| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| E0 | 01/07/11 | Emissione per approvazione | GP | NZ | LM |
| REVISIONE | | DESCRIZIONE | EL. | CON. | APP. |

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI

# MAGISTRATO ALLE ACQUE

# NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

LEGGE N.798 DEL 29-11-1984
CONVENZIONE REP. N° 7191 DEL 04-10-1991
ATTO ATTUATIVO REP. 8100 DEL 19-12-2005 (PROGETTAZIONE)
ATTO ATTUATIVO REP. 8492 DEL 30-03-2011 (OPERA)

# INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B020000500C1 (PROGETTAZIONE) - D51B020000500H1 (OPERA)

## PROGETTO ESECUTIVO – PERIZIA DI VARIANTE

(estratto ed aggiornamento del progetto esecutivo di WBS CO.Q1.68, favorevolmente esaminato dal CTM del 18-09-2009 con voto n° 146)

**WBS: CO.Q1.68**
**WBE: CO.Q1.68.PE.01**

## MEZZI PER LA SOSTITUZIONE DELLE PARATOIE
## 1° MEZZO

## ANALISI STRUTTURALE DELLA CONNESSIONE SCAFO
## RELAZIONE DI CALCOLO

| ELABORATO | CONTROLLATO | APPROVATO |
|---|---|---|
| G. Parodi | N. Zoratto | L. Mazza |
| N. ELABORATO | CODICE FILE | DATA |
| MV055P-PV-GNR-6011-E0 | MV055P-PV-GNR-6011-E0.doc | 01 Luglio 2011 |

CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

VERIFICATO: S. Pastore

CONTROLLATO: M. Brotto

CONSORZIO VENEZIA NUOVA
Ing. M. Brotto

PROGETTAZIONE

TECHNITAL

IL RESPONSABILE: Ing. A. SCOTTI

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. ALBERTO SCOTTI
Sez. A - Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
n° A 9782

PROGETTAZIONE SPECIALISTICA BCV progetti s.r.l

OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N° 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI
QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE

# INDICE

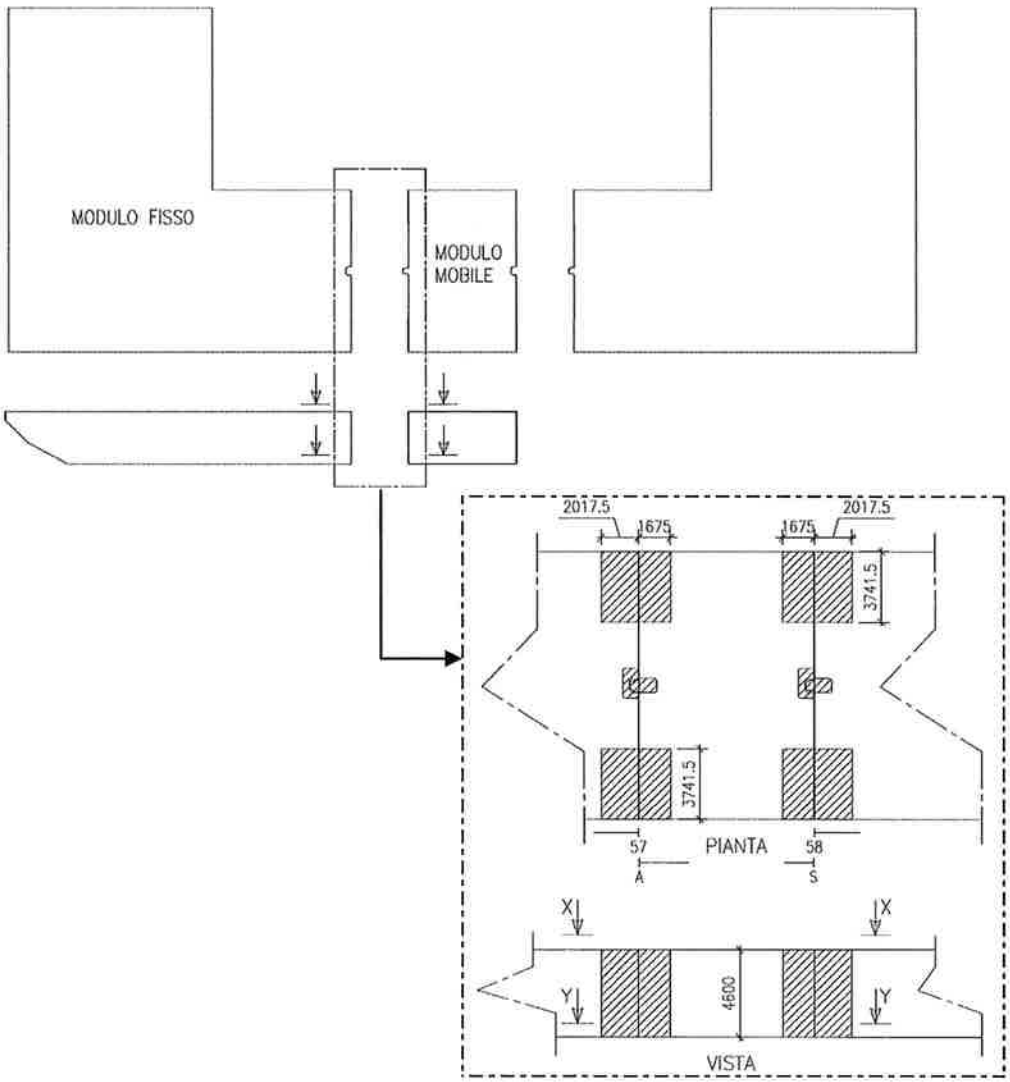
1. OGGETTO E SCOPO 4
2. INTRODUZIONE 5
   2.1 Inquadramento generale 5
   2.2 Configurazione del mezzo 6
   2.3 Il sistema di connessione tra gli scafi 8
3. RIFERIMENTI 14
   3.1 Elaborati e documenti di riferimento 14
   3.2 Normative 15
   3.3 Unità di misura 17
4. MATERIALI 18
   4.1 Piatti e lamiere 18
   4.2 Barre, dadi e rondelle 19
   4.3 Viti e bulloni 20
   4.4 Coperchi barre e vano chiusura chiavarde 20
   4.5 Chiavarde 21
   4.6 Imburrature 21
5. CARICHI 23
   5.1 Considerazioni preliminari 23
   5.2 Azioni nelle connessioni durante la navigazione 25
   5.3 Azioni nelle connessioni in condizioni operative con scafo emerso 30
   5.4 Azioni nelle connessioni in fase di riconfigurazione scafo 31
      5.4.1 Scafo emerso - configurazione lunga 32
      5.4.2 Scafo emerso - configurazione corta 33
      5.4.3 Condizioni di galleggiamento 35
   5.5 Azioni sui "denti" delle chiavarde verticali 36
   5.6 Precarico delle barre 36
   5.7 Accidentali sugli impalcati di servizio 36
6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI 37
   6.1 Criteri adottati 37
   6.2 Verifica connessioni flangiate – approccio ingegneristico 38
      6.2.1 Navigazione 38
      6.2.2 Condizioni operative con scafo emerso 44
      6.2.3 Riconfigurazione scafi: scafo emerso 48
      6.2.4 Riconfigurazione scafi: galleggiamento 49
   6.3 Verifica barre in fase di pretensionamento 50
   6.4 Verifiche mediante modelli locali ad elementi finiti 51
      6.4.1 Verifica giunti flangiati ed elementi strutturali adiacenti 51
      6.4.2 Verifica chiavarda verticale ed elementi impegnati dalla connessione 59
      6.4.3 Verifica locale bussole a taglio 62
      6.4.4 Verifica locale dadi e rondelle 69
7. VERIFICHE SCORRIMENTO CONNESSIONI (SLE) 76
8. VERIFICHE A FATICA 78
   8.1 Criteri adottati 78
   8.2 Verifiche 80

8.2.1 Dettagli saldature più impegnati a fatica 80
8.2.2 Dettagli aggiuntivi 89

## 1. OGGETTO E SCOPO

Scopo del presente documento è integrare le analisi e le verifiche strutturali presentate nelle precedenti emissioni del progetto, tenendo conto delle modifiche apportate al sistema di connessione sviluppato nell'ambito della presente perizia di variante. In particolare il presente documento riporta i risultati delle analisi e delle verifiche sviluppati per i soli elementi di connessione tra i moduli che compongono lo scafo nelle due configurazioni (lunga o corta) previste.

Nella seguenti figure vengono evidenziate mediante tratteggio le zone della connessione scafi coperta dalle analisi e dalle verifiche contenute nel presente documento. Per le analisi e le verifiche di tutte le altre zone di scafo si veda il documento MV055P-PV-GNR-6010.



# 2. INTRODUZIONE

## 2.1 Inquadramento generale

Il sistema di regolazione dei flussi di marea in laguna di Venezia si compone di 4 barriere (Malamocco, Chioggia, Lido San Nicolò e Lido-Treporti), ciascuna costituita da una schiera di circa 20 paratoie metalliche, incernierate al fondo a cassoni in c.a. interrati a livello del fondale. Le paratoie, vengono sollevate in posizione subverticale durante le fasi di esercizio (chiusura della barriere per contrastare l'alta marea) mentre rimangono adagiate in posizione orizzontale entro appositi ricettacoli durante le fasi di non operatività del sistema.

Il progetto delle opere ha stabilito la necessità di sottoporre le paratoie ad un ciclo di manutenzione periodica, che ne richiede la rimozione dalla sede di funzionamento e la sostituzione con altra paratoia di rispetto. L'operazione, da effettuarsi più volte all'anno a rotazione sulle diverse paratoie di ciascuna barriera, richiede l'intervento di mezzi speciali dedicati, capaci di operare su tutte le barriere e di consentire la movimentazione della paratoia con la precisione imposta dalle ristrette tolleranze geometriche del sistema.
La diversa geometria dei cassoni e delle paratoie impone anche al mezzo la necessità di adattarsi a geometrie e dimensioni variabili dei cassoni di fondazione e delle paratoie.

Il mezzo più idoneo ad effettuare queste operazioni è stato pertanto individuato in un natante di tipo piattaforma autosollevante ("jack-up"), con lo scafo a forma di C e a struttura modulare (due scafi principali ed un modulo di transizione rimovibile), capace di alloggiare la paratoia all'interno dell'apertura dello scafo stesso in posizione emersa e facilmente visibile. Il mezzo è in grado di movimentare la paratoia in sito (installazione o rimozione) e di trasferirla direttamente da/verso il cantiere di manutenzione.

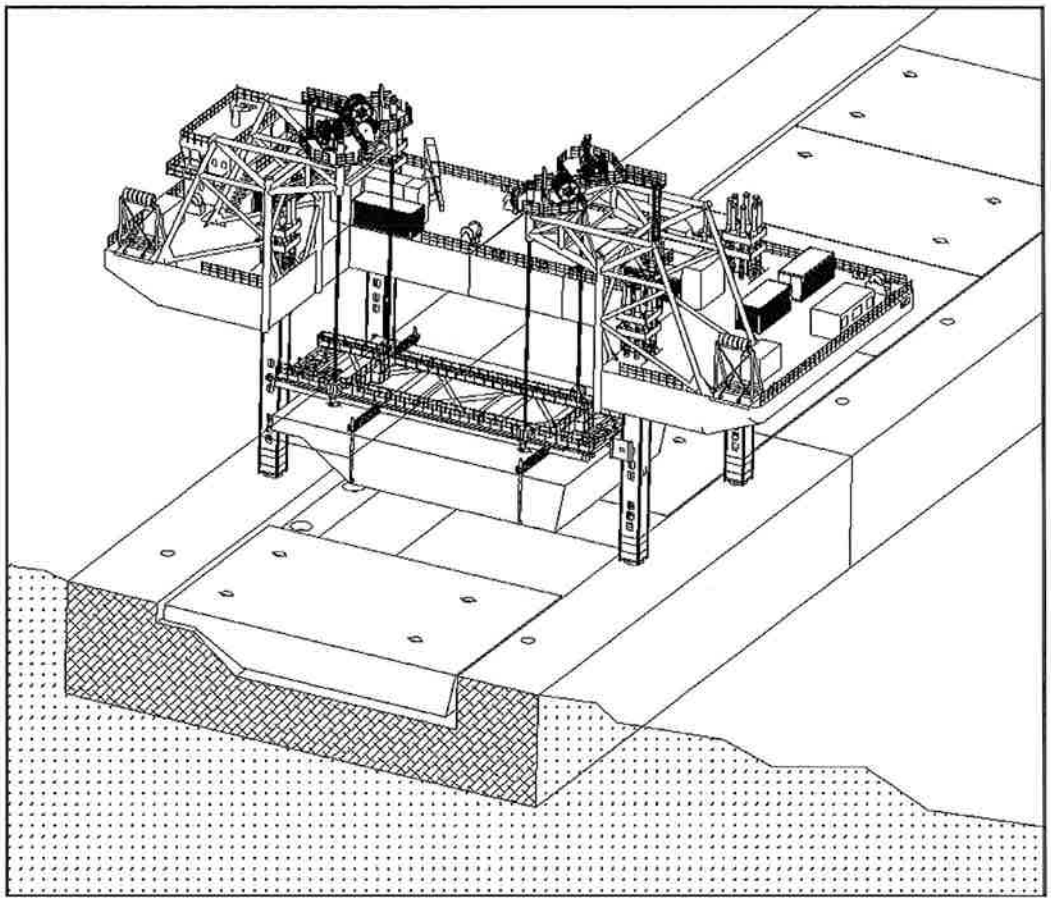


FIG. 2.1 - VISTA 3D DEL JACK-UP IN FASE DI MOVIMENTAZIONE PARATOIA

## 2.2 Configurazione del mezzo

Il mezzo per la sostituzione delle paratoie consiste di uno scafo modulare autopropulso, che alloggia i sistemi per il posizionamento del natante sulle barriere e per la movimentazione ed il trasporto delle paratoie.

**Lo scafo** è costituito da due elementi principali, ciascuno a forma di "L", con estremità rastremate e da un troncone intermedio, a forma di parallelepipedo. I tre componenti hanno una struttura interna di tipo navale, con alcune paratie stagne intervallate da orditure rinforzate longitudinali e trasversali, che determinano la suddivisione del volume in un certo numero di compartimenti, destinati in parte a casse di zavorra, acqua dolce e combustibile, in parte a sale macchine o ambienti di servizio.

Il troncone intermedio, consente di passare da una configurazione "corta", destinata ad operare sulla sola barriera di Lido Treporti, ad una configurazione "lunga", destinata ad operare sulle barriere di Malamocco, Chioggia e Lido San Nicolò.
La giunzione tra gli scafi avviene mediante un sistema di centraggio, quattro zone di connessione con flange e barre precaricate posizionate ai vertici della sezione trasversale, chiavarde e bussole di collegamento tra i moduli.

Il mezzo è dotato di **4 gambe** retrattili, a sezione quadrata, in grado di posizionarsi ed appoggiarsi ai cassoni di fondazione entro appositi ricettacoli e di sostenere il peso dello scafo e della paratoia durante le varie fasi di installazione. Le gambe sono dotate di un piede snodato e montato su supporti elastici per il primo ingaggio e centraggio nei ricettacoli.
La paratoia è movimentata da un **sistema di sollevamento** costituito da 2 capre su cui sono montati 4 sistemi a strand-jacks. L'aggancio della paratoia avviene mediante interposizione di una struttura reticolare di interfaccia, il "telaio pescatore", al quale è anche affidato il compito di guidare la paratoia in posizione: tale funzione è garantita dalla capacità di traslazione e rotazione, resa possibile da un dispositivo di interfaccia scorrevole, che si riscontra sulle gambe del mezzo durante il sollevamento della paratoia.
Speciali **connettori** rotativi ad attuazione idraulica, montati sulla parte inferiore del telaio, hanno il compito di agganciare la paratoia in 4 punti prefissati e di supportarne il peso durante la fase di recupero e riposizionamento.
Il natante è dotato di un **sistema di propulsione e posizionamento** costituito da 4 propulsori ad idrogetto a funzionamento azimutale, azionati da motori elettrici e controllati durante la navigazione e l'installazione del mezzo sul sito è ottenuto mediante un sistema di posizionamento dinamico ("DP").
Il mezzo è equipaggiato con tutti **sistemi di bordo** necessari alla navigazione (plancia e relativa strumentazione), al funzionamento del mezzo (sistema elettrico e idraulico), al controllo dell'assetto (sistema di zavorra) e alla permanenza a bordo dell'equipaggio (modulo alloggi completamente allestito per un utilizzo giornaliero del mezzo), nonché di tutti i sistemi ausiliari necessari alla gestione operativa (sentina, gru di servizio, armamento marinaresco) ed i sistemi di sicurezza (antincendio, salvataggio).
**Modulo alloggi e sala controllo** sono posizionati ad una estremità del mezzo (identificata come "Prua"), in posizione adatta a seguire anche visivamente lo sviluppo delle operazione e a manovrare il mezzo.

## 2.3 Il sistema di connessione tra gli scafi

La soluzione risponde ai seguenti principi fondamentali:

- consentire l'accosto dei moduli in direzione verticale;
- consentire l'allineamento longitudinale e trasversale degli scafi eliminando i giochi inevitabili in fase di accosto scafi;
- trasmissione delle sollecitazioni mediante, contatti, barre precaricate e chiavarde, bussole inserite in idonee sedi.

Il sistema previsto prevede che i due moduli da connettere siano inizialmente accostati con diversa immersione: il primo modulo ("fisso") viene posizionato e mantenuto alla massima immersione possibile, il secondo modulo ("mobile"), viene posizionato ad un'immersione di almeno 0.5 m inferiore al precedente e successivamente zavorrato fino a raggiungere l'assetto del primo. Nel caso di accoppiamento di tre moduli (come accade nella configurazione "lunga" del jack-up) l'operazione si ripete identica per il terzo modulo ("mobile") nei confronti dei primi due già assemblati ("fissi").

