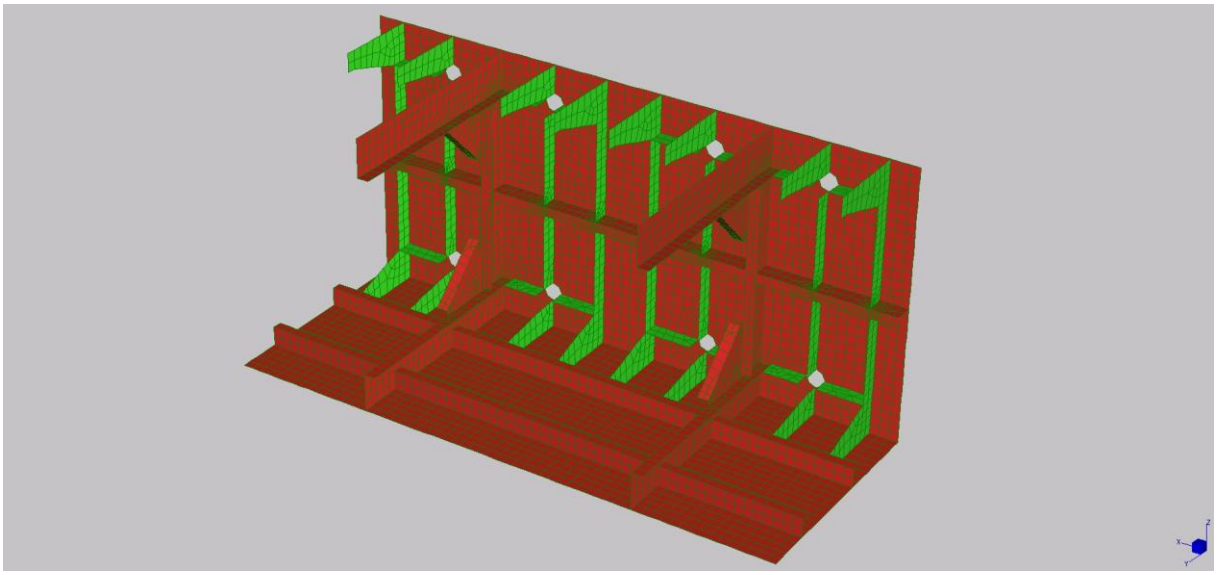

Figura 10: Modello Shell

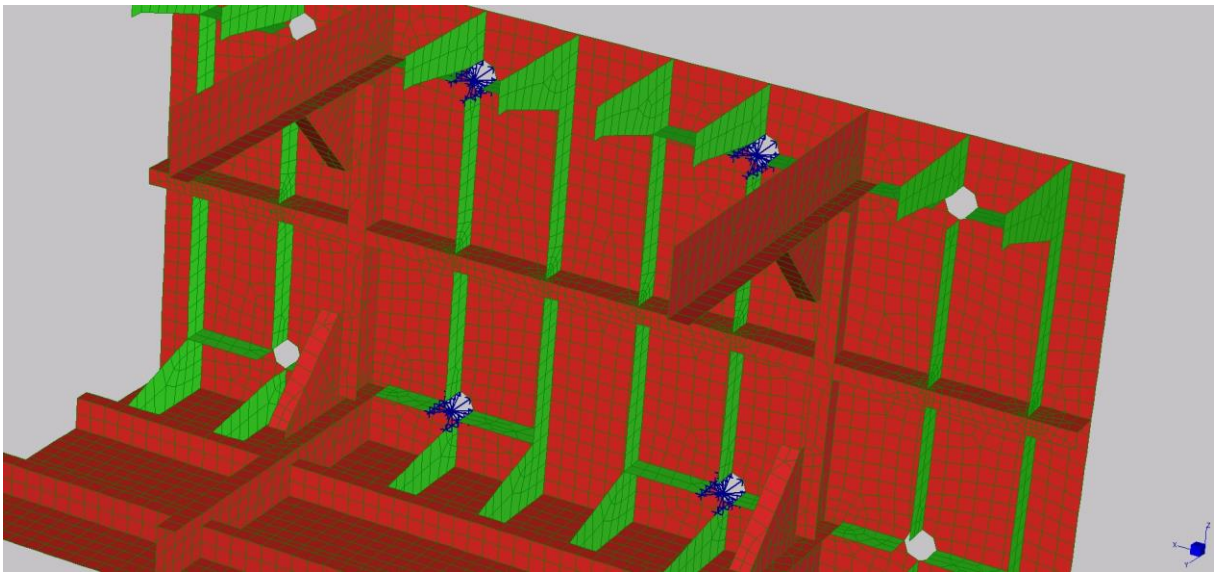

Figura 11: Modello Shell con MPL

I carichi in questione (le reazioni vincolari dedotte nella fase precedente del lavoro), sono di tipo concentrato, ed il metodo più efficace per schematizzarli è tramite l'utilizzo di elementi "Multi Point Link", elementi di rigidità infinita, il cui scopo è quello di trasferire il carico agente in un punto ad altri punti connessi.

Figura 11 e seguenti riportano il dettaglio degli elementi MPL.

A seguito di verifiche preliminari ed anche per alleggerire le dimensioni di calcolo, si è visto come fosse conservativo (ai fini del margine di sicurezza), applicare i carichi a sole due coppie successive di giunti, nell'ipotesi però che siano entrambe caricate col massimo valore delle reazioni vincolari, così come ricavate nel precedente 2.2.2; l'alternativa sarebbe stata quella di estendere il modello completo della murata del pontone ed applicare a ciascuna coppia verticale di nodi/giunti i rispettivi valori ricavati sempre nel precedente 2.2.2.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

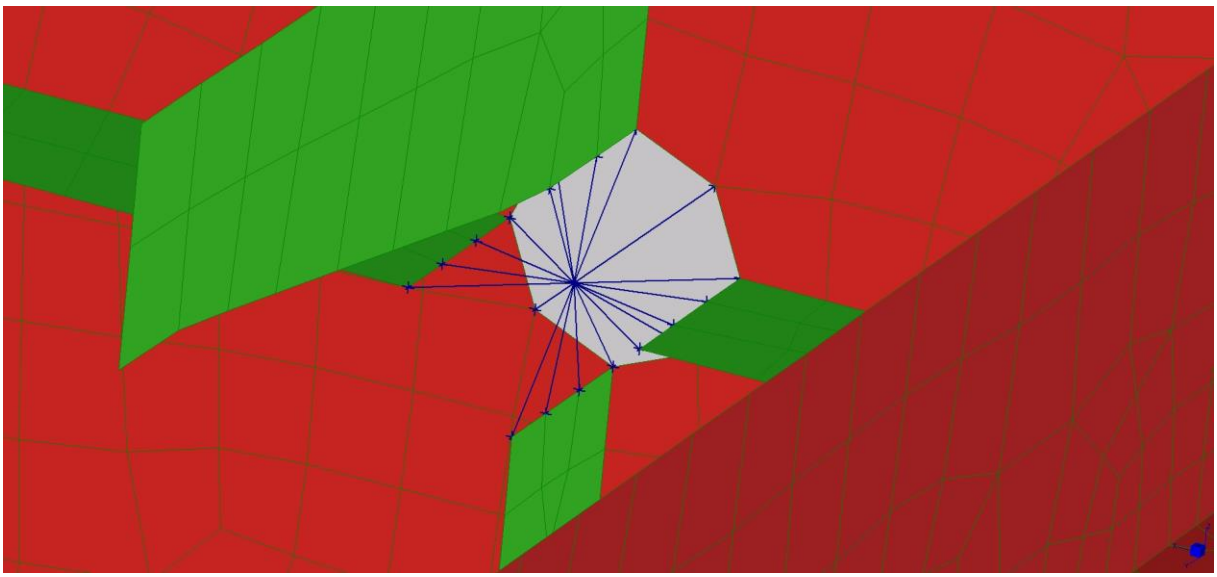

Figura 12: Dettaglio di MPL

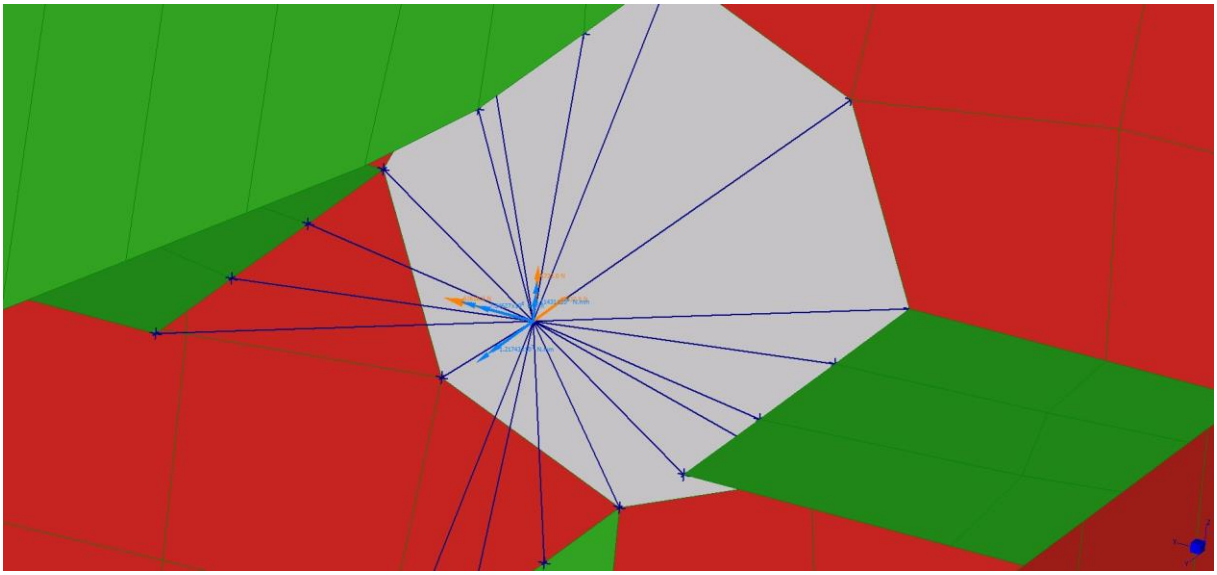

Figura 13: Dettaglio MPL del giunto superiore