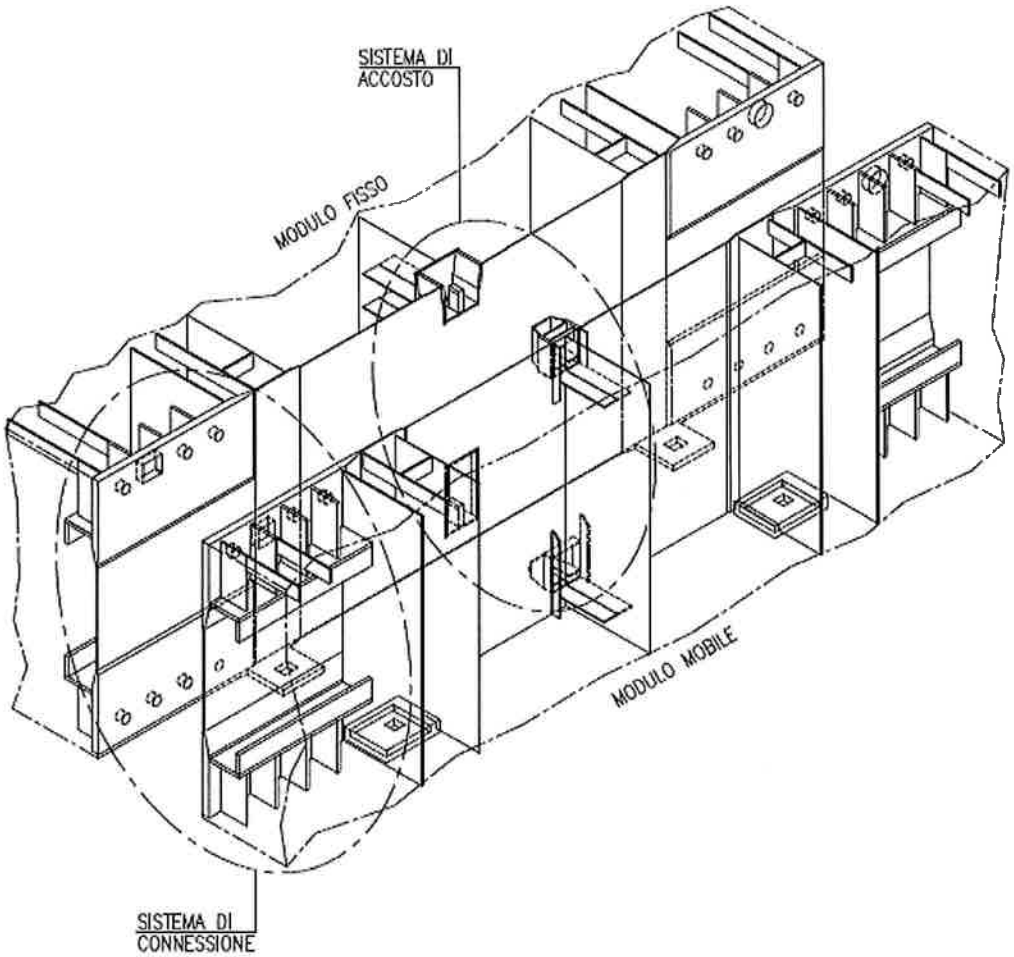
Il sistema di connessione è costituito da:

- due elementi di accosto posizionati sulla mezzeria della sezione frontale;
- da quattro zone di connessione posizionate ai vertici della sezione trasversale dello scafo, ove sono alloggiate le barre e le due bussole di connessione a taglio nelle due sedi superiori;
- da due " denti", posti sul fondo scafo, a lato delle zona barre, che in fase di riconfigurazione scafo consentono l'alloggiamento di due chiavarde ad asse verticale.

Il sistema di accosto è formato da due elementi tronco conici, posti rispettivamente sulla parte superiore e quella inferiore della sezione frontale, con funzione di guida e centraggio.

Le quattro zone di connessione ai vertici della sezione frontale alloggiano flange e barre pretese che realizzano la connessione tra gli scafi. Inoltre nelle sole due zone poste ai vertici superiori degli scafi sono posizionate, coassiali con una delle barre precaricate, due bussole (una per zona) che costituiscono delle sorte di chiavarde e

che consentono l'allineamento trasversale e verticale di precisione tra gli scafi e la trasmissione dei sollecitazioni di taglio.
Una delle due bussole, ha sezione circolare e ha sedi in tolleranza, mentre la sede dell'altra, di sezione rettangolare, ha un gioco in direzione trasversale per compensare deformazioni differenziali, ad esempio di natura termica, in fase di riconfigurazione.




Le zone di connessione ai vertici inferiori degli scafi non alloggiano bussole, ma solo barre precaricate.

In corrispondenza delle quattro zone di connessione le lamiere di testata con le flange di collegamento, le fiancate, la coperta ed il fondo scafo sono realizzate in spessore adeguatamente incrementato e presentano idonee nervature e membrature di irrigidimento, allo scopo di ridistribuire e diffondere alle strutture portanti i carichi concentrati che transitano in corrispondenza delle barre.

In adiacenza alle zone inferiori di connessione sul lato interno dello scafo sono presenti due "denti" sovrapposti (piatti orizzontali), che in fase provvisoria di riconfigurazione scafo consentono l'alloggiamento di una chiavarda ad asse verticale, per la trasmissione delle azioni longitudinali di trazione sul fondo scafo.

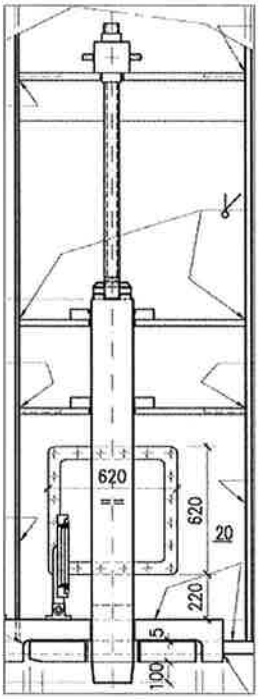
L'accesso ai locali ove sono collocate, da un lato le barre e le bussole (chiavarde orizzontali) e dall'altro le chiavarde verticali, avviene tramite i boccaporti in coperta. Si dovrà anche prevedere la disponibilità di argani per il calaggio ed il sollevamento delle attrezzature necessarie.

Per quanto concerne le funzioni statiche delle diverse parti sopra descritte bisogna distinguere tra due configurazione:

- configurazione definitiva corrispondente alle condizioni operative, vuoi di navigazione, vuoi di scafo emerso durante le operazioni di posa e sollevamento paratoie;
- configurazione provvisoria, presente durante la riconfigurazione degli scafi, ossia durante le fasi in cui la scafo viene riconfigurato per passare dalla configurazione lunga a quella corta o viceversa.

In configurazione definitiva la trasmissione delle azioni longitudinali e dei momenti flettenti nei due piani verticale ed orizzontale è affidata alle barre precaricate e al contatto tra le flange.
La trasmissione delle azioni di taglio dirette, sia orizzontali che verticali e dei tagli generati dai momenti torcenti trasmessi dallo scafo è affidata alle due bussole superiori. In particolare la chiavarda circolare, in tolleranza, trasmette i tagli in qualsiasi direzione, mentre la chiavarda quadrata trasmette solo i tagli in direzione verticale.
Inoltre la connessione, in virtù della precompressione tra le flange generate dal precarico delle barre, è in grado di trasmettere tutte le azioni taglianti agli stati limite di esercizio per attrito, senza scorrimento tra le flange.
Nei confronti delle azioni taglianti agli stati limite ultimi subentrano invece le bussole già menzionate.

Le barre relative alle flange superiori sono al di sopra del pelo libero dell'acqua, quindi in fase di riconfigurazione scafi possono essere poste in opera con i moduli in galleggiamento.
Le barre relative alle due flange inferiori si trovano invece ad una quota sotto al pelo dell'acqua e quindi sarà necessario porre in opera tali barre a scafo emerso. Pertanto è prevista l'operazione di posa e tesatura delle barre inferiori con lo scafo emerso, sollevato sulle quattro "gambe" estese.




Prima di poter sollevare lo scafo però è necessario porre in opera dei collegamenti provvisori atti a garantire la trasmissione di azioni longitudinali di trazione a livello del fondo scafo; si tratta delle due chiavarde ad asse verticale che vengono calate fino a impegnare i due "denti" sovrapposti posti in corrispondenza del fondo scafo.

Quindi in fase di riconfigurazione scafi la trasmissione delle azioni longitudinali e dei momenti flettenti nei due piani verticale ed orizzontale è affidata superiormente a 4+4 barre precaricate che, essendo in una zona posta sicuramente al di sopra del pelo libero, possono essere messe in opera prima del sollevamento dello scafo; inferiormente la trasmissione delle forze longitudinali di compressione è affidata al contatto tra le flange inferiori dei due scafi, mentre la trasmissione delle forze longitudinali di trazione è affidata alle due chiavarde ad asse verticale.
La trasmissione delle azioni di taglio, sia orizzontali che verticali e dei i tagli generati dai momenti torcenti trasmessi dallo scafo è affidata alle due bussole superiori anch'esse già messe in opera prima del sollevamento. Anche in questo caso la chiavarda circolare, in tolleranza, trasmette i tagli in qualsiasi direzione mentre la chiavarda quadrata trasmette solo i tagli in direzione verticale.

Le principali fasi di connessione tra parti di scafo in riconfigurazione, da realizzarsi in acqua tranquilla, consistono pertanto in:

1. Controllo e pulizia per sabbiatura subacquea delle superfici di accoppiamento meccanico (zone a contatto delle flange, sedi chiavarde e bussole, nicchie per sistema di accosto). In tale fase le chiavarde ad asse verticale saranno abbassate il più possibile in modo da poter eseguire la pulizia dell'estremità inferiore della chiavarda.
2. Zavorramento del modulo fisso ed avvicinamento del modulo mobile.
3. Accostamento dei due moduli e centraggio preliminare mediante il sistema di accosto (comunque con giochi).
4. Zavorramento del modulo mobile fino a portare a contatto i due "denti" inferiori; realizzando così il posizionamento verticale preliminare tra i due scafi e bloccando il rollio differenziale tra i due scafi.
5. Centraggio verticale e trasversale di precisione dei due scafi mediante l'inserimento delle due bussole superiori.
6. Calaggio delle due chiavarde ad asse verticale nelle sedi dei denti.
7. Inserimento di tutte le barre delle connessioni superiori (4+4) e tesatura al 50% del valore nominale finale.
   Eventuale ripetizione delle fasi precedenti per il restante modulo in caso di configurazione lunga.
   Controllo mediante ispezione subacquea del corretto e completo inserimento delle chiavarde verticali nelle loro sedi.
8. Regolazione zavorra per il sollevamento dello scafo sulle quattro "gambe" appoggiate su idonee fondazioni subacquee.
9. Inserimento e tesatura di tutte le barre (superiori ed inferiori) secondo le modalità a specifica.
10. Disimpegno delle chiavarde ad asse verticale.
11. Abbassamento scafo.

Tutti i componenti sono ottenuti da materiali reperibili sul mercato.
Le tolleranze di alcuni componenti e tipicamente le interfacce di tipo meccanico, le flange di connessione, i piani di riscontro delle rondelle delle barre le sedi di bussole e chiavarde etc. sono tali da richiedere lavorazioni di macchina.

Le barre precaricate Ø160 mm e i relativi dadi devono essere sostituiti ad ogni riconfigurazione dello scafo.
I piatti di ripartizione tra dadi e strutture scafo ("rondelle") e le bussole delle connessioni superiori andranno ispezionati ad ogni riconfigurazione per valutare l'assenza di danni locali, cricche superficiali etc. e per valutare la necessità del ripristino della nichelatura di protezione dalla corrosione delle rondelle.
La protezione dalla corrosione, nelle zone di testata, fiancata, fondo scafo e coperta non interessate da interfacce meccaniche sarà dello stesso tipo già previsto per lo scafo. Tutte le interfacce meccaniche (superfici a contatto delle flange, sedi bussole e chiavarde, piani di riscontro di rondelle secondo le indicazioni a disegno) andranno protette dalla corrosione mediante riporto di saldatura (imburratura) con i materiali idonei indicati nei documenti progettuali e non andranno verniciate.

La necessità di garantire la tenuta all'acqua richiede l'utilizzo di guarnizioni da controllare ed eventualmente sostituire in occasione delle riconfigurazioni del mezzo.
Le sedi delle guarnizioni, se non sono già realizzate in componenti in materiale inossidabile, dovranno essere ricavate in riporti inossidabili (imburrature) realizzati sul componente su cui la guarnizione è posizionata e sulla superficie di battuta della guarnizione, in modo da avere tutta la sede e la battuta della guarnizione in materiale inossidabile.

# 3. RIFERIMENTI

## 3.1 Elaborati e documenti di riferimento

*Elaborati grafici di riferimento:*

| | |
|---|---|
| MV055P-PV-GND-6110 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Piante e viste |
| MV055P-PV-GND-6111 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Sezioni |
| MV055P-PV-GND-6112 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Dettagli connessione con barre |
| MV055P-PV-GND-6113 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Dettagli connessione chiavarda quadrata |
| MV055P-PV-GND-6114 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Dettagli connessione chiavarda circolare |
| MV055P-PV-GND-6115 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Dettagli connessione chiavarda verticale |
| MV055P-PV-GND-6116 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Dettagli sistema di accosto |
| MV055P-PV-GND-6117 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA - CONNESSIONE MODULI<br>Schema attrezzature movimentazione pezzi |
| MV055P-PV-GND-6504 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA – OPERAZIONI MARINE<br>Connessione scafi – Vista assonometrica |
| MV055P-PV-GND-6505 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA – OPERAZIONI MARINE<br>Connessione scafi – Sequenze di accoppiamento (Fasi da 0 a 4) |
| MV055P-PV-GND-6506 | CONFIGURAZIONE LUNGA E CORTA – OPERAZIONI MARINE<br>Connessione scafi – Sequenze di accoppiamento (Fasi da 5 a 10) |

*Documenti di riferimento:*

| | |
|---|---|
| MV055P-PV-GNR-6010 | ANALISI STRUTTURALE DELLO SCAFO – RELAZIONE DI CALCOLO |
| MV055P-PV-GNS-6012 | SPECIFICA TECNICA – SCAFO E SISTEMI DI BORDO |

## 3.2 Normative

Considerata la peculiarità della connessione tra gli scafi, avente caratteristiche maggiormente affini alle costruzioni civili in carpenteria metallica piuttosto che alle normali opere navali, ai fini del dimensionamento e della verifica delle strutture ci si è spesso attenuti ai criteri proposti dalla normativa di riferimento per le costruzioni in acciaio. In particolare, si sono adottati i criteri di combinazione dei carichi ed i metodi di verifica a resistenza (con l'introduzione del concetto di stati limite) proposti dal DM 14/01/2008 e relativa circolare applicativa .

Per le verifiche a fatica si è invece fatto riferimento alla relativa parte 1-9 della UNI EN 1993.

In dettaglio, per il dimensionamento, la verifica delle strutture e i materiali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

RINA Rules for classification of ships - Part D - (1/1/2011)

| | |
|---|---|
| Istruzioni CNR 10011/97 | "Costruzioni di acciaio: Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione". |
| D.M. 14/01/2008 | Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni |
| C.M. 02/02/2009 | Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008 – C.S.LL.PP. n° 617 |
| UNI EN 1993-1-9 | Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-9: Fatica. |
| UNI EN 1993-1-10 | Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-10: resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore. |
| UNI EN 10204 | Prodotti metallici - Tipi di documenti di controllo. |
| UNI EN 22768 | Tolleranze generali. Tolleranze per dimensioni lineari ed angolari prive di indicazione di tolleranze specifiche. |

| | |
|---|---|
| UNI EN 10025 | Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali |
| UNI EN 10083 | Acciai da bonifica |
| UNI EN 10088 | Acciai inossidabili |
| UNI EN 10160 | Controllo con ultrasuoni di prodotti piani di acciaio con spessore maggiore o uguale a 6 mm (metodo per riflessione). |
| UNI EN 10164 | Acciai con caratteristiche di deformazione migliorate nella direzione perpendicolare alla superficie del prodotto – Condizioni tecniche di fornitura |
| UNI 3740 | Elementi di collegamento filettati in acciaio – Prescrizioni tecniche |
| UNI EN 14399-3 | Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 3: Sistema HR – Assieme vite e dado esagonali |
| UNI EN 14399-4 | Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 4: Sistema HV – Assieme vite e dado esagonali |
| UNI EN 14399-5 | Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 5: Rondelle piane |
| UNI EN 14399-6 | Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 6: Rondelle piane smussate |
| UNI EN 20898-2 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento – Dadi con carichi di prova determinati. Filettatura a passo grosso |
| UNI EN ISO 898-1 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio – Viti e viti prigioniere |
| UNI EN ISO 4016 | Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C |

| | |
|---|---|
| UNI EN ISO 3506-1 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 1: Viti e viti prigioniere |
| UNI EN ISO 3506-2 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 2: Dadi |
| UNI EN ISO 3506-3 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 3: Viti senza testa e particolari similari non soggetti a trazione |
| UNI EN ISO 3506-4 | Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio inossidabile resistente alla corrosione - Parte 4: Viti autofilettanti |

## 3.3 Unità di misura

Salvo ove diversamente indicato si utilizzano le seguenti unità di misura:

| | |
|---|---|
| Forze | kN |
| Momenti | kNm |
| Spostamenti | m |
| Sforzo | MPa |

# 4. MATERIALI

## 4.1 Piatti e lamiere

Per piatti e lamiere è richiesto l'uso dei seguenti materiali:

Spessore t ≤30mm: acciaio DH36 secondo Standard RINA

| | |
|---|---|
| Snervamento $R_{eH,MIN}$ | ≥ 355 MPa |
| Rottura Rm | = 490-630 MPa |
| Tensione di progetto $f_d$ | = 338 MPa |
| Allungamento $A_S$ | ≥ 21% |
| Long. impact En. $K_{VL}$ (T=-20°C) | ≥ 34 J |
| Trans. impact En. KVT (T=-20°C) | ≥ 24 J |

Spessore 30mm< t ≤60mm: acciaio EH36 secondo Standard RINA

| | |
|---|---|
| Snervamento $R_{eH,MIN}$ | ≥ 355 MPa |
| Rottura Rm | = 490-630 MPa |
| Tensione di progetto $f_d$ | = 338 MPa |
| Allungamento AS | ≥ 21% |
| Long. impact En. KVL (T=-40°C) | ≥ 34 J |
| Trans. impact En. KVT (T=-40°C) | ≥ 24 J |

Spessore 80mm< t ≤100mm: acciaio S460NL EN-10025-3 2005

| | |
|---|---|
| Snervamento $R_{eH,MIN}$ | ≥ 400 MPa |
| Rottura $R_m$ | = 540-720 MPa |
| Tensione di progetto $f_d$ | = 380 MPa |
| Allungamento $A_S$ | ≥ 17% |
| Long. impact En. KVL (T=-50°C) | ≥ 27 J |
| Trans. impact En. KVT (T=-50°C) | ≥ 16 J |

Spessore 100mm< t ≤130mm: acciaio S460NL EN-10025-3 2005

| | |
|---|---|
| Snervamento $R_{eH,MIN}$ | ≥ 380 MPa |
| Rottura $R_m$ | = 530-710 MPa |
| Tensione di progetto $f_d$ | = 361 MPa |
| Allungamento $A_S$ | ≥ 17% |
| Long. impact En. KVL (T=-50°C) | ≥ 27 J |
| Trans. impact En. KVT (T=-50°C) | ≥ 16 J |

## 4.2 Barre, dadi e rondelle

Barre Ø160 – Acciaio tipo 39NiCrMo3 +QT bonificato (EN 1.6510 – UNI EN 10083-3), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| | |
|---|---|
| Tensione di rottura a trazione | fu > 910 (*) ÷ 980 MPa |
| Tensione di snervamento | fy > 635 MPa |
| Tensione di progetto | fd = 605 MPa |
| Resistenza al provino KV 40 J a +20 °C | |
| Allungamento percentuale rottura: 12% | |

(*) si richiama l'attenzione sulla necessità di avere un materiale con un valore minimo di rottura che, pur compreso nel range indicato dalla normativa, sia superiore al valore minimo di normativa (richiesti almeno 910 MPa contro un valor minimo da normativa di 830 MPa).