Per quanto riguarda i vincoli strutturali adottati, la dimensione della parte di struttura modellata ed analizzata è sufficientemente grande rispetto all'area effettivamente caricata, da rendere trascurabili le tensioni registrate in corrispondenza nei punti di vincolo esterno.

Sono stati ipotizzati vincoli di tipo incastro perfetto (traslazioni e rotazioni bloccate); Figura 14.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

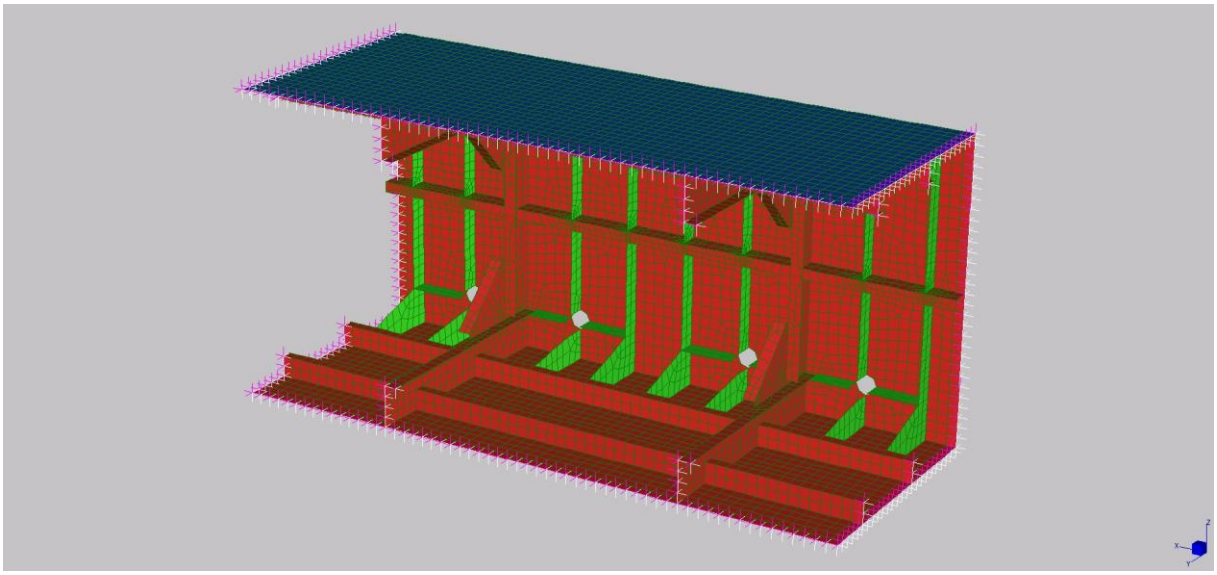

Figura 14: Vincoli Esterni

2.4. ESTRAPOLAZIONE E VALIDAZIONE DEI RISULTATI

Per l'estrapolazione e validazione dei risultati per l'analisi in oggetto, ed in assenza di normative precise per la destinazione d'uso in oggetto, ci si rifà a quanto indicato nelle **Common Structural Rules (CSR)** per quanto concerne mesh FE fitte ed in caso di tensioni localizzate; le CSR basano l'estrapolazione dei risultati su una mesh con elementi di dimensione massima 50mm x 50mm.

Si è quindi fatto riferimento a quanto riportato nelle CSR, alla sezione 11.3.1.4.21:

The stresses induced in the supporting structure are not to exceed the permissible values given below, based on the gross thickness of the structure:

Normal stress $0.67\ \sigma_{yd}$

Shear stress $0.39\ \sigma_{yd}$

Where:

σ_{yd} *specified minimum yield stress of the material, in N/mm²*

Normal stress is the sum of bending stress and axial stress with the corresponding shearing stress acting perpendicular to the normal stress.

Per acciaio elevata resistenza, AH35 (σ_{yd} =355 N/mm²), materiale di cui i pontoni sono costruiti, si ottengono i seguenti limiti di riferimento:

Tensioni Normali 237 N/mm²

Tensioni di Taglio 138 N/mm²

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

Inoltre, al fine di selezionare il nodo del singolo elemento shell da usare per l'estrapolazione e validazione dei risultati, si è fatto riferimento al criterio valido per l'estrapolazione delle tensioni di Von Mises, così come indicato nelle CSR in Appendix B-3.5.1.2:

"The von Mises stress, σ_{vm}, is to be calculated based on the membrane direct axial and shear stresses of the plate element evaluated at the element centroid. Where shell elements are used, the stresses are to be evaluated at the mid plane of the element".

Con riferimento a zone del modello FE in cui, per ragioni geometriche e di modellazione, l'elemento medio della mesh locale ha una dimensione media inferiore a 50mm x 50mm, i risultati devono essere estrapolati secondo quanto riportato in CSR in Appendix B-3.5.1.4:

"The maximum permissible stresses are based on the mesh size of 50mm x 50mm as specified in 3.2.1. Where a smaller mesh size is used, an average von Mises stress calculated over an area equal to the specified mesh size may be used to compare with the permissible stresses. The averaging is to be based only on elements with their entire boundary located within the desired area. The average stress is to be calculated based on stresses at element centroid; stress values obtained by interpolation and/or extrapolation are not to be used. Stress averaging is not to be carried across structural discontinuities and abutting structure."

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

3. ANALISI DEI RISULTATI

3.1. STATI TENSIONALI REGISTRATI

Le immagini e la tabella successiva riportano gli andamenti stati tensionali registrati nelle zone adiacenti ai giunti e, come prevedibile, si nota come gli elementi maggiormente sollecitati siano il corrente longitudinale a murata ed il fasciame attorno al giunto.

Si precisa che la discordanza tra il massimo valore che appare nelle legende delle immagini e quello riportato in tabella, è dovuto al fatto che nelle immagini appaiono, in automatico, i valori registrati nei singoli nodi di vertice degli elementi, e non nel centroide, come richiesto dalle CSR (la lettura delle tensioni nel centroide viene fatta tramite una dedicata funzione del sw di calcolo e localmente per il singolo elemento); inoltre, può capitare che il valore nodale di picco si registri in un elemento di dimensione inferiore a 50mmx50mm, e nel caso si deve ricorrere al calcolo del valore medio come descritto nel precedente 2.4.