Dadi e controdadi – Acciaio tipo 34CrNiMo6 +QT bonificato (EN 1.6582 – UNI EN 10083-3), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| | |
|---|---|
| Tensione di rottura a trazione | fu > 860 (**) ÷ 950 MPa |
| Tensione di snervamento | fy > 600 MPa |
| Tensione di progetto | fd = 571 MPa |
| Resistenza al provino KV 40 J a +20 °C | |
| Allungamento percentuale rottura: 13% | |

(**) si richiama l'attenzione sulla necessità di avere un materiale con un valore minimo di rottura che, pur compreso nel range indicato dalla normativa, sia superiore al valore minimo di normativa (richiesti almeno 860 MPa contro un valor minimo da normativa di 800 MPa).

Rondelle sferiche – Acciaio tipo 34CrNiMo6 +QT bonificato (EN 1.6582 – UNI EN 10083-3), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

| | |
|---|---|
| Tensione di rottura a trazione | fu > 800 ÷ 950 MPa |
| Tensione di snervamento | fy > 600 MPa |
| Tensione di progetto | fd = 571 MPa |
| Resistenza al provino KV 40 J a +20 °C | |
| Allungamento percentuale rottura: 13% | |

Barre di ancoraggio, dadi, controdadi e rondelle sono protette nei confronti della corrosione da un trattamento superficiale di nichelatura chimica di spessore finale pari a 70μm ±10μm. Durezza superficiale della nichelatura >550HV.

## 4.3 Viti e bulloni

Bulloni tipici - Acciaio inossidabile resistente a tensocorrosione tipo SAF 2205 o equivalente (EN 1.4462 H-P – EN10088-2), con le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione fu > 640÷840 MPa
- tensione di snervamento a trazione fy > 460 MPa
- allungamento a rottura 25%

Viti per movimentazione chiavarde ad asse verticale: Classe 8.8 DM2008 (conformi a UNI EN ISO 898-1:2001)
Protette nei confronti della corrosione da un trattamento superficiale di nichelatura chimica di spessore finale pari a 70μm ±10μm. Durezza superficiale della nichelatura >550HV.

- tensione di rottura a trazione ftb > 800 MPa
- tensione di snervamento a trazione fyb > 649 MPa

## 4.4 Coperchi barre e vano chiusura chiavarde

Acciaio inossidabile tipo AISI 316L o equivalente (EN 1.4404 – UNI EN10088-2), con le seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione di rottura a trazione fu > 520 MPa
- tensione di snervamento a trazione fy > 220 MPa
- allungamento a rottura 45%

## 4.5 Chiavarde

Tutte le chiavarde, sia quelle a bussola poste in corrispondenza delle flange superiori che quelle ad asse verticale da utilizzarsi in fase di riconfigurazione scafi sono realizzate con:
Acciaio inossidabile tipo SAF 2507 o equivalente (EN 1.4410 – EN10088-2), con le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione fu > 800÷1000 MPa
- tensione di snervamento a trazione fy > 550 MPa
- tensione di progetto fd > 523 MPa
- allungamento a rottura 20%

## 4.6 Imburrature

Per le imburrature delle superfici per cui è richiesto il mantenimento delle tolleranze di lavorazione e della qualità della superficie nel tempo sono previsti riporti per saldatura di materiali idonei (imburratura),
A tale scopo è previsto l'utilizzo di tipi differenti di elettrodi e precisamente:

- Aweld 2928 o equivalente per le sedi di tutte le chiavarde e le bussole, spessore finale dell'imburratura 8mm;
- 309LMO+317L per le flange lato mobile, spessore finale dell'imburratura 4+4mm;
- INCONEL 625 per le flange lato fisso e per tutte le rimanenti imburrature indicate sugli elaborati di progetto, spessore finale dell'imburratura 8mm.

*Imburratura INCONEL 625*

Elettrodo tipo INCONEL 625 o equivalente – Ni 6625 UNI-EN-ISO-18274 – Composizione chimica: Cr 20-23%, Mo 8-10%, Nb+Ta 3.0-4.2%, Fe <5%, Cu <0.5%, Mn <0.5%, Si <0.5%, Al <0.4%, Ti <0.4%, C <0.1%, Ni rimanente (minimo 58%).
Caratteristiche meccaniche da letteratura:

- fu ≥ 690 MPa
- fy ≥ 414 MPa
- allungamento a rottura 30%
- durezza 190 HB

*Imburratura AWELD 2928*

Elettrodo tipo AWELD 2928 o equivalente – Composizione chimica (da catalogo AWELD): Mn 12.5%, Al 6.5%, Fe 2.6%, Ni 2.6%, Cu rimanente.

Caratteristiche meccaniche (da catalogo AWELD):

- fu ≥ 640 MPa
- fy ≥ 400 MPa
- allungamento a rottura > 20%
- durezza 200 HB

*Imburratura a doppio strato: 309LMO+317L o equivalente*

Elettrodo primo strato, tipo 309LMO o equivalente UNI-EN-ISO-14343 – 23-12-2-L ISO-14343-A – Composizione chimica: Cr 21-25%, Ni 11.0-15.5%, Mo 2.0-3.5%, Mn 1.0-2.5%, Si <1.0%, Cu <0.5%, C <0.03%, P <0.03%, S <0.02%.

Caratteristiche meccaniche attese:

- fu ≥ 550 MPa
- fy ≥ 350 MPa
- allungamento a rottura 25%

Elettrodo secondo strato, tipo 317L o equivalente UNI-EN-ISO-14343 – 18-15-3-L ISO-14343-A – Composizione chimica: Cr 17-20%, Ni 13-16%, Mo 2.5-4.0%, Mn 1.0-4.0%, Si <1.0%, Cu <0.5%, C <0.03%, P <0.03%, S <0.02%.

Caratteristiche meccaniche attese:

- fu ≥ 480 MPa
- fy ≥ 300 MPa
- allungamento a rottura 25%

# 5. CARICHI

## 5.1 Considerazioni preliminari

L'analisi dell'intero scafo, mediante modellazioni ad elementi finiti, e la relativa analisi dei carichi è riportata in MV055P-PV-GNR-6010. In tali analisi le quattro connessioni flangiate poste ai quattro vertici della sezione trasversale sono state modellate mediante elementi lineari di rigidezza opportuna, in modo da poter valutare le componenti di azione interna trasmesse da ciascuna flangia tenendo conto dei fenomeni di congruenza legati alla deformabilità dello scafo nella zona delle connessioni.

Si è ipotizzato quindi che in corrispondenza alle quattro connessioni flangiate (o come meglio dettagliato nel seguito nelle due connessioni superiori) si istaurasse un comportamento "locale", sovrapposto a quello globale dell'intero scafo e quindi si generassero dei momenti flettenti locali da trasmettere mediante ciascuna singola connessione flangiata.

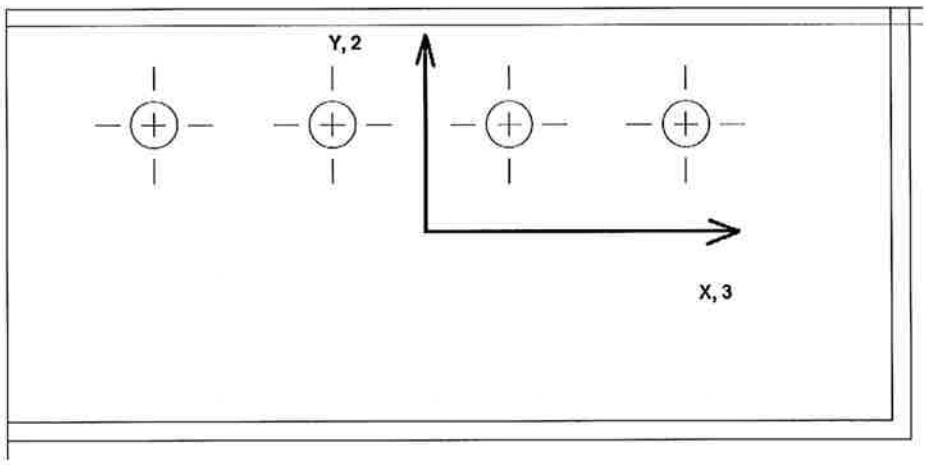
In tali documenti sono state analizzate le combinazioni di carico relative a navigazione, esercizio con scafo emerso e fasi di riconfigurazione.

Le azioni nelle quattro connessioni flangiate sono state valutate ipotizzando la capacità di trasmettere le diverse componenti di sollecitazione indicate in tabella, secondo i meccanismi pure riportati in tabella:

| | **STATO LIMITE** | **Componente sollecitazione trasmessa** | **Meccanismo di trasmissione** |
|---|---|---|---|
| **FLANGE SUPERIORI** | SLE | N, M2, M3 | Contatto tra fange + traz. barre |
| | | V2, V3, MT | Attrito tra flange in virtù del precarico |
| | SLU | N, M2, M3 | Contatto + traz. barre |
| | | V2, V3, MT | Bussole |
| **FLANGE INFERIORI** | SLE | N | Trazione barre |
| | SLU | N | Trazione barre |

Ove:

- N Azione assiale positiva se di compressione
- V2 Taglio verticale
- V3 Taglio orizzontale
- T Momento torcente
- M2 Momento flettente orizzontale (associato a V3) positivo se, guardando verso prua, tende le fibre a X negative nello schizzo seguente
- M3 Momento flettente verticale (associato a V2) positivo se, guardando verso prua, tende le fibre a Y negative nello schizzo seguente.




Relativamente alle connessioni inferiori, gli schemi di comportamento strutturale indicati in tabella appaiono giustificati in considerazione del fatto che in corrispondenza delle condizione di carico più impegnative si generano forti trazioni. Di conseguenza si ha una notevole decompressione delle due flange inferiori che non appaiono quindi più in grado di contribuire alla trasmissione di tagli e momenti torcenti per attrito (V2,V3,MT).

Comunque segnaliamo già fin d'ora che, come meglio dettagliato nel seguito, in aggiunta alle analisi sopra descritte sono state realizzate analisi più raffinate ad elementi finiti, al fine di cogliere più fedelmente il meccanismo di trasmissione della azioni e l'impegno statico dei componenti della connessione.

Nelle seguenti tabelle si riportano le azioni interne in corrispondenza delle quattro connessioni a valle delle analisi dell'intero scafo di cui al documento MV055P-PV-GNR-6010, per le tre condizioni operative analizzate (navigazione, esercizio con scafo emerso e fasi di riconfigurazione).

I valori vengono riportati già per le combinazioni di carico prese in esame nel succitato documento, a cui si rimanda per la descrizione delle singole combinazioni di carico.

Per le azioni in condizione di navigazione, le combinazioni riportate nel seguito possono essere suddivise sostanzialmente in tre gruppi:

- le combinazioni C01 – C02 – C03 – C04 – C05 – C06 – C12 – C13 – CA2 – CA3 fanno riferimento alle normali condizioni di navigazione; i valori indicati nelle tabelle seguenti si riferiscono a combinazioni agli Stati Limite di Esercizio e pertanto andranno fattorizzate per le verifiche agli Stati Limite Ultimi.
- Le combinazioni C08 – C09 – C10– C15 fanno riferimento a combinazioni di carico che prevedono una distribuzione degli effetti inerziali della paratoia non uniforme sui quattro punti di appensione. In virtù della loro severità, non verranno incluse nell'insieme di combinazioni adottato per le verifiche agli SLE e per le verifiche a fatica. Per queste combinazioni si effettueranno esclusivamente verifiche di resistenza agli SLU, con coefficiente di fattorizzazione parziale pari a 1.5.
- Le combinazioni C07 – C14 infine sono tali da indurre un momento massimo nella sezione di connessione pari a quello richiesto da RINA. Esse possono già considerarsi relative agli SLU: non verranno quindi utilizzate per verifiche SLE e verifiche a fatica. Un coefficiente parziale unitario sarà applicato ai valori riportati nelle tabelle.

Come già dichiarato nelle seguenti tabelle le forze sono espresse in kN ed i momenti in kNm.

## 5.2 Azioni nelle connessioni durante la navigazione

In Tabella 1 sono riportate le componenti di sollecitazione nelle connessioni valutate nell'ipotesi che le flange superiori trasmettano per attrito tagli verticali, orizzontali e momenti torcenti. Nella successiva
Tabella 2 è riportato il caso in cui sono stati rilasciati i momenti torcenti locali sulle connessioni superiori. Le bussole in tal caso assicurano la trasmissione delle azioni taglianti, comprensive dei tagli associati alla trasmissione del momento torcente tra gli scafi.
In sostanza sono stati analizzati due diversi comportamenti strutturali, il primo relativo alle verifiche strutturali agli stati limite di esercizio, il secondo relativo alle verifiche agli stati limite ultimi.

**Tabella 1**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | C01 CAVO | C01 CRESTA | C02 CAVO | C02 CRESTA | C03 CAVO | C03 CRESTA | C04 CAVO | C04 CRESTA | C05 CAVO | C05 CRESTA | C06 CAVO | C06 CRESTA | C07 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | 1589 | -16672 | -10715 | -3726 | -7408 | -7164 | -9272 | -5309 | -4549 | 1589 | -1456 | -1569 | -3199 | 197 | -16672 |
| | | | Dritta | 1551 | -16724 | -10482 | -4429 | -7598 | -7354 | -9183 | -5815 | -3961 | 1551 | -1196 | -1219 | -2655 | 241 | -16671 |
| | | Fondo | Sinistra | 15712 | -748 | 9711 | 4891 | 7352 | 7296 | 8821 | 5874 | 3768 | -748 | 1463 | 1565 | 2845 | 182 | 15693 |
| | | | Dritta | 16714 | -1698 | 10550 | 4234 | 7488 | 7420 | 9049 | 5862 | 4072 | -1698 | 1084 | 1348 | 2579 | -168 | 16714 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1905 | -16972 | -10461 | -3297 | -7055 | -6834 | -9107 | -4750 | -4446 | 1905 | -1226 | -1354 | -3159 | 601 | -16972 |
| | | | Dritta | 1888 | -16151 | -9791 | -3631 | -6831 | -6631 | -8740 | -4736 | -3755 | 1888 | -907 | -945 | -2722 | 871 | -16151 |
| | | Fondo | Sinistra | 15949 | -1048 | 9430 | 4466 | 6987 | 6954 | 8498 | 5453 | 3645 | -1048 | 1233 | 1349 | 2673 | -93 | 15949 |
| | | | Dritta | 16229 | -2042 | 9877 | 3440 | 6735 | 6710 | 8720 | 4695 | 3871 | -2042 | 795 | 1075 | 2739 | -890 | 16229 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 908 | -1286 | -133 | 448 | 160 | 144 | 617 | -291 | 35 | 546 | 300 | 294 | 813 | -218 | -734 |
| | | | Dritta | 2172 | -276 | 736 | 1220 | 1041 | 910 | 150 | 1811 | 379 | 833 | 656 | 558 | -276 | 1492 | 1040 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 281 | -2265 | -681 | -1163 | -944 | -883 | -231 | -1576 | -269 | -616 | -440 | -425 | 281 | -1148 | -1546 |
| | | | Dritta | 2141 | -840 | 839 | 495 | 650 | 683 | -14 | 1357 | 76 | -253 | -121 | -54 | -840 | 667 | 1365 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 137 | -158 | 8 | -35 | -4 | -18 | 82 | -103 | 50 | 0 | 27 | 28 | 116 | -62 | 65 |
| | | | Dritta | 158 | -194 | -35 | 51 | 14 | 7 | 31 | -14 | -58 | -1 | -30 | -26 | -7 | -50 | -91 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 100 | -358 | -123 | -118 | -133 | -112 | 13 | -255 | -31 | -10 | -19 | -22 | 100 | -140 | -253 |
| | | | Dritta | 284 | -51 | 155 | 93 | 124 | 121 | 221 | 25 | 48 | -4 | 22 | 19 | 93 | -51 | 284 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 942 | -3417 | -1175 | -1056 | -1195 | -1042 | 17 | -2239 | -349 | -254 | -351 | -242 | 942 | -1535 | -1991 |
| | | | Dritta | 845 | -3456 | -912 | -519 | -731 | -716 | 366 | -1802 | -521 | -167 | -339 | -340 | 845 | -1525 | -2196 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1076 | -3914 | -1256 | -1485 | -1361 | -1367 | -151 | -2565 | -189 | -288 | -189 | -270 | 1076 | -1539 | -2577 |
| | | | Dritta | 1132 | -2793 | -632 | -972 | -825 | -755 | 456 | -2028 | -75 | -348 | -218 | -190 | 1132 | -1543 | -1318 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3846 | 94 | 2366 | 1350 | 1911 | 1817 | 2362 | 1383 | 1050 | 94 | 588 | 554 | 1030 | 114 | 3846 |
| | | | Dritta | 491 | -4953 | -3164 | -1153 | -2211 | -2157 | -2821 | -1546 | -1331 | 491 | -383 | -477 | -994 | 141 | -4953 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4804 | 7 | 2794 | 1621 | 2270 | 2158 | 2578 | 1855 | 1126 | 7 | 578 | 543 | 877 | 246 | 4691 |
| | | | Dritta | 521 | -5275 | -3304 | -1327 | -2374 | -2308 | -2823 | -1849 | -1294 | 521 | -346 | -442 | -793 | 13 | -5275 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4367 | -346 | 2819 | 1093 | 2006 | 1935 | 2526 | 1422 | 1184 | -346 | 417 | 436 | 912 | -63 | 4367 |
| | | | Dritta | 4814 | -394 | 3008 | 1311 | 2204 | 2132 | 2593 | 1753 | 1148 | -394 | 372 | 388 | 728 | 30 | 4752 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4460 | -508 | 2747 | 895 | 1868 | 1806 | 2429 | 1239 | 1144 | -508 | 310 | 334 | 843 | -204 | 4460 |
| | | | Dritta | 4634 | -561 | 2824 | 1046 | 1968 | 1918 | 2463 | 1425 | 1066 | -561 | 237 | 267 | 707 | -204 | 4634 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