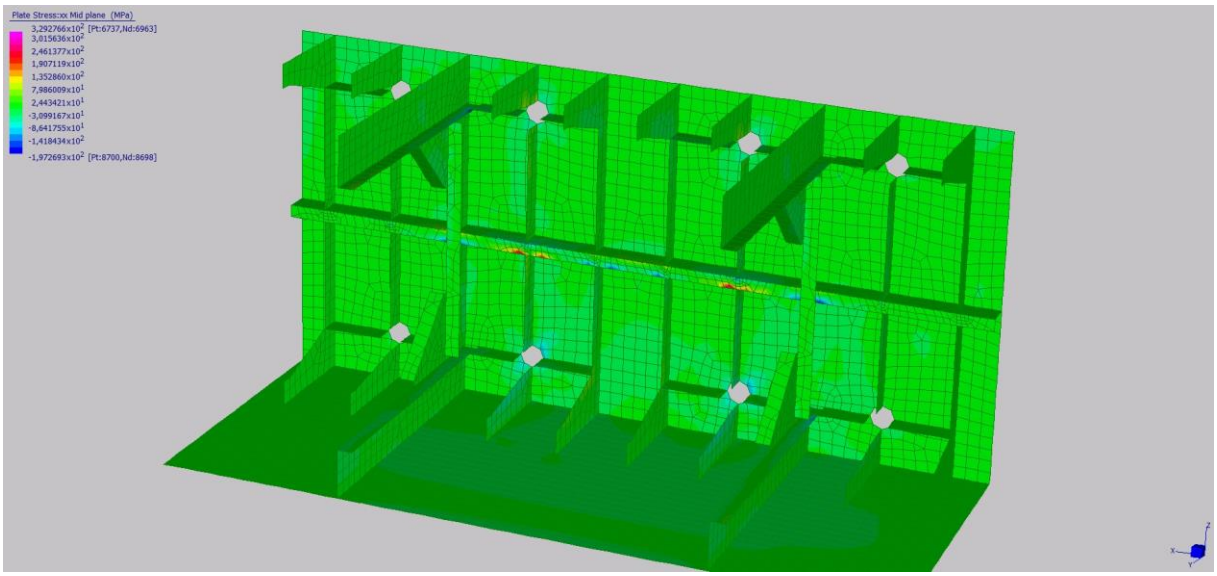

Figura 15: Tensioni Normali σ_{xx}

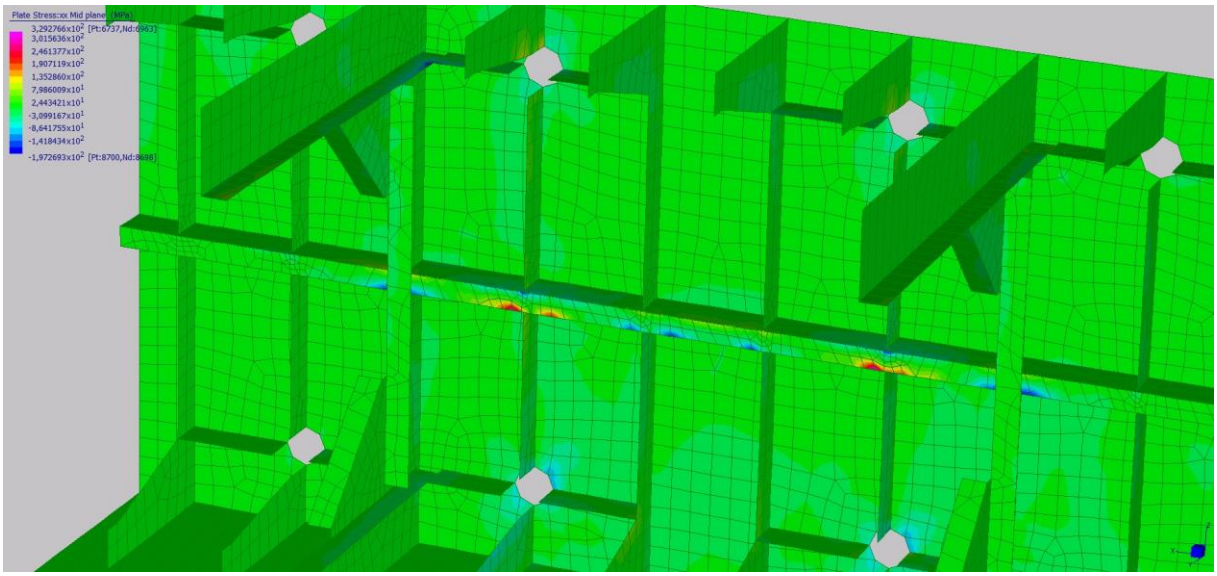

Figura 16: Dettaglio Tensioni Normali σ_{xx}

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

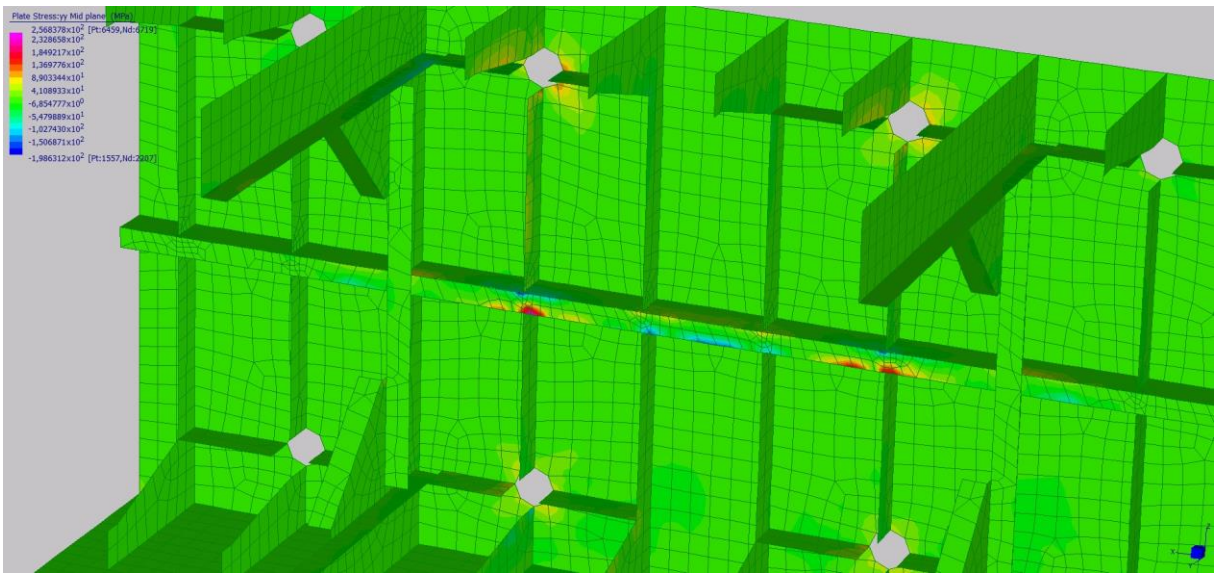

Figura 17: Dettaglio Tensioni Normali σ_{yy}

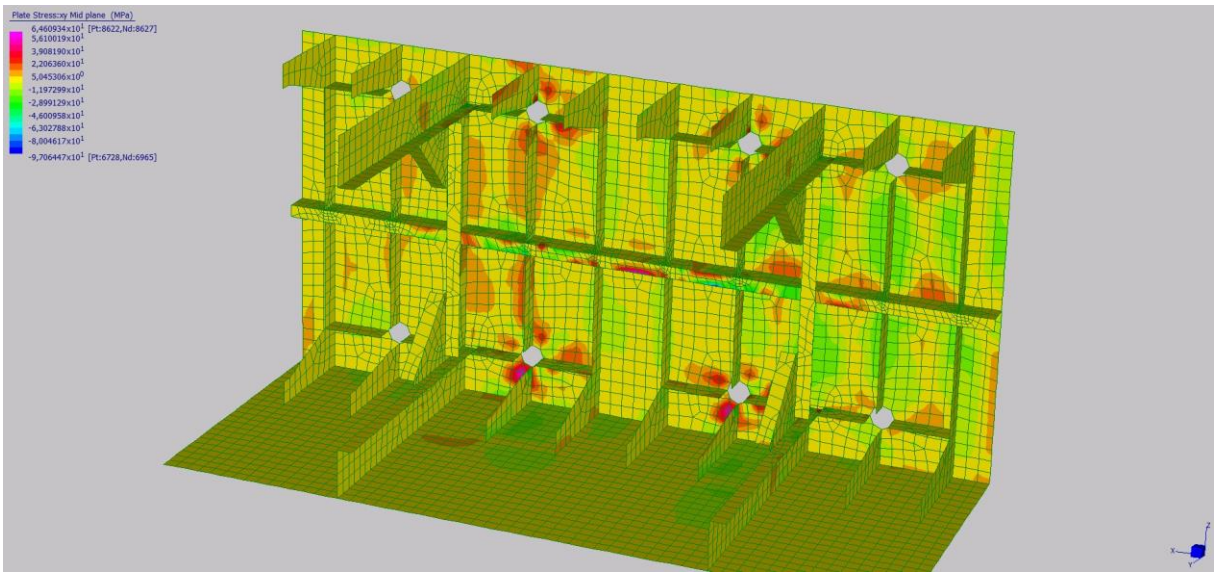

Figura 18: Tensioni Tangenziali σ_{xy}

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

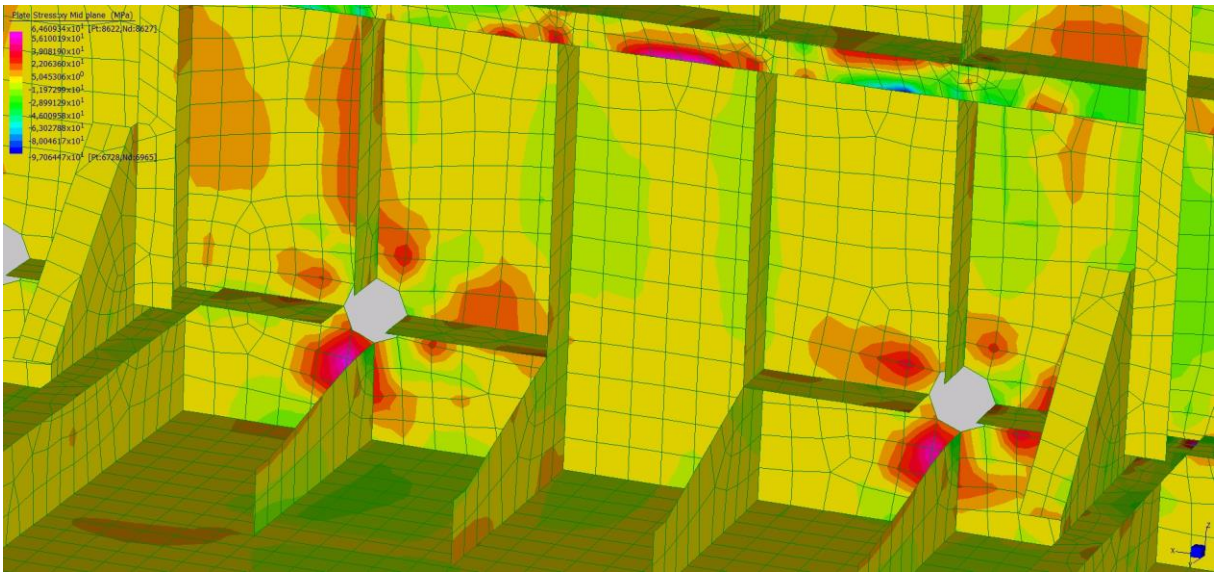

Figura 19: Dettaglio Tensioni Tangenziali σ_{xy}

Tensione	Valore Massimo (N/mm^2)	Posizione
σ_{xx}	98,5	Corrente Longitudinale di Murata
σ_{yy}	136	Corrente Longitudinale di Murata
σ_{xy}	53,5	Fasciame Murata

Tabella 1: Valori delle Tensioni Massime

3.2. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