***Azioni trasmesse alle flange***

| | | | | C08 CAVO | C09 CAVO | C10 CRESTA | C12 CRESTA | C12 CAVO | C13 CAVO | C13 CRESTA | C14 CAVO | C15 CAVO | CA2 | CA3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -11509 | -10507 | -5260 | -7228 | -7344 | -10218 | -4308 | -16458 | -10010 | -1577 | -7392 |
| | | | Dritta | -11492 | -10611 | -5854 | -6294 | -8641 | -10241 | -4745 | -16724 | -10369 | -1270 | -7581 |
| | | Fondo | Sinistra | 10724 | 9722 | 6029 | 5931 | 8698 | 9446 | 5238 | 15712 | 9457 | 1568 | 7417 |
| | | | Dritta | 11460 | 10579 | 5817 | 7441 | 7470 | 10142 | 4719 | 16599 | 10171 | 1277 | 7554 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -11337 | -10692 | -5196 | -6890 | -7000 | -9686 | -4157 | -16501 | -9916 | -1355 | -7051 |
| | | | Dritta | -10852 | -10077 | -4868 | -5562 | -7883 | -9135 | -4361 | -15790 | -9421 | -987 | -6837 |
| | | Fondo | Sinistra | 10579 | 9934 | 6159 | 5582 | 8340 | 9045 | 4930 | 15868 | 9548 | 1344 | 7063 |
| | | | Dritta | 10810 | 10035 | 4714 | 6720 | 6727 | 8952 | 4446 | 15598 | 9109 | 997 | 6822 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -278 | -820 | -959 | 226 | 78 | -599 | 908 | -1224 | -1286 | 297 | 150 |
| | | | Dritta | 783 | 1126 | 2172 | 998 | 955 | 1668 | 280 | 1993 | 2058 | 605 | 973 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -834 | -1347 | -2205 | -977 | -851 | -1355 | -472 | -2265 | -2022 | -430 | -911 |
| | | | Dritta | 961 | 1267 | 1772 | 623 | 709 | 1588 | -256 | 2141 | 2016 | -87 | 669 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 17 | -22 | -90 | 137 | -157 | -127 | 103 | -68 | -158 | 29 | -9 |
| | | | Dritta | -32 | 7 | -13 | 158 | -137 | -136 | 153 | -194 | -94 | -29 | 9 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -201 | -227 | -318 | -269 | 24 | -222 | -18 | -358 | -326 | -21 | -123 |
| | | | Dritta | 117 | 143 | -25 | -26 | 270 | 126 | 123 | 262 | 115 | 21 | 123 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | -1362 | -2193 | -3163 | -1134 | -1104 | -2399 | 170 | -3259 | -3417 | -295 | -1118 |
| | | | Dritta | -1158 | -1845 | -2626 | -662 | -786 | -2112 | 673 | -3456 | -3045 | -341 | -728 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -1493 | -2253 | -3451 | -1321 | -1406 | -2525 | -202 | -3914 | -3523 | -227 | -1361 |
| | | | Dritta | -777 | -1523 | -2755 | -829 | -750 | -1902 | 323 | -2625 | -2793 | -199 | -785 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2567 | 2227 | 1437 | 1458 | 2265 | 2231 | 1513 | 3782 | 2092 | 585 | 1889 |
| | | | Dritta | -3433 | -3099 | -1436 | -2314 | -2055 | -2906 | -1445 | -4780 | -2841 | -450 | -2216 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 3084 | 2937 | 1981 | 1770 | 2652 | 2816 | 1627 | 4804 | 2959 | 576 | 2240 |
| | | | Dritta | -3609 | -3443 | -1762 | -2495 | -2189 | -3183 | -1481 | -5249 | -3322 | -413 | -2372 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3028 | 2713 | 1543 | 1883 | 2058 | 2659 | 1275 | 4280 | 2553 | 444 | 1999 |
| | | | Dritta | 3288 | 3060 | 1945 | 1920 | 2411 | 2987 | 1353 | 4814 | 3039 | 397 | 2197 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2987 | 2787 | 1468 | 1739 | 1933 | 2526 | 1140 | 4318 | 2565 | 339 | 1865 |
| | | | Dritta | 3121 | 2927 | 1595 | 1696 | 2187 | 2672 | 1219 | 4567 | 2776 | 269 | 1973 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tabella 2**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | C01 CAVO | C01 CRESTA | C02 CAVO | C02 CRESTA | C03 CAVO | C03 CRESTA | C04 CAVO | C04 CRESTA | C05 CAVO | C05 CRESTA | C06 CAVO | C06 CRESTA | C07 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | 1596 | -16628 | -10693 | -3697 | -7382 | -7139 | -9275 | -5255 | -4546 | 1596 | -1451 | -1564 | -3225 | 233 | -16628 |
| | | | Dritta | 1544 | -16798 | -10504 | -4458 | -7624 | -7379 | -9180 | -5869 | -3963 | 1544 | -1201 | -1224 | -2630 | 205 | -16715 |
| | | Fondo | Sinistra | 15651 | -756 | 9690 | 4863 | 7327 | 7273 | 8824 | 5823 | 3765 | -756 | 1459 | 1560 | 2870 | 147 | 15651 |
| | | | Dritta | 16757 | -1690 | 10571 | 4262 | 7514 | 7444 | 9046 | 5914 | 4074 | -1690 | 1089 | 1353 | 2554 | -133 | 16757 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1900 | -17024 | -10487 | -3316 | -7079 | -6855 | -9104 | -4798 | -4456 | 1900 | -1234 | -1362 | -3138 | 565 | -17024 |
| | | | Dritta | 1893 | -16098 | -9766 | -3612 | -6807 | -6609 | -8744 | -4687 | -3744 | 1893 | -898 | -938 | -2743 | 907 | -16098 |
| | | Fondo | Sinistra | 16001 | -1044 | 9456 | 4485 | 7010 | 6975 | 8494 | 5500 | 3656 | -1044 | 1241 | 1356 | 2652 | -57 | 16001 |
| | | | Dritta | 16177 | -2047 | 9852 | 3422 | 6711 | 6688 | 8724 | 4648 | 3860 | -2047 | 787 | 1068 | 2760 | -926 | 16177 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 980 | -1841 | -312 | 313 | -6 | -7 | 650 | -638 | -40 | 510 | 241 | 244 | 966 | -481 | -1094 |
| | | | Dritta | 2669 | -430 | 916 | 1356 | 1207 | 1061 | 117 | 2158 | 454 | 869 | 715 | 608 | -430 | 1755 | 1399 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 470 | -2827 | -843 | -1374 | -1132 | -1066 | -205 | -1970 | -291 | -671 | -474 | -465 | 470 | -1413 | -1880 |
| | | | Dritta | 2703 | -1030 | 1001 | 706 | 838 | 865 | -40 | 1751 | 99 | -198 | -86 | -14 | -1030 | 932 | 1699 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 124 | -179 | -5 | -70 | -33 | -35 | 63 | -131 | 64 | -7 | 25 | 36 | 124 | -64 | 93 |
| | | | Dritta | 188 | -221 | -22 | 85 | 43 | 25 | 49 | 14 | -72 | 6 | -28 | -34 | -16 | -48 | -119 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 95 | -457 | -166 | -150 | -167 | -153 | -27 | -290 | -42 | -4 | -17 | -29 | 95 | -140 | -349 |
| | | | Dritta | 380 | -50 | 198 | 125 | 158 | 163 | 261 | 60 | 59 | -9 | 20 | 26 | 98 | -50 | 380 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3809 | 91 | 2345 | 1331 | 1890 | 1798 | 2356 | 1350 | 1045 | 91 | 584 | 550 | 1041 | 95 | 3809 |
| | | | Dritta | 490 | -4949 | -3160 | -1147 | -2206 | -2152 | -2811 | -1547 | -1333 | 490 | -385 | -478 | -990 | 134 | -4949 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4822 | 10 | 2802 | 1635 | 2282 | 2168 | 2581 | 1874 | 1124 | 10 | 579 | 543 | 869 | 256 | 4700 |
| | | | Dritta | 520 | -5264 | -3304 | -1331 | -2376 | -2309 | -2825 | -1850 | -1290 | 520 | -345 | -440 | -793 | 15 | -5264 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4327 | -350 | 2800 | 1075 | 1986 | 1917 | 2529 | 1382 | 1177 | -350 | 411 | 431 | 930 | -92 | 4327 |
| | | | Dritta | 4876 | -390 | 3027 | 1327 | 2222 | 2149 | 2590 | 1793 | 1155 | -390 | 378 | 393 | 710 | 58 | 4790 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4456 | -510 | 2746 | 890 | 1864 | 1803 | 2430 | 1232 | 1145 | -510 | 310 | 334 | 848 | -209 | 4456 |
| | | | Dritta | 4638 | -560 | 2826 | 1052 | 1972 | 1922 | 2463 | 1433 | 1065 | -560 | 237 | 268 | 703 | -200 | 4638 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

***Azioni trasmesse alle flange***

| | | | | C08 CAVO | C09 CAVO | C10 CRESTA | C12 CRESTA | C12 CAVO | C13 CAVO | C13 CRESTA | C14 CAVO | C15 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -11483 | -10463 | -5185 | -7203 | -7319 | -10166 | -4309 | -16384 | -9936 |
| | | | Dritta | -11519 | -10655 | -5929 | -6320 | -8666 | -10292 | -4744 | -16798 | -10443 |
| | | Fondo | Sinistra | 10699 | 9680 | 5955 | 5906 | 8674 | 9397 | 5238 | 15641 | 9387 |
| | | | Dritta | 11485 | 10621 | 5892 | 7466 | 7494 | 10192 | 4719 | 16671 | 10242 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -11368 | -10740 | -5268 | -6912 | -7023 | -9740 | -4148 | -16583 | -9994 |
| | | | Dritta | -10821 | -10028 | -4796 | -5540 | -7860 | -9080 | -4370 | -15707 | -9343 |
| | | Fondo | Sinistra | 10610 | 9982 | 6232 | 5603 | 8363 | 9098 | 4920 | 15950 | 9625 |
| | | | Dritta | 10779 | 9986 | 4641 | 6698 | 6704 | 8898 | 4456 | 15517 | 9033 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -495 | -1167 | -1456 | 71 | -84 | -987 | 980 | -1801 | -1841 |
| | | | Dritta | 999 | 1473 | 2669 | 1152 | 1117 | 2056 | 208 | 2570 | 2613 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -1029 | -1672 | -2738 | -1162 | -1036 | -1735 | -462 | -2827 | -2564 |
| | | | Dritta | 1156 | 1591 | 2305 | 808 | 894 | 1968 | -267 | 2703 | 2559 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 9 | -41 | -121 | 107 | -174 | -143 | 72 | -41 | -179 |
| | | | Dritta | -24 | 26 | 18 | 188 | -120 | -120 | 184 | -221 | -72 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -251 | -277 | -364 | -300 | -21 | -266 | -50 | -457 | -376 |
| | | | Dritta | 168 | 193 | 20 | 5 | 315 | 170 | 156 | 361 | 165 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2543 | 2192 | 1405 | 1438 | 2244 | 2195 | 1510 | 3730 | 2042 |
| | | | Dritta | -3430 | -3097 | -1431 | -2309 | -2050 | -2907 | -1434 | -4782 | -2844 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 3093 | 2952 | 1991 | 1782 | 2662 | 2833 | 1632 | 4822 | 2983 |
| | | | Dritta | -3606 | -3441 | -1767 | -2498 | -2189 | -3181 | -1486 | -5235 | -3318 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3004 | 2675 | 1487 | 1864 | 2039 | 2616 | 1281 | 4217 | 2492 |
| | | | Dritta | 3310 | 3097 | 2001 | 1938 | 2430 | 3029 | 1347 | 4876 | 3099 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2985 | 2783 | 1457 | 1736 | 1930 | 2520 | 1139 | 4310 | 2557 |
| | | | Dritta | 3123 | 2932 | 1605 | 1700 | 2191 | 2678 | 1221 | 4575 | 2785 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 5.3 Azioni nelle connessioni in condizioni operative con scafo emerso

In Tabella 3 e in Tabella 4 sono riportate le componenti di sollecitazione nelle connessioni valutate per la condizione di scafo emerso in condizioni di operative, ottenute mediante l'analisi ad elementi finiti dell'intero scafo. I valori riportati in tabella fanno riferimento agli stati limite di esercizio e vanno quindi fattorizzati per ottenere i corrispondenti valori agli SLU.

Le due tabelle fanno riferimento ai due estremi del range previsto per il gioco esistente tra le gambe del jack-up e lo scafo (rispettivamente gioco minimo e massimo).

**Tabella 3**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | CE1 | CE2 | CE3 | CE4 | CE5 | CE6 | CE7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -561 | -7236 | -561 | -2595 | -6443 | -2646 | -5280 | -7236 | -7202 |
| | | | Dritta | -1030 | -8183 | -1030 | -2944 | -6187 | -3125 | -5250 | -7759 | -8183 |
| | | Fondo | Sinistra | 7331 | 590 | 590 | 2531 | 5777 | 2452 | 4753 | 6615 | 7331 |
| | | | Dritta | 7973 | 1007 | 1007 | 2960 | 6407 | 3176 | 5421 | 7899 | 7973 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -522 | -7861 | -522 | -2818 | -6422 | -4573 | -5893 | -7861 | -7270 |
| | | | Dritta | -981 | -8240 | -981 | -3066 | -6121 | -4417 | -5630 | -8127 | -8240 |
| | | Fondo | Sinistra | 7537 | 552 | 552 | 2749 | 5749 | 4343 | 5355 | 7226 | 7537 |
| | | | Dritta | 8281 | 958 | 958 | 3087 | 6348 | 4504 | 5813 | 8281 | 7892 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -443 | -1454 | -475 | -593 | -443 | -1454 | -771 | -831 | -599 |
| | | | Dritta | -433 | -1229 | -433 | -502 | -466 | -880 | -603 | -1229 | -1088 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 367 | -643 | 367 | 228 | 341 | -643 | 21 | 85 | 317 |
| | | | Dritta | 1203 | 142 | 559 | 511 | 584 | 142 | 439 | 1061 | 1203 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 44 | -59 | -21 | -11 | 41 | -59 | 5 | 44 | -47 |
| | | | Dritta | 81 | -142 | 21 | 11 | -41 | 81 | -4 | -43 | -142 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 35 | -142 | 35 | 11 | -8 | -56 | -28 | -60 | -142 |
| | | | Dritta | 78 | -47 | -35 | -11 | 8 | 78 | 29 | 61 | -47 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 82 | -887 | -302 | -352 | -221 | -887 | -434 | -52 | 82 |
| | | | Dritta | -354 | -864 | -354 | -537 | -757 | -864 | -791 | -723 | -615 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 138 | -504 | 138 | 47 | 110 | -504 | -87 | -459 | -323 |
| | | | Dritta | 463 | -20 | 77 | 181 | 463 | -20 | 316 | 212 | 324 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1561 | -22 | -22 | 455 | 1294 | 400 | 1017 | 1418 | 1561 |
| | | | Dritta | -218 | -2553 | -218 | -814 | -1894 | -919 | -1598 | -2553 | -2504 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1761 | -20 | -20 | 553 | 1351 | 987 | 1251 | 1674 | 1761 |
| | | | Dritta | -223 | -2627 | -223 | -850 | -1867 | -1240 | -1683 | -2627 | -2496 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1881 | 113 | 113 | 644 | 1658 | 585 | 1327 | 1836 | 1881 |
| | | | Dritta | 2216 | 250 | 250 | 783 | 1712 | 807 | 1434 | 2114 | 2216 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2076 | 157 | 157 | 762 | 1707 | 1180 | 1555 | 2076 | 1975 |
| | | | Dritta | 2371 | 298 | 298 | 882 | 1756 | 1247 | 1608 | 2364 | 2371 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tabella 4**

| Azioni trasmesse alle flange | | | | Max | Min | CE1 | CE2 | CE3 | CE4 | CE5 | CE6 | CE7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -553 | -7705 | -553 | -2663 | -6850 | -2861 | -5638 | -7705 | -7334 |
| | | | Dritta | -1014 | -8402 | -1014 | -3069 | -6768 | -3473 | -5783 | -8402 | -8391 |
| | | Fondo | Sinistra | 7583 | 570 | 570 | 2687 | 6480 | 2884 | 5402 | 7386 | 7583 |
| | | | Dritta | 8509 | 997 | 997 | 3044 | 6932 | 3442 | 5881 | 8509 | 8143 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -514 | -8332 | -514 | -2885 | -6831 | -4780 | -6253 | -8332 | -7414 |
| | | | Dritta | -965 | -8768 | -965 | -3191 | -6700 | -4773 | -6161 | -8768 | -8436 |
| | | Fondo | Sinistra | 7999 | 532 | 532 | 2905 | 6453 | 4784 | 6004 | 7999 | 7771 |
| | | | Dritta | 8889 | 948 | 948 | 3170 | 6872 | 4761 | 6270 | 8889 | 8080 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -441 | -1447 | -475 | -592 | -441 | -1447 | -769 | -830 | -601 |
| | | | Dritta | -433 | -1230 | -433 | -503 | -467 | -888 | -605 | -1230 | -1086 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 367 | -638 | 367 | 227 | 340 | -638 | 20 | 84 | 314 |
| | | | Dritta | 1206 | 137 | 559 | 511 | 585 | 137 | 439 | 1061 | 1206 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 40 | -71 | -21 | -11 | 37 | -71 | 3 | 40 | -26 |
| | | | Dritta | 72 | -125 | 21 | 11 | -38 | 72 | -2 | -39 | -125 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 35 | -119 | 35 | 11 | -4 | -67 | -25 | -54 | -119 |
| | | | Dritta | 68 | -35 | -35 | -11 | 4 | 68 | 25 | 55 | -31 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 76 | -871 | -303 | -350 | -214 | -871 | -427 | -44 | 76 |
| | | | Dritta | -353 | -860 | -353 | -545 | -774 | -860 | -809 | -737 | -645 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 138 | -493 | 138 | 46 | 107 | -493 | -90 | -462 | -334 |
| | | | Dritta | 477 | 17 | 76 | 187 | 477 | 17 | 332 | 224 | 307 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1625 | -27 | -27 | 493 | 1446 | 495 | 1159 | 1580 | 1625 |
| | | | Dritta | -216 | -2697 | -216 | -833 | -2018 | -981 | -1706 | -2697 | -2545 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1844 | -25 | -25 | 592 | 1509 | 1096 | 1399 | 1844 | 1809 |
| | | | Dritta | -221 | -2770 | -221 | -869 | -1988 | -1299 | -1789 | -2770 | -2538 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1974 | 110 | 110 | 666 | 1780 | 653 | 1436 | 1974 | 1922 |
| | | | Dritta | 2287 | 246 | 246 | 815 | 1867 | 897 | 1575 | 2287 | 2272 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2215 | 154 | 154 | 784 | 1830 | 1247 | 1665 | 2215 | 2017 |
| | | | Dritta | 2537 | 294 | 294 | 913 | 1911 | 1339 | 1749 | 2537 | 2424 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Per una descrizione delle diverse combinazioni di carico (CE1-CE7) si rimanda al documento MV055P-PV-GNR-6010.

## 5.4 Azioni nelle connessioni in fase di riconfigurazione scafo

Mediante le analisi ad elementi finiti riportate in MV055P-PV-GNR-6010 sono state valutate le azioni nelle connessioni anche nelle fasi di riconfigurazione degli scafi.

I valori riportati nelle seguenti tabelle fanno riferimento agli stati limite di esercizio e vanno quindi fattorizzati per ottenere i corrispondenti valori agli SLU.

In questa fase, in corrispondenza di ciascuna delle due connessioni superiori, sono previste attive tutte e quattro le barre pretensionate al 50% del valore finale e le bussole a taglio.
Al lato inferiore dello scafo non è invece possibile inserire barre in quanto in zona sommersa. E' previsto quindi il calaggio e posizionamento delle chiavarde ad asse verticale nelle apposite sedi ricavate nei "denti" sovrapposti tra i moduli dello scafo.
E pertanto in tale fase le connessioni superiori sono in grado di trasmettere tutte e sei le componenti di sollecitazione (N, V2, V3, T, M2, M3) mentre le connessioni inferiori sono in grado di trasmettere esclusivamente azioni longitudinali (N); azioni di compressione vengono trasmesse per contatto tra le flange (lavorate di macchina).
Si fa osservare che il piano di zavorramento richiesto per il sollevamento scafo è tale da non prevedere l'insorgere di azioni di trazione sulle connessioni su fondo scafo che in fase di sollevamento sono quindi sempre compresse.
Anche durante le fasi di galleggiamento non si riscontrano azioni di trazione che interessino le connessioni. Si è tuttavia deciso in via cautelativa di dimensionare la connessione inferiore in fase di riconfigurazione scafi (chiavarde ad asse verticale + "denti") per una trazione massima pari a 2000 kN (valore già SLU).
Azioni longitudinali di compressione sulla connessione inferiore non generano stati di sforzo significativi viste le ampie risorse garantite dal contatto tra le flange di 130 mm di spessore.

### 5.4.1 Scafo emerso - configurazione lunga

In Tabella 5 e in Tabella 6 sono riportate le azioni negli elementi delle connessioni per scafo lungo (3 moduli) emerso in fase di riconfigurazione. In particolare la Tabella 5 si riferisce alla connessione superiore e la Tabella 6 alle connessioni inferiori.
Per ogni connessione si riportano i risultati relativi a due casi con diversi valori di gioco tra gambe e scafo: il caso 1 si riferisce al gioco minimo, mentre il caso 2 al massimo. Nelle verifiche saranno utilizzate le situazioni più sfavorevoli.
I valori sono stati calcolati ipotizzando un gap di 2 mm tra le flange inferiori prima del contatto. Si tratta di una ipotesi cautelativa in quanto le tolleranze dimensionali a disegno garantiscono valori inferiori.

**Tabella 5 – Connessioni superiori**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | Assemblaggio_caso1 | Assemblaggio_caso2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | 1078 | 876 | 876 | 1078 |
| | | | Dritta | 634 | 22 | 22 | 634 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1135 | 930 | 930 | 1135 |
| | | | Dritta | 666 | 57 | 57 | 666 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -424 | -428 | -424 | -428 |
| | | | Dritta | -441 | -446 | -446 | -441 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 408 | 406 | 406 | 408 |
| | | | Dritta | 526 | 525 | 526 | 525 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | -37 | -58 | -37 | -58 |
| | | | Dritta | 58 | 37 | 37 | 58 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 50 | 30 | 30 | 50 |
| | | | Dritta | -30 | -50 | -30 | -50 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | -232 | -243 | -243 | -232 |
| | | | Dritta | -213 | -229 | -229 | -213 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 163 | 145 | 163 | 145 |
| | | | Dritta | 172 | 155 | 172 | 155 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | -602 | -907 | -602 | -907 |
| | | | Dritta | 880 | 661 | 661 | 880 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -658 | -980 | -658 | -980 |
| | | | Dritta | 861 | 653 | 653 | 861 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -1627 | -2025 | -1627 | -2025 |
| | | | Dritta | -1494 | -1902 | -1494 | -1902 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -1618 | -2018 | -1618 | -2018 |
| | | | Dritta | -1462 | -1867 | -1462 | -1867 |

**Tabella 6 – Connessioni inferiori**

| | Assemblaggio_caso1 | | | Assemblaggio_caso2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | sinistra | dritta | totale | sinistra | dritta | totale |
| **Poppa** | -241 | -194 | -435 | -878 | -720 | -1597 |
| **Prua** | -290 | -233 | -524 | -928 | -758 | -1686 |

### 5.4.2 Scafo emerso - configurazione corta

**In**

Tabella 7 e in Tabella 8 sono riportate le azioni negli elementi delle connessioni per scafo corto (2 moduli ad L) emerso, in fase di riconfigurazione.

**In particolare la**

Tabella 7 si riferisce alla connessione superiore e la Tabella 8 alle connessioni inferiori. Valgono le considerazioni già riportate al paragrafo precedente.

**Tabella 7 – Connessioni superiori**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | Max | Min | Assemblaggio_caso1 | Assemblaggio_caso2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Coperta | Sinistra | 2068 | 1897 | 1897 | 2068 |
| | | Dritta | 1731 | 1113 | 1113 | 1731 |
| V2 (kN) Taglio | Coperta | Sinistra | 0 | -1 | 0 | -1 |
| | | Dritta | 59 | 57 | 57 | 59 |
| V3 (kN) Taglio | Coperta | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | | Dritta | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T (kNm) | Coperta | Sinistra | -39 | -40 | -39 | -40 |
| | | Dritta | -28 | -31 | -28 | -31 |
| M22 (kNm) | Coperta | Sinistra | -1201 | -1561 | -1201 | -1561 |
| | | Dritta | 1539 | 1316 | 1316 | 1539 |
| M33 (kNm) | Coperta | Sinistra | -2454 | -2855 | -2454 | -2855 |
| | | Dritta | -2358 | -2753 | -2358 | -2753 |

**Tabella 8 – Connessioni inferiori**

| Assemblaggio_caso1 | | | Assemblaggio_caso2 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| sinistra | dritta | totale | sinistra | dritta | totale |
| -1349 | -1264 | -2613 | -1991 | -1749 | -3740 |

### 5.4.3 Condizioni di galleggiamento

In Tabella 9 e Tabella 10 sono riportate le azioni negli elementi delle connessioni durante le fasi di galleggiamento.

I valori fanno riferimento alle azioni più severe registrate per le configurazioni di scafo lungo e scafo corto. In particolare la Tabella 9 si riferisce alla connessione superiore e la Tabella 10 alle connessioni inferiori. Valgono le considerazioni già riportate ai paragrafi precedenti.

Si sottolinea la completa assenza di azioni di trazione nelle connessioni inferiori.

**Tabella 9 – Connessioni superiori**

| ***Azioni trasmesse alle flange*** | | | | **Max** | **Min** | **CA1** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **N (kN)** | Poppa | Coperta | Sinistra | -17 | -17 | -17 |
| | | | Dritta | 15 | 15 | 15 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -19 | -19 | -19 |
| | | | Dritta | 17 | 17 | 17 |
| **V2 (kN) Taglio vert.** | Poppa | Coperta | Sinistra | 143 | 143 | 143 |
| | | | Dritta | 353 | 353 | 353 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -421 | -421 | -421 |
| | | | Dritta | -111 | -111 | -111 |
| **V3 (kN) Taglio orizz.** | Poppa | Coperta | Sinistra | -46 | -46 | -46 |
| | | | Dritta | 46 | 46 | 46 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 39 | 39 | 39 |
| | | | Dritta | -39 | -39 | -39 |
| **T (kNm)** | Poppa | Coperta | Sinistra | -342 | -342 | -342 |
| | | | Dritta | -268 | -268 | -268 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -131 | -131 | -131 |
| | | | Dritta | -182 | -182 | -182 |
| **M22 (kNm) flettente orizz.** | Poppa | Coperta | Sinistra | 895 | 895 | 895 |
| | | | Dritta | -706 | -706 | -706 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 931 | 931 | 931 |
| | | | Dritta | -722 | -722 | -722 |
| **M33 (kNm) flettente vert.** | Poppa | Coperta | Sinistra | 2633 | 2633 | 2633 |
| | | | Dritta | 2525 | 2525 | 2525 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2580 | 2580 | 2580 |
| | | | Dritta | 2429 | 2429 | 2429 |

**Tabella 10 – Connessioni inferiori**

| | **Assemblaggio_caso1** | | |
|---|---|---|---|
| **Poppa** | sinistra | dritta | totale |
| Gap_inf | 0 | 0 | 0 |
| Hook_inf | 0 | 0 | 0 |

| | **Assemblaggio_caso1** | | |
|---|---|---|---|
| **Prua** | sinistra | dritta | totale |
| Gap_inf | 0 | 0 | 0 |
| Hook_inf | 0 | 0 | 0 |

## 5.5 Azioni sui "denti" delle chiavarde verticali

La massima forza verticale sui "denti" delle chiavarde ad asse verticale in fase di accosto e riconfigurazione scafi è stata valutata pari a 400 kN.
Tale carico, che può considerarsi uniformemente distribuito sulla superficie del "dente" tiene conto di errori (circa il 20%) della zavorra complessiva da movimentare e di una stima cautelativa delle azioni mutue dovute al possibile moto dei moduli.

## 5.6 Precarico delle barre

Le barre devono essere precaricate mediante tensionatori idraulici.
Con filettatura passo 6 la sezione nominale resistente della barra è pari a 187cm$^2$ (sezione di nocciolo 183 cm$^2$).
Il valore nominale massimo di forza applicata dal tensionatore in fase di pretensionamento, mediante il tensionatore idraulico è pari a 9500 kN.
In fase di riconfigurazione scafo, tale valore viene dimezzato per tutte le barre superiori di ciascuna connessione.

Considerata la lunghezza limitata e le dimensioni della barra viene messa in conto una perdita immediata pari al 30% e pertanto nelle verifiche si metterà in conto una pretrazione della barra pari a:
$F_P = 0.7x9500/1.1 = 6045$ kN
Nelle verifiche a scorrimento (SLE), cautelativamente la perdita di precarico è stata considerata pari al 40%.
Si sottolinea che comunque i tagli agli SLU sono ripresi dalle due boccole previste nelle connessioni superiori.

## 5.7 Accidentali sugli impalcati di servizio

Oltre ai pesi propri, i carichi accidentali considerati sugli impalcati di servizio dei locali di connessione tra gli scafi sono:
accidentale uniformemente distribuito 5 kN/m$^2$

# 6. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

## 6.1 Criteri adottati

Nel presente capitolo si descrivono le verifiche agli stati limite ultimi degli elementi della connessione.

Per la verifica degli elementi in ciascuna delle connessioni poste ai quattro vertici della sezione trasversale di scafo (connessioni flangiate) in genere le verifiche sono state eseguite in due fasi.
In una prima fase è stato adottato un approccio ingegneristico: ciascuna delle quattro connessioni è stata considerata come una connessione flangiata soggetta a azione assiale + momento flettente nelle due direzioni. La valutazione delle trazioni nelle barre e delle compressioni tra le flange è stata condotta secondo gli usuali criteri delle connessioni flangiate, ipotizzando che la sezione si mantenga piana.
In una seconda fase poi in considerazione della complessità della geometria, dell'estensione della flangia, delle dimensioni delle barre si è deciso di realizzare un modello ad elementi finiti dell'intera locale posto sul lato di sinistra, contenente la connessione flangiata superiore (con bussola a taglio) ed inferiore e l'adiacente locale chiavarda (non attiva in queste fasi).
Tale modello, che sarà descritto più in dettaglio nel seguito, è stato utilizzato per analizzare le sole combinazioni di carico più gravose.
Scopo della modellazione ad elementi finiti è principalmente:

- modellare in modo più fedele (contatti non lineari) il contatto tra le flange e la deformabilità delle flange stesse, rimuovendo quindi l'ipotesi semplificativa di conservazione delle sezioni piane.
- Cogliere gli sforzi flessionali nelle barre che, su barre di questa dimensione, non sono trascurabili e di cui, l'approccio ingegneristico precedentemente descritto, non teneva in conto.
- Cogliere la disomogeneità della ripartizione dell'impegno statico tra le quattro barre, in virtù della diversa rigidità delle diverse zone di flangia.

Necessità d'ordine pratico hanno imposto di limitare l'estensione del modello FEM ai due locali presenti nei due moduli contrapposti. In corrispondenza dei confini del modello sono state imposte le condizioni al contorno, in termini di

sforzo, desunte dal modello dell'intero scafo, per ciascuna combinazione analizzata.
Oltre a consentire una più realistica valutazione dello stato tensionale nelle barre il modello ad elementi finiti permette la verifica di resistenza di tutte le piastre strutturali relative alla zona "locali di connessione" compreso quindi coperta e fondo scafo, flange delle connessioni e loro irrigidimenti etc.
Si rimanda quindi ai risultati delle analisi ad elementi finiti per la valutazione dello stato tensionale di tali elementi.

Per quanto concerne invece la verifica delle bussole e delle loro sedi sono stati realizzati modelli ad elementi finiti locali, uno per la bussola cilindrica ed uno per quella a sezione quadrata.

Anche per le verifiche locali delle chiavarde verticali e delle loro sedi è stato realizzato un modello locale ad elementi finiti.

## 6.2 Verifica connessioni flangiate – approccio ingegneristico

### 6.2.1 Navigazione

Per ricavare le componenti di sollecitazione SLU nelle connessioni flangiate i valori relativi alle condizioni di carico C01 – C02 – C03 – C04 – C05 – C06 – C08 – C09 – C10 – C12 – C13 – C15 – CA2 – CA3 di Tabella 1 e di
Tabella 2 sono stati moltiplicati per un fattore 1.5 mentre le condizioni di carico C07– C14 restano immutate.
I risultati così ottenuti sono riportati in Tabella 11 e in Tabella 12.