I valori riportati in Tabella 1 sono tutti inferiori ai massimi ammissibili indicati al precedente 2.4.

In particolare, per quanto concerne il margine ancora ammissibile sul fattore di carico, e considerando le caratteristiche isotrope ed elastiche del materiale in esame, si potrebbe dichiarare che le massime tensioni ammissibile sarebbero sempre rispettate anche con un ulteriore fattore di carico pari 1,74 (237/136=1,74), rispetto al carico iniziale considerato.

Il che equivale a dire che il sistema di giunti così concepito e proposto sarebbe in grado di sostenere un carico concentrato (posizionato come ipotizzato in Figura 3), pari a 209117 N (=20,9 t).

Tuttavia, un'analisi sul fenomeno di buckling nelle strutture, sempre condotto con lo stesso sw di calcolo, riduce il margine sul fattore di carico al valore 1,14.

Si può quindi ammettere che il sistema di giunti così concepito e proposto è in grado di supportare una variazione improvvisa della condizione di equilibrio iniziale dovuta ad un carico concentrato (posizionato come ipotizzato in Figura 3), pari a **136800 N (13,6 t)**.

Il posizionamento del carico concentrato investigato e proposto in Figura 3, ha ovviamente delle configurazioni equivalenti, che hanno, nei confronti della reazione sui giunti tra i due pontoni, gli stessi effetti (tale equivalenza è dovuta all'equivalenza meccanica dei momenti delle forze in funzione della distanza dal giunto M=P·d).

Dal punto di vista geometrico, si possono riassumere graficamente, come fatto nella figura successiva, alcune configurazioni di carico concentrato critico da non oltrepassare.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