**Tabella 11**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | C01 CAVO | C01 CRESTA | C02 CAVO | C02 CRESTA | C03 CAVO | C03 CRESTA | C04 CAVO | C04 CRESTA | C05 CAVO | C05 CRESTA | C06 CAVO | C06 CRESTA | C07 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | 2383 | -17263 | -16073 | -5589 | -11112 | -10745 | -13908 | -7963 | -6823 | 2383 | -2183 | -2354 | -4799 | 296 | -16672 |
| | | | Dritta | 2327 | -17238 | -15723 | -6644 | -11396 | -11032 | -13775 | -8723 | -5941 | 2327 | -1794 | -1829 | -3983 | 361 | -16671 |
| | | Fondo | Sinistra | 16087 | -1123 | 14567 | 7337 | 11028 | 10945 | 13232 | 8812 | 5651 | -1123 | 2195 | 2347 | 4267 | 273 | 15693 |
| | | | Dritta | 17190 | -2547 | 15825 | 6351 | 11233 | 11130 | 13574 | 8793 | 6108 | -2547 | 1626 | 2022 | 3868 | -251 | 16714 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2857 | -17005 | -15692 | -4946 | -10583 | -10250 | -13661 | -7124 | -6668 | 2857 | -1839 | -2032 | -4738 | 901 | -16972 |
| | | | Dritta | 2833 | -16278 | -14687 | -5446 | -10246 | -9947 | -13110 | -7104 | -5632 | 2833 | -1360 | -1418 | -4083 | 1306 | -16151 |
| | | Fondo | Sinistra | 15949 | -1573 | 14145 | 6699 | 10480 | 10431 | 12747 | 8179 | 5468 | -1573 | 1849 | 2023 | 4009 | -139 | 15949 |
| | | | Dritta | 16229 | -3063 | 14816 | 5161 | 10102 | 10064 | 13081 | 7043 | 5807 | -3063 | 1193 | 1613 | 4109 | -1335 | 16229 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1361 | -1929 | -200 | 672 | 239 | 216 | 925 | -436 | 52 | 819 | 450 | 440 | 1219 | -328 | -734 |
| | | | Dritta | 3257 | -415 | 1104 | 1831 | 1562 | 1365 | 225 | 2716 | 569 | 1249 | 984 | 837 | -415 | 2238 | 1040 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 421 | -3307 | -1021 | -1745 | -1417 | -1325 | -347 | -2363 | -403 | -925 | -659 | -638 | 421 | -1722 | -1546 |
| | | | Dritta | 3024 | -1260 | 1258 | 742 | 976 | 1024 | -20 | 2035 | 114 | -379 | -181 | -81 | -1260 | 1000 | 1365 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 205 | -236 | 12 | -53 | -6 | -26 | 122 | -155 | 75 | 0 | 40 | 42 | 174 | -93 | 65 |
| | | | Dritta | 238 | -205 | -52 | 76 | 21 | 11 | 46 | -21 | -87 | -2 | -45 | -40 | -11 | -76 | -91 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 150 | -489 | -185 | -177 | -199 | -168 | 20 | -382 | -47 | -14 | -28 | -33 | 150 | -210 | -253 |
| | | | Dritta | 405 | -76 | 232 | 140 | 185 | 182 | 331 | 37 | 72 | -5 | 34 | 28 | 139 | -76 | 284 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 1412 | -5126 | -1763 | -1584 | -1793 | -1563 | 25 | -3358 | -523 | -382 | -527 | -363 | 1412 | -2302 | -1991 |
| | | | Dritta | 1267 | -4568 | -1368 | -779 | -1097 | -1074 | 549 | -2703 | -782 | -250 | -509 | -509 | 1267 | -2287 | -2196 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 1614 | -5284 | -1884 | -2228 | -2041 | -2050 | -227 | -3847 | -284 | -432 | -283 | -406 | 1614 | -2309 | -2577 |
| | | | Dritta | 1697 | -4190 | -949 | -1458 | -1238 | -1132 | 684 | -3041 | -113 | -521 | -326 | -285 | 1697 | -2314 | -1318 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3851 | 141 | 3549 | 2024 | 2866 | 2726 | 3543 | 2075 | 1575 | 141 | 882 | 831 | 1545 | 171 | 3846 |
| | | | Dritta | 736 | -5150 | -4746 | -1730 | -3316 | -3235 | -4231 | -2320 | -1996 | 736 | -575 | -715 | -1491 | 212 | -4953 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4804 | 10 | 4191 | 2432 | 3405 | 3236 | 3867 | 2782 | 1689 | 10 | 866 | 815 | 1315 | 370 | 4691 |
| | | | Dritta | 781 | -5413 | -4957 | -1991 | -3561 | -3462 | -4234 | -2774 | -1941 | 781 | -519 | -663 | -1190 | 20 | -5275 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4542 | -518 | 4229 | 1639 | 3009 | 2903 | 3790 | 2133 | 1776 | -518 | 626 | 655 | 1368 | -95 | 4367 |
| | | | Dritta | 4931 | -591 | 4512 | 1966 | 3305 | 3198 | 3890 | 2630 | 1722 | -591 | 558 | 581 | 1093 | 44 | 4752 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4480 | -762 | 4121 | 1343 | 2801 | 2709 | 3644 | 1859 | 1716 | -762 | 465 | 501 | 1265 | -306 | 4460 |
| | | | Dritta | 4682 | -842 | 4235 | 1569 | 2952 | 2878 | 3695 | 2137 | 1599 | -842 | 355 | 401 | 1061 | -306 | 4634 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

***Azioni trasmesse alle flange***

| | | | | C08 CAVO | C09 CAVO | C10 CRESTA | C12 CRESTA | C12 CAVO | C13 CAVO | C13 CRESTA | C14 CAVO | C15 CAVO | CA2 | CA3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -17263 | -15761 | -7890 | -10843 | -11016 | -15327 | -6462 | -16458 | -15015 | -2366 | -11087 |
| | | | Dritta | -17238 | -15916 | -8781 | -9441 | -12961 | -15361 | -7118 | -16724 | -15554 | -1904 | -11372 |
| | | Fondo | Sinistra | 16087 | 14583 | 9044 | 8897 | 13048 | 14169 | 7857 | 15712 | 14185 | 2351 | 11126 |
| | | | Dritta | 17190 | 15869 | 8726 | 11162 | 11205 | 15213 | 7078 | 16599 | 15257 | 1916 | 11330 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -17005 | -16037 | -7795 | -10335 | -10500 | -14529 | -6236 | -16501 | -14874 | -2033 | -10576 |
| | | | Dritta | -16278 | -15116 | -7302 | -8343 | -11825 | -13702 | -6541 | -15790 | -14131 | -1481 | -10255 |
| | | Fondo | Sinistra | 15869 | 14900 | 9239 | 8373 | 12510 | 13567 | 7395 | 15868 | 14322 | 2016 | 10595 |
| | | | Dritta | 16214 | 15053 | 7071 | 10080 | 10090 | 13428 | 6670 | 15598 | 13664 | 1495 | 10232 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -417 | -1230 | -1438 | 338 | 117 | -899 | 1361 | -1224 | -1929 | 445 | 225 |
| | | | Dritta | 1174 | 1689 | 3257 | 1497 | 1432 | 2502 | 420 | 1993 | 3087 | 907 | 1459 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -1251 | -2021 | -3307 | -1466 | -1277 | -2033 | -708 | -2265 | -3033 | -645 | -1366 |
| | | | Dritta | 1441 | 1900 | 2658 | 935 | 1063 | 2382 | -384 | 2141 | 3024 | -130 | 1003 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 25 | -34 | -135 | 205 | -236 | -190 | 154 | -68 | -236 | 43 | -14 |
| | | | Dritta | -47 | 11 | -20 | 238 | -205 | -204 | 230 | -194 | -141 | -43 | 14 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -301 | -340 | -477 | -404 | 36 | -334 | -26 | -358 | -489 | -32 | -185 |
| | | | Dritta | 175 | 214 | -38 | -39 | 405 | 190 | 185 | 262 | 172 | 32 | 185 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | -2042 | -3290 | -4745 | -1701 | -1655 | -3599 | 255 | -3259 | -5126 | -443 | -1678 |
| | | | Dritta | -1737 | -2768 | -3938 | -993 | -1179 | -3168 | 1009 | -3456 | -4568 | -511 | -1091 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -2239 | -3380 | -5177 | -1981 | -2109 | -3788 | -303 | -3914 | -5284 | -340 | -2042 |
| | | | Dritta | -1166 | -2285 | -4132 | -1244 | -1125 | -2853 | 484 | -2625 | -4190 | -299 | -1177 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3851 | 3340 | 2156 | 2187 | 3397 | 3346 | 2270 | 3782 | 3138 | 878 | 2833 |
| | | | Dritta | -5150 | -4648 | -2154 | -3471 | -3083 | -4359 | -2168 | -4780 | -4261 | -675 | -3324 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4626 | 4406 | 2972 | 2655 | 3978 | 4224 | 2440 | 4804 | 4438 | 863 | 3360 |
| | | | Dritta | -5413 | -5164 | -2643 | -3742 | -3283 | -4775 | -2222 | -5249 | -4982 | -620 | -3559 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4542 | 4070 | 2314 | 2824 | 3087 | 3989 | 1913 | 4280 | 3830 | 666 | 2998 |
| | | | Dritta | 4931 | 4590 | 2918 | 2880 | 3617 | 4480 | 2029 | 4814 | 4558 | 595 | 3295 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4480 | 4180 | 2201 | 2609 | 2900 | 3789 | 1710 | 4318 | 3848 | 509 | 2798 |
| | | | Dritta | 4682 | 4391 | 2392 | 2544 | 3280 | 4008 | 1828 | 4567 | 4164 | 404 | 2959 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Tabella 12

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | C01 CAVO | C01 CRESTA | C02 CAVO | C02 CRESTA | C03 CAVO | C03 CRESTA | C04 CAVO | C04 CRESTA | C05 CAVO | C05 CRESTA | C06 CAVO | C06 CRESTA | C07 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | 2394 | -17224 | -16040 | -5546 | -11073 | -10708 | -13913 | -7883 | -6819 | 2394 | -2176 | -2346 | -4837 | 349 | -16628 |
| | | | Dritta | 2316 | -17278 | -15756 | -6688 | -11435 | -11069 | -13770 | -8803 | -5945 | 2316 | -1802 | -1836 | -3945 | 308 | -16715 |
| | | Fondo | Sinistra | 16049 | -1134 | 14535 | 7294 | 10990 | 10909 | 13236 | 8734 | 5648 | -1134 | 2189 | 2340 | 4304 | 221 | 15651 |
| | | | Dritta | 17228 | -2536 | 15857 | 6394 | 11270 | 11166 | 13569 | 8871 | 6111 | -2536 | 1633 | 2029 | 3831 | -200 | 16757 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2850 | -17052 | -15730 | -4975 | -10618 | -10283 | -13656 | -7197 | -6684 | 2850 | -1851 | -2042 | -4707 | 847 | -17024 |
| | | | Dritta | 2840 | -16231 | -14648 | -5417 | -10211 | -9914 | -13115 | -7031 | -5616 | 2840 | -1348 | -1407 | -4114 | 1360 | -16098 |
| | | Fondo | Sinistra | 16001 | -1566 | 14183 | 6727 | 10515 | 10463 | 12741 | 8251 | 5484 | -1566 | 1861 | 2034 | 3979 | -86 | 16001 |
| | | | Dritta | 16177 | -3070 | 14777 | 5132 | 10067 | 10032 | 13086 | 6971 | 5791 | -3070 | 1181 | 1602 | 4139 | -1388 | 16177 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 1470 | -2762 | -469 | 469 | -9 | -11 | 975 | -957 | -60 | 764 | 361 | 366 | 1449 | -722 | -1094 |
| | | | Dritta | 4003 | -645 | 1373 | 2034 | 1810 | 1592 | 175 | 3237 | 681 | 1304 | 1073 | 912 | -645 | 2632 | 1399 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 705 | -4107 | -1264 | -2061 | -1698 | -1598 | -308 | -2955 | -437 | -1006 | -712 | -697 | 705 | -2120 | -1880 |
| | | | Dritta | 3838 | -1545 | 1501 | 1059 | 1257 | 1297 | -60 | 2627 | 148 | -297 | -128 | -21 | -1545 | 1398 | 1699 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 187 | -269 | -7 | -104 | -49 | -53 | 95 | -197 | 96 | -11 | 38 | 54 | 187 | -97 | 93 |
| | | | Dritta | 283 | -221 | -32 | 128 | 64 | 37 | 74 | 20 | -107 | 9 | -42 | -52 | -24 | -72 | -119 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 142 | -565 | -249 | -225 | -250 | -230 | -41 | -435 | -62 | -6 | -25 | -44 | 142 | -210 | -349 |
| | | | Dritta | 472 | -76 | 296 | 188 | 237 | 244 | 392 | 90 | 88 | -13 | 30 | 39 | 146 | -76 | 380 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3815 | 137 | 3517 | 1996 | 2835 | 2697 | 3534 | 2025 | 1567 | 137 | 876 | 825 | 1561 | 143 | 3809 |
| | | | Dritta | 735 | -5145 | -4740 | -1721 | -3309 | -3228 | -4216 | -2320 | -1999 | 735 | -577 | -717 | -1485 | 202 | -4949 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4822 | 15 | 4204 | 2453 | 3423 | 3252 | 3871 | 2811 | 1687 | 15 | 868 | 815 | 1303 | 385 | 4700 |
| | | | Dritta | 780 | -5410 | -4955 | -1997 | -3564 | -3463 | -4238 | -2775 | -1935 | 780 | -518 | -659 | -1190 | 23 | -5264 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4506 | -525 | 4199 | 1613 | 2980 | 2876 | 3794 | 2072 | 1766 | -525 | 617 | 647 | 1395 | -138 | 4327 |
| | | | Dritta | 4965 | -584 | 4540 | 1991 | 3333 | 3223 | 3884 | 2689 | 1732 | -584 | 567 | 589 | 1066 | 88 | 4790 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4477 | -765 | 4119 | 1335 | 2797 | 2704 | 3645 | 1848 | 1718 | -765 | 465 | 501 | 1271 | -313 | 4456 |
| | | | Dritta | 4685 | -840 | 4238 | 1578 | 2958 | 2884 | 3695 | 2149 | 1597 | -840 | 355 | 401 | 1054 | -300 | 4638 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

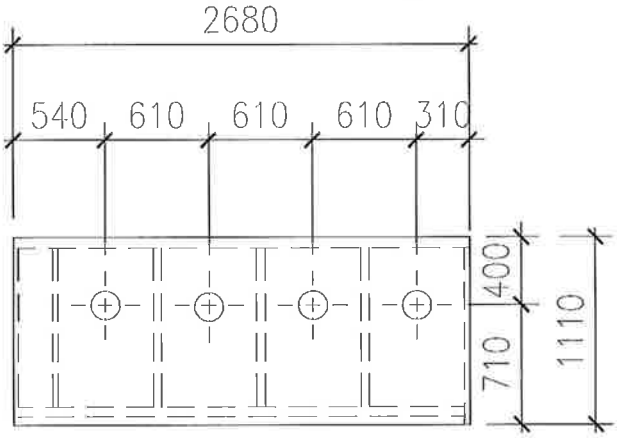
***Azioni trasmesse alle flange***

| | | | | C08 CAVO | C09 CAVO | C10 CRESTA | C12 CRESTA | C12 CAVO | C13 CAVO | C13 CRESTA | C14 CAVO | C15 CAVO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -17224 | -15695 | -7778 | -10804 | -10978 | -15250 | -6464 | -16384 | -14904 |
| | | | Dritta | -17278 | -15982 | -8893 | -9479 | -12999 | -15438 | -7117 | -16798 | -15665 |
| | | Fondo | Sinistra | 16049 | 14520 | 8932 | 8860 | 13011 | 14095 | 7857 | 15641 | 14080 |
| | | | Dritta | 17228 | 15932 | 8838 | 11199 | 11241 | 15288 | 7078 | 16671 | 15363 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -17052 | -16111 | -7902 | -10368 | -10535 | -14610 | -6222 | -16583 | -14991 |
| | | | Dritta | -16231 | -15042 | -7194 | -8310 | -11790 | -13620 | -6555 | -15707 | -14014 |
| | | Fondo | Sinistra | 15915 | 14973 | 9348 | 8405 | 12544 | 13648 | 7381 | 15950 | 14437 |
| | | | Dritta | 16168 | 14980 | 6962 | 10047 | 10056 | 13347 | 6683 | 15517 | 13549 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -742 | -1750 | -2184 | 107 | -126 | -1480 | 1470 | -1801 | -2762 |
| | | | Dritta | 1499 | 2210 | 4003 | 1729 | 1675 | 3084 | 311 | 2570 | 3920 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -1543 | -2508 | -4107 | -1743 | -1554 | -2603 | -693 | -2827 | -3846 |
| | | | Dritta | 1734 | 2387 | 3458 | 1212 | 1341 | 2953 | -400 | 2703 | 3838 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 13 | -62 | -182 | 160 | -261 | -214 | 109 | -41 | -269 |
| | | | Dritta | -36 | 39 | 27 | 283 | -180 | -180 | 275 | -221 | -108 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -377 | -415 | -546 | -450 | -31 | -399 | -75 | -457 | -565 |
| | | | Dritta | 251 | 290 | 31 | 8 | 472 | 255 | 233 | 361 | 248 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 3815 | 3288 | 2107 | 2158 | 3366 | 3292 | 2265 | 3730 | 3063 |
| | | | Dritta | -5145 | -4646 | -2147 | -3464 | -3075 | -4361 | -2151 | -4782 | -4267 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4639 | 4429 | 2987 | 2673 | 3993 | 4249 | 2448 | 4822 | 4474 |
| | | | Dritta | -5410 | -5161 | -2651 | -3747 | -3283 | -4771 | -2230 | -5235 | -4977 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 4506 | 4013 | 2230 | 2796 | 3058 | 3924 | 1922 | 4217 | 3737 |
| | | | Dritta | 4965 | 4646 | 3001 | 2907 | 3644 | 4543 | 2020 | 4876 | 4649 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 4477 | 4174 | 2185 | 2604 | 2895 | 3781 | 1709 | 4310 | 3836 |
| | | | Dritta | 4685 | 4398 | 2408 | 2550 | 3286 | 4017 | 1831 | 4575 | 4177 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Connessioni superiori – Barre

I dati nelle tabelle sopra riportate indicano che la massima trazione delle connessioni superiori si ha nella condizione di carico "C04 cresta" e vale 2857 kN (connessione di prua SX), il massimo momento flettente verticale (M33) sia ha nella condizione di carico "C08 cavo" e vale 4965 kNm (connessione di poppa dritta), il massimo momento orizzontale (in modulo) si verifica nella "C08 cavo" e vale -5413 kNm (connessione di prua dritta).

Al fine di massimizzare l'azione assiale nelle barre consideriamo tali massimi, a favore di sicurezza, concomitanti, anche se in realtà essi si verificano in condizioni di carico ed in posizioni diverse.

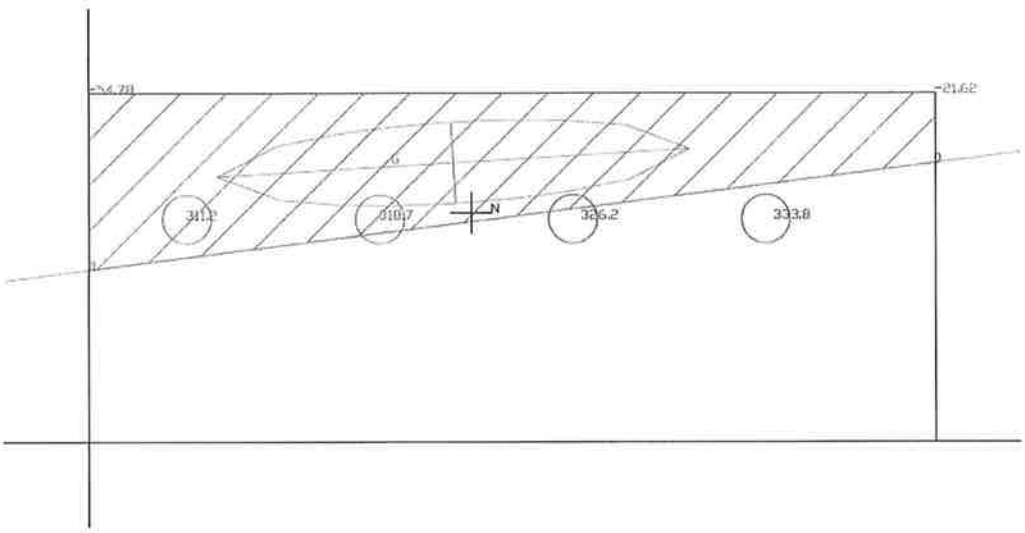



La verifica della flangia riportata a fianco, caricata dalle azioni sopra riportata e precaricata con 6045kN (su ogni barra) fornisce i risultati riportati nella figura sottostante:

massima pressione di contatto = 54.8 MPa

Sforzi nelle barre = 333.8 MPa

Azione assiale nella barra = 187x33.38 = 6242 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN la verifica è soddisfatta.



**Connessioni inferiori – Barre**

La massima azione assiale nelle barre delle flange inferiori vale 17228kN, valore che si verifica nella condizione di carico C08 per la connessione di poppa a dritta.
Ne deriva che la trazione in ciascuna barra associata ai carichi esterni vale 17228/4 = 4307 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN la verifica è soddisfatta.

**Altri elementi strutturali**

Per la verifica di bussole a taglio, flange, costole di irrigidimento, fondo scafo, coperta, fasciame nella zona immediatamente circostante la connessione si rimanda ai risultati delle modellazioni ad elementi finiti riportate nel seguito.

### 6.2.2 Condizioni operative con scafo emerso

Le componenti di sollecitazione SLU sono state ricavate moltiplicando per un fattore 1.5 i valori agli stati limite di esercizio riportati in Tabella 3 e in Tabella 4 e sono qui di seguito riportate per maggiore comodità.

**Tabella 13**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | CE1 | CE2 | CE3 | CE4 | CE5 | CE6 | CE7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -841 | -10854 | -841 | -3893 | -9664 | -3969 | -7920 | -10854 | -10804 |
| | | | Dritta | -1545 | -12275 | -1545 | -4415 | -9280 | -4688 | -7875 | -11638 | -12275 |
| | | Fondo | Sinistra | 10997 | 886 | 886 | 3796 | 8665 | 3677 | 7130 | 9923 | 10997 |
| | | | Dritta | 11959 | 1510 | 1510 | 4440 | 9611 | 4765 | 8132 | 11849 | 11959 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -783 | -11792 | -783 | -4227 | -9632 | -6860 | -8839 | -11792 | -10905 |
| | | | Dritta | -1472 | -12360 | -1472 | -4599 | -9181 | -6626 | -8444 | -12190 | -12360 |
| | | Fondo | Sinistra | 11305 | 828 | 828 | 4123 | 8623 | 6515 | 8032 | 10839 | 11305 |
| | | | Dritta | 12421 | 1437 | 1437 | 4630 | 9521 | 6756 | 8719 | 12421 | 11838 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -664 | -2181 | -713 | -889 | -664 | -2181 | -1156 | -1247 | -898 |
| | | | Dritta | -650 | -1844 | -650 | -753 | -699 | -1320 | -905 | -1844 | -1632 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 550 | -965 | 550 | 342 | 511 | -965 | 31 | 127 | 475 |
| | | | Dritta | 1805 | 213 | 838 | 767 | 877 | 213 | 658 | 1591 | 1805 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 66 | -88 | -32 | -17 | 61 | -88 | 8 | 66 | -70 |
| | | | Dritta | 122 | -213 | 31 | 17 | -61 | 122 | -6 | -65 | -213 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 52 | -213 | 52 | 16 | -12 | -83 | -42 | -89 | -213 |
| | | | Dritta | 117 | -70 | -52 | -16 | 12 | 117 | 43 | 91 | -70 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 122 | -1331 | -454 | -528 | -331 | -1331 | -651 | -78 | 122 |
| | | | Dritta | -531 | -1296 | -531 | -806 | -1136 | -1296 | -1187 | -1085 | -922 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 207 | -755 | 207 | 70 | 166 | -755 | -130 | -688 | -484 |
| | | | Dritta | 694 | -30 | 116 | 271 | 694 | -30 | 474 | 318 | 486 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2341 | -34 | -34 | 682 | 1942 | 600 | 1525 | 2126 | 2341 |
| | | | Dritta | -327 | -3829 | -327 | -1221 | -2841 | -1379 | -2396 | -3829 | -3755 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2642 | -30 | -30 | 829 | 2027 | 1480 | 1876 | 2511 | 2642 |
| | | | Dritta | -334 | -3941 | -334 | -1275 | -2800 | -1860 | -2524 | -3941 | -3743 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2822 | 169 | 169 | 966 | 2486 | 877 | 1991 | 2753 | 2822 |
| | | | Dritta | 3325 | 375 | 375 | 1175 | 2568 | 1210 | 2151 | 3171 | 3325 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 3114 | 236 | 236 | 1143 | 2561 | 1769 | 2332 | 3114 | 2963 |
| | | | Dritta | 3556 | 447 | 447 | 1322 | 2634 | 1871 | 2412 | 3546 | 3556 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tabella 14**

| *Azioni trasmesse alle flange* | | | | Max | Min | CE1 | CE2 | CE3 | CE4 | CE5 | CE6 | CE7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N (kN) | Poppa | Coperta | Sinistra | -829 | -11557 | -829 | -3994 | -10275 | -4291 | -8458 | -11557 | -11002 |
| | | | Dritta | -1521 | -12603 | -1521 | -4603 | -10153 | -5209 | -8674 | -12603 | -12586 |
| | | Fondo | Sinistra | 11375 | 855 | 855 | 4030 | 9720 | 4326 | 8102 | 11079 | 11375 |
| | | | Dritta | 12763 | 1495 | 1495 | 4566 | 10398 | 5163 | 8821 | 12763 | 12214 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | -771 | -12498 | -771 | -4328 | -10246 | -7170 | -9379 | -12498 | -11121 |
| | | | Dritta | -1448 | -13152 | -1448 | -4786 | -10051 | -7159 | -9242 | -13152 | -12654 |
| | | Fondo | Sinistra | 11998 | 798 | 798 | 4357 | 9679 | 7176 | 9006 | 11998 | 11656 |
| | | | Dritta | 13333 | 1422 | 1422 | 4755 | 10308 | 7141 | 9406 | 13333 | 12120 |
| V2 (kN) Taglio vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | -662 | -2170 | -713 | -888 | -662 | -2170 | -1154 | -1246 | -902 |
| | | | Dritta | -650 | -1846 | -650 | -754 | -701 | -1332 | -907 | -1846 | -1628 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 550 | -957 | 550 | 341 | 510 | -957 | 30 | 127 | 471 |
| | | | Dritta | 1809 | 206 | 838 | 767 | 878 | 206 | 659 | 1592 | 1809 |
| | | Fondo | Sinistra | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | | | Dritta | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| V3 (kN) Taglio orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 60 | -107 | -32 | -16 | 56 | -107 | 4 | 60 | -39 |
| | | | Dritta | 109 | -187 | 31 | 16 | -56 | 109 | -4 | -59 | -187 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 52 | -179 | 52 | 16 | -5 | -101 | -37 | -81 | -179 |
| | | | Dritta | 102 | -52 | -52 | -16 | 5 | 102 | 38 | 82 | -47 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T (kNm) | Poppa | Coperta | Sinistra | 113 | -1306 | -454 | -525 | -320 | -1306 | -641 | -66 | 113 |
| | | | Dritta | -530 | -1290 | -530 | -817 | -1162 | -1290 | -1213 | -1106 | -968 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 207 | -740 | 207 | 68 | 161 | -740 | -135 | -694 | -502 |
| | | | Dritta | 715 | 25 | 114 | 281 | 715 | 25 | 498 | 337 | 460 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M22 (kNm) flettente orizz. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2438 | -41 | -41 | 739 | 2169 | 743 | 1739 | 2370 | 2438 |
| | | | Dritta | -324 | -4046 | -324 | -1250 | -3027 | -1472 | -2558 | -4046 | -3817 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 2766 | -37 | -37 | 887 | 2264 | 1644 | 2099 | 2766 | 2714 |
| | | | Dritta | -331 | -4155 | -331 | -1303 | -2983 | -1948 | -2683 | -4155 | -3807 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| M33 (kNm) flettente vert. | Poppa | Coperta | Sinistra | 2961 | 165 | 165 | 999 | 2670 | 979 | 2155 | 2961 | 2883 |
| | | | Dritta | 3431 | 369 | 369 | 1223 | 2801 | 1345 | 2363 | 3431 | 3407 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Prua | Coperta | Sinistra | 3323 | 232 | 232 | 1176 | 2745 | 1870 | 2497 | 3323 | 3026 |
| | | | Dritta | 3805 | 441 | 441 | 1370 | 2867 | 2008 | 2624 | 3805 | 3635 |
| | | Fondo | Sinistra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Dritta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Connessioni superiori - Barre

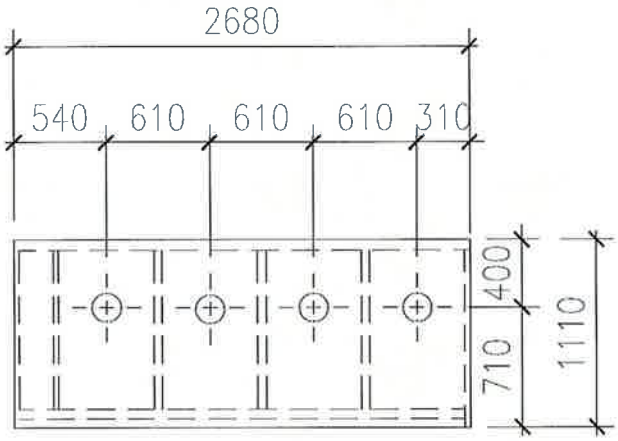
I dati nelle tabelle sopra riportate mostrano che in tutte le condizioni operative a scafo emerso non sia hanno mai azioni assiali di trazione nelle flange superiori.

La minima compressione (in modulo) vale -771kN e si verifica nella connessione di coperta a prua a sinistra nella condizione di carico denominata CE1.

Il massimo momento flettente verticale (M33) sia ha nella condizione di carico CE6 e vale 3805 kNm (connessione di prua dritta), il massimo momento orizzontale (in modulo) si verifica nella CE6 e vale -4155 kNm (connessione di prua dritta).

Tutti i massimi sopra riportati si verificano nella configurazione di analisi con i giochi massimi tra gambe e scafo del jack-up.

Al fine di massimizzare l'azione assiale nelle barre consideriamo a favore di sicurezza tali massimi concomitanti anche se in realtà essi si verificano in condizioni di carico ed in posizioni diverse.



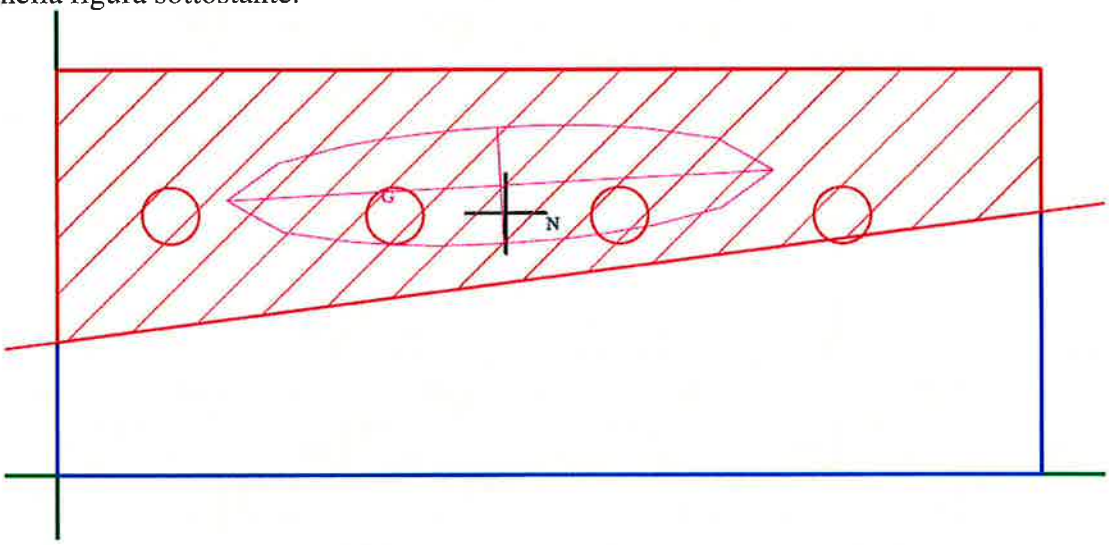

La verifica della flangia riportata a fianco, caricata dalle azioni sopra riportata e precaricata con 6045kN ripartiti tra le quattro barre fornisce i risultati riportati nella figura sottostante:

massima pressione di contatto = 32.9 MPa

Sforzo nelle barre = 306.2 MPa

Azione assiale nella barra = 187x30.62 = 5725.9 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN. La verifica è soddisfatta.

La posizione dell'asse neutro, per le sollecitazioni sopra elencate, è riportata nella figura sottostante.




**Connessioni inferiori - Barre**

La massima azione assiale nelle barre delle flange inferiori vale 13333kN, valore che si verifica nella condizione di carico C07 nella connessione di poppa a dritta. Ne deriva che la trazione in ciascuna barra associata ai carichi esterni vale 13333/4 = 3333 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN la verifica è soddisfatta.

**Altri elementi strutturali**

Per la verifica di bussole a taglio, flange, costole di irrigidimento, fondo scafo, coperta, fasciame nella zona immediatamente circostante la connessione si rimanda ai risultati delle modellazioni ad elementi finiti riportate nel seguito.

### 6.2.3 Riconfigurazione scafi: scafo emerso

**Connessioni superiori – Barre**

In riconfigurazione scafi le condizioni più gravose per la connessione flangiata superiore si verificano con lo scafo corto (2 moduli a L). In tal caso applicando un fattore 1.5 alle azioni interne riportate in tabella 6 (SLU) si ottiene:

N = 1.5×2068 = 3102 kN (trazione)

M22 = -1.5×1561 = -2342 kNm (fibre tese verso interno scafo)

M33 = -1.5×2855 = -4283 kNm (fibre tese superiori)

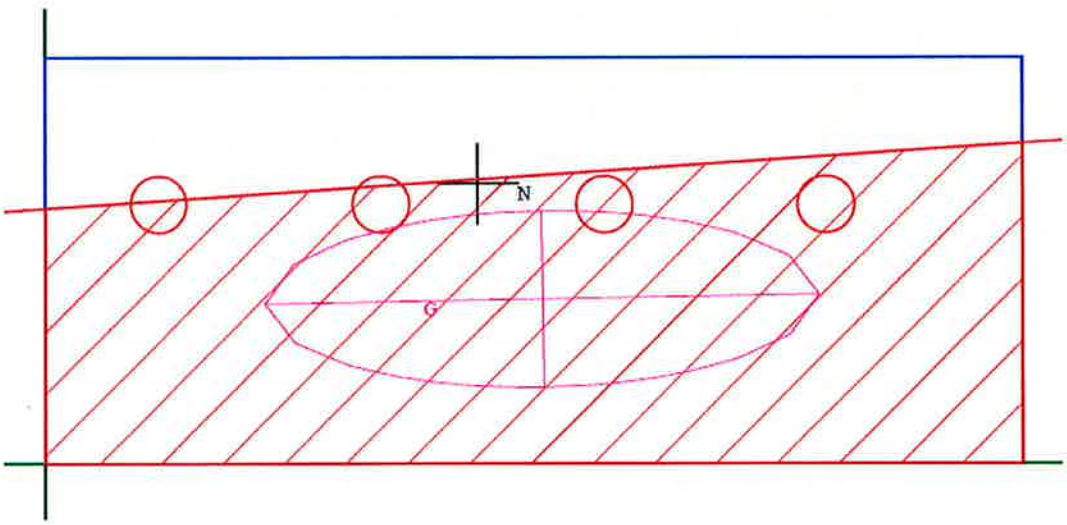
La verifica della flangia, caricata dalle azioni sopra riportata e dal precarico delle barre che in fase di riconfigurazione a perdite istantanee scontate viene computato pari a circa 3000 kN su ciascuna barra (4+4), pari al 50% del valore nominale finale, fornisce i risultati riportati nella figura sottostante:

Massima pressione di contatto = 9 MPa

Sforzi nelle barre = 159.4 MPa

Azione assiale nella barra = 187x15.94 = 2980 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN la verifica è soddisfatta.

La posizione dell'asse neutro è evidenziata nello schema sottostante.



**Altri elementi strutturali**

Le condizioni di carico in esame risultano meno gravose rispetto a quelle di navigazione, per cui si rimanda alle verifiche eseguite mediante modellazione ad elementi finiti per le condizioni di carico di navigazione.

**Connessioni inferiori - Chiavarde verticali**

I risultati riportati in Tabella 6 e in Tabella 8 evidenziano l'assenza di azioni longitudinali di trazione sul fondo scafo sia nella configurazione a scafo corto che a scafo lungo. Pertanto le chiavarde ad asse verticale non risulterebbero impegnate; esse tuttavia sono indispensabili in quanto costituiscono un presidio nei confronti di azioni longitudinali di trazione impreviste (ad esempio errori di zavorra, leggero moto ondoso, etc). Per le verifiche di tali elementi si rimanda alla descrizione dei risultati delle analisi eseguite con appositi modelli locali.

Le azioni longitudinali di compressione, vengono trasmesse per contatto tra le flange delle connessioni inferiori dei due scafi. La massima compressione si verifica nella condizione di scafo corto e vale -1.5×1991 = -2987 kN
Essa viene trasmessa per contatto tra le flange che, ricordiamo sono lavorate di macchina, e presentano buoni requisiti di planarità e parallelismo per cui, vista anche l'entità delle azioni in gioco, se confrontate con altre condizioni operative, si ritiene superflua ogni verifica.

**Altri elementi strutturali**

Le condizioni di carico in esame risultano meno gravose rispetto a quelle di navigazione, per cui si rimanda alle verifiche eseguite mediante modellazione ad elementi finiti per le condizioni di carico di navigazione.

### 6.2.4 Riconfigurazione scafi: galleggiamento

Dall'esame delle azioni trasmesse dalle connessioni durante la fase di riconfigurazione in galleggiamento si osserva che l'entità delle sollecitazioni è largamente inferiore rispetto alle condizioni di navigazione e riconfigurazione a scafo emerso.
Le verifiche relative a questa configurazione sono pertanto omesse.

## 6.3 Verifica barre in fase di pretensionamento

Le massime azioni di tiro nelle barre si hanno in fase di pretensionamento e valgono 9500 kN. L'entità di tale forze è controllata mediante l'utilizzo di un tensionatore idraulico.

Verifica di resistenza della barra in fase di precarico (assimilata a bulloni DM 2008):

N = 1.2x9500 = 11400 kN < 0.9x91x187/1.25 = 12252 kN.

**Verifica filettatura barra Ø160mm**

| | |
|---|---|
| Tiro nella barra | 11400 kN |
| lunghezza filettatura | 180 mm |
| passo filettatura | 6 mm |
| numero filetti | 180/6 = 30 |

Si assume una distribuzione di carico triangolare tra i filetti in cui il primo filetto impegnato è caricato dal doppio del valor medio del carico (ossia del valore di carico ottenuto in caso di distribuzione uniforme su tutti i filetti) mentre l'ultimo filetto ha carico nullo. E pertanto:

| | |
|---|---|
| carico massimo su un filetto $F_F$ | $2\times11400/30 = 760$ kN |
| $\sigma_{R,BARRA}$ | 605 MPa |
| $\tau_{R,BARRA}$ | 349 MPa |
| $d_{MAX}$ | 159.9 |
| $d_{MIN}$ | 159.3 |
| $d_{1,NOM}$ | 153.5 mm |
| $H_U$ | $0.85\times6 = 5.1$ mm |
| pressione specifica sul filetto | $F_F/(\pi\times(d^2_{MIN} - d^2_{1,NOM})/4) = 533.4 < 605$ MPa |
| $\tau_{FILETTO}$ | $F_F/(\pi\times d_{1,NOM}\times H_U) = 309. < 349$ MPa |
| $\sigma_{FILETTO}$ | $6\times F_F\times((d_{MAX}-d_{1,NOM})/4)/(\pi\times d_{1,NOM}\times H^2_U)$ $= 581.7 < 605$ MPa |

## 6.4 Verifiche mediante modelli locali ad elementi finiti

Come già brevemente accennato, in considerazione della complessità della geometria degli elementi in esame ed al fine di investigare in modo più approfondito il comportamento delle connessioni tra gli scafi, sono stati implementati idonei modelli ad elementi finiti.
Tali modelli numerici, oltre a consentire una più realistica valutazione dello stato tensionale nelle barre precaricate, sono stati adottati per le verifiche di resistenza di tutte le piastre e lamiere strutturali adiacenti alla zona "locali di connessione", inclusi coperta e fondo scafo.
Si fornisce nel presente capitolo una descrizione dettagliata dei vari modelli implementati con le relative verifiche condotte.

### 6.4.1 Verifica giunti flangiati ed elementi strutturali adiacenti

La verifica complessiva dei giunti flangiati e dei vari elementi strutturali adiacenti è stata condotta avvalendosi di un modello ad elementi finiti rappresentativo dell'intera "camera" a dritta (equivalente a quella di sinistra) contenente le connessioni flangiate superiori ed inferiori, nonché i piatti di coperta e di fondo.
La necessità di contenere l'onere computazionale entro limiti ragionevoli ha guidato le scelte relative all'estensione della zona modellata.
Si forniscono nel seguito alcune immagini relative alla regione discretizzata ed alla mesh adottata.
Si è adottato un coefficiente di attrito tra gli scafi pari a 0.3. Il precarico impresso alle barre è pari al valore nominale a perdite scontate, ovvero 6045 kN (Si veda § 5.6).
Il materiale adottato per la modellazione delle barre è di tipo elasto-plastico con incrudimento molto limitato.
Le condizioni al contorno, in termini di sforzo, applicate nelle sezioni di estremità del modello locale sono state desunte dal modello dell'intera nave.
Dopo aver esaminato l'entità delle azioni scambiate nel modello globale dalle connessioni flangiate (modellate con elementi di rigidezza opportuna), si è scelto di limitare i casi investigati mediante modello locale alla sola camera a poppa-sinistra in quanto maggiormente impegnata.

Si sono inoltre selezionate le condizioni di carico più gravose (SLU), ed in particolare C03 Cresta, C07, C08 Cavo, C13 Cavo, C14, C15 sulla base dei valori riportati in Tabella 12 (Condizioni di navigazione).

Le analisi non-lineari (inclusive del comportamento delle superfici di contatto e del legame elasto-plastico nelle barre) sono state pertanto condotte sulle combinazioni di carico sopra citate.

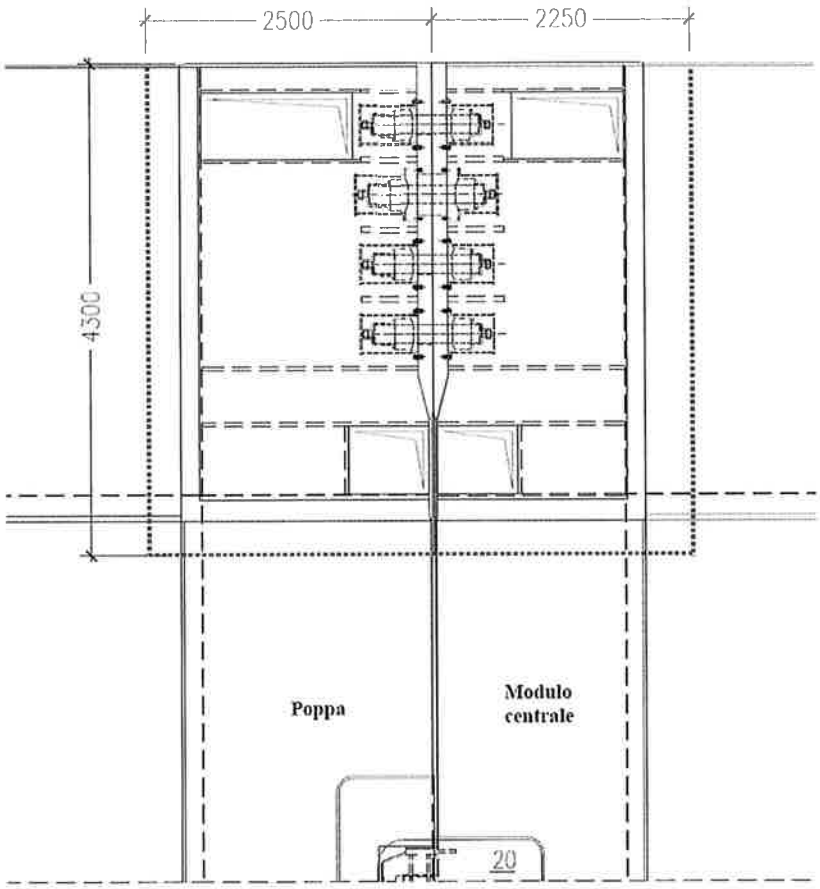



FIG. 6.1 - DETTAGLIO E DIMENSIONI DELLA ZONA MODELLATA

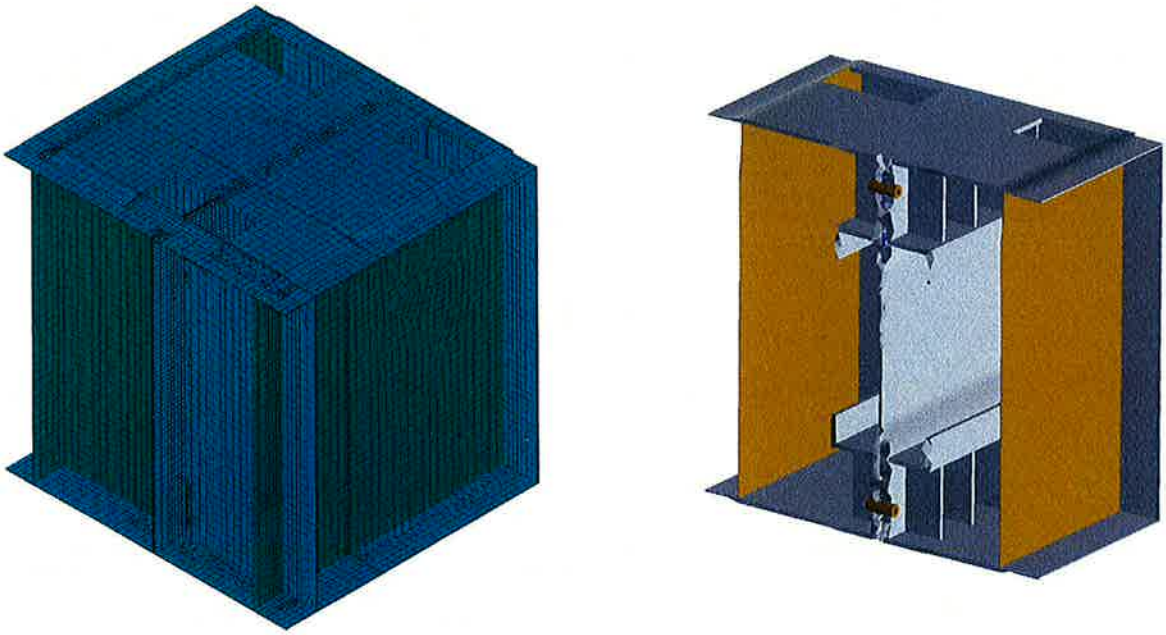


FIG. 6.2 - MODELLO NUMERICO

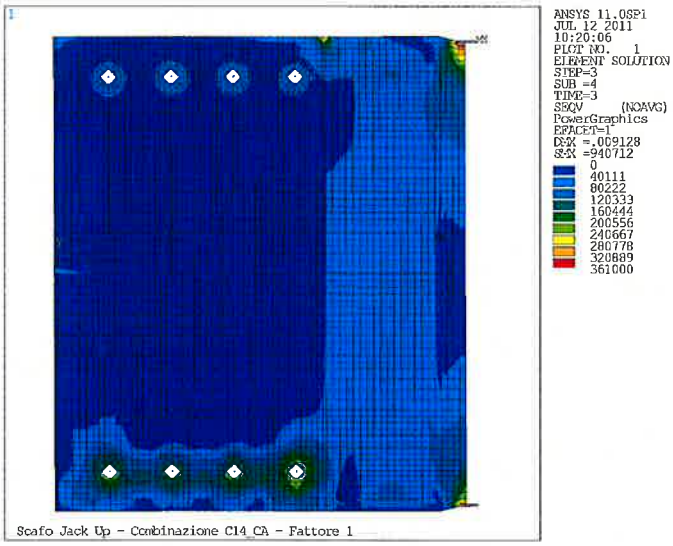
**Verifica piatti e lamiere**

Le verifiche di piatti e lamiere prossime alla zona di connessione, incluse coperta e scafo, sono state condotte confrontando lo stato di sforzo nell'oggetto in esame (secondo la definizione di Von Mises) con la tensione di progetto per il materiale considerato ($f_d$ = 361MPa ).

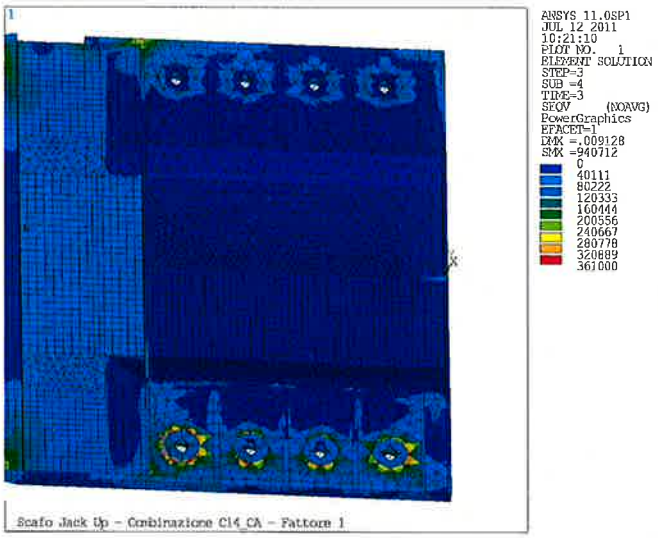
Si ammettono locali plasticizzazioni in regioni limitate, in particolare in presenza di carichi e vincoli localizzati, od in presenza di singolarità geometriche di mesh (i.e. angoli non smussati o raccordati), ove la soluzione teorica degli elementi finiti tende ad un valore infinito.

Sono state escluse dalle verifiche le zone immediatamente prossime ai confini del modello, poiché la soluzione risulta eccessivamente influenzata dalle condizioni al contorno applicate. Queste regioni, che includono piatti di spessore tipico, sono tuttavia ragionevolmente distanti dalla zona di connessione. Per la loro verifica si faccia riferimento alle analisi condotte direttamente sul modello globale della nave.

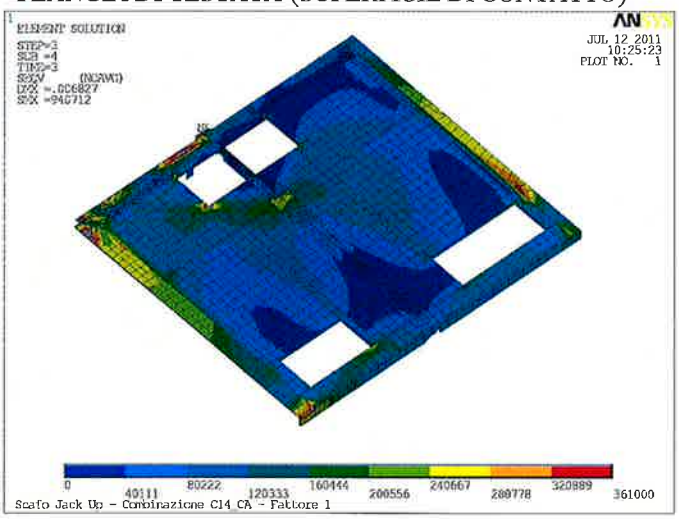
Si forniscono nel seguito alcune immagini relative allo stato tensionale negli oggetti, relativamente alla combinazione di carico C14, che si è dimostrata la più severa ai fini della verifica delle lamiere.



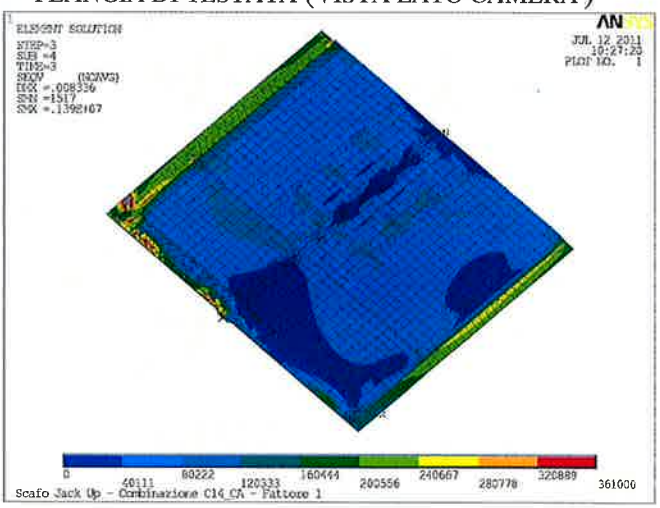

FLANGIA DI TESTATA (SUPERFICIE DI CONTATTO)



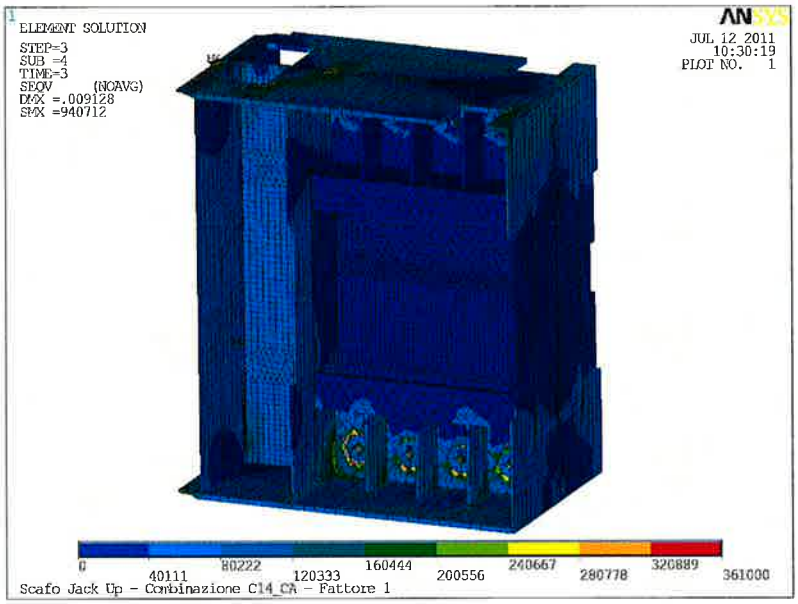

FLANGIA DI TESTATA (VISTA LATO CAMERA )




COPERTA




FONDO




VISIONE D'INSIEME

FIG. 6.3 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]

Come si evince dalle immagini sopra-riportate (sforzi equivalenti di Von Mises, valori in [kPa]) lo stato di sforzo nei materiali, con l'eccezione dei suddetti punti di singolarità, risulta essere inferiore ai valori di progetto.

La verifica pertanto è soddisfatta. Nelle immagini la scala in legenda è stata tagliata per ragioni di chiarezza alle tensioni di progetto.

Si fornice, per completezza della trattazione, un'immagine raffigurante i punti interessati da locale superamento della tensione di progetto (picchi localizzati).

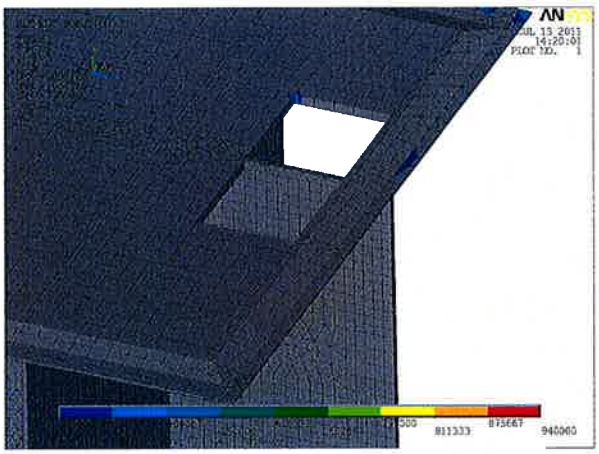


FIG. 6.4 - REGIONI INTERESSATE DAL SUPERAMENTO DELLA TENSIONE DI PROGETTO [KPA]

## Verifica barre

La verifica delle barre è stata condotta confrontando lo stato di sforzo secondo la definizione di Von Mises con la tensione di progetto per il materiale considerato. ($f_d$ = 605MPa).

La condizione più gravosa per le barre è stata individuata essere la C14; sebbene