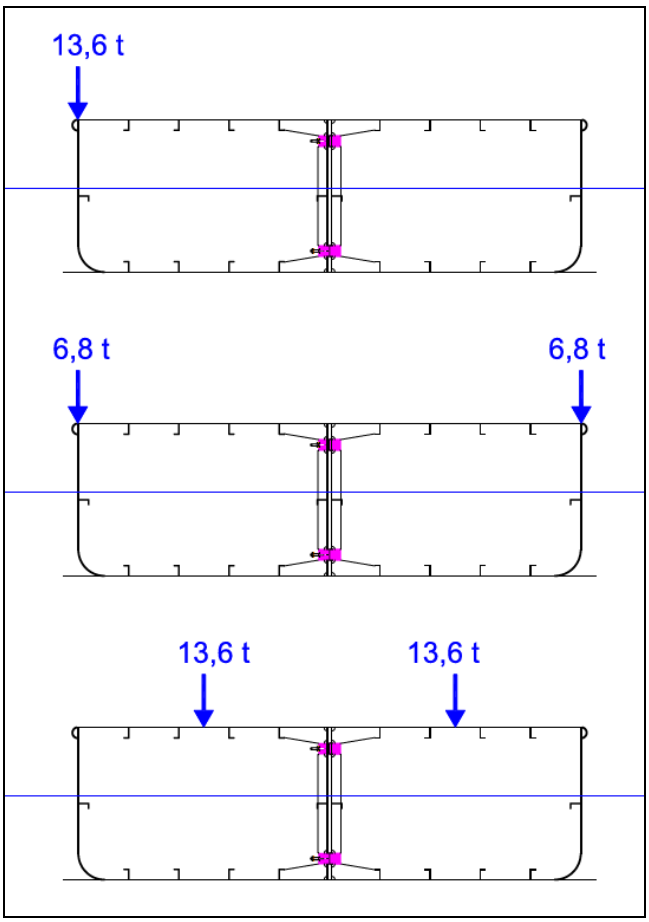

Figura 20: Configurazioni Equivalenti Limiti di carico concentrato

3.3. CARICO SUL PERNO FILETTATO

Per finire si procede all'analisi delle sollecitazioni che agiscono sul perno filettato che blocca i giunti corrispettivi dei due pontoni.

Dal precedente 2.2.2, la componente Fy della reazione vincolare che si realizza in corrispondenza dell'azione improvvisa di un carico concentrato di 13,6 t, risulta pari a:

Fy= 48437x1,14 = **55220 N**

Tale valore deve essere usato per la scelta del perno filettato (calibro e classe di resistenza).

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com

4. CONCLUSIONI

Riassumendo:

- L'analisi è stata condotta al fine di valutare gli stati tensionali che si verificano in corrispondenza dei giunti proposti a seguito dell'intervento di un carico esterno concentrato in posizione tale da creare la maggiore asimmetria di carico e, di conseguenza, il maggior squilibrio.
- In assenza di precise condizioni di carico iniziali, si è ragionato nell'ipotesi di partire da una condizione statica di equilibrio ideale, cioè una condizione in cui gli stati tensionali nelle zone prospicienti i giunti siano trascurabili o molto bassi. L'approccio seguito resterebbe comunque valido anche se si ipotizzasse l'esistenza di uno stato di pretensionamento iniziale, ove le suddette tensioni non fossero trascurabili; si tratterebbe di valutare gli stati tensionali finali applicando il principio di sovrapposizione degli effetti.
- L'analisi è stata limitata agli aspetti puramente strutturali, senza fare riferimento, né considerando, alcun parametro idrostatico;
- Assodate le ipotesi generali sopradescritte e quelle più di dettaglio descritte nei paragrafi precedenti, si possono elencare alcune indicazioni generali valide per la corretta operatività di un siffatto pontone:
    - Il pontone deve essere caricato, per quanto possibile, in maniera tale che il baricentro complessivo del carico imbarcato giaccia sulla mezzeria del mezzo (inteso come coppia di pontoni), ed che il carico stesso sia quanto più possibile omogeneamente distribuito sull'intera superficie del mezzo;
    - Se ci si trova nella necessità di posizionare un carico piuttosto concentrato, e soprattutto se il carico risulta avere un'impronta sul ponte di estensione inferiore alla distanza tra due coppie di giunti successive, si devono rispettare i limiti equivalenti indicati in Figura 20;
    - Il fattore di carico critico risultante può, ovviamente, essere maggiorato rinforzando idoneamente la struttura attualmente concepita dei pontoni;
    - Essendo le ipotesi di indagine assunte piuttosto conservative, si può affermare che i fattori di carico critici effettivi possano risultare maggiori rispetto a quanto indicato in questa sede; una più precisa valutazione degli stessi potrà essere valutata sulla base di più precise ipotesi di lavoro iniziali e quindi di più precise destinazioni d'uso del mezzo in esame; anche un'analisi di tipo dinamico, che tiene conto dei fenomeni transitori dovuti alla presenza di un carico sul ponte e della relativa reazione idrostatica del mezzo, dovrebbe contribuire a maggiorare il fattore di carico complessivo.

Splinakis Ship Design ™
Via Montello 12 - 31055 Quinto di Treviso (TV) – ITALY
Web: www.splinakis.com Mail: info@splinakis.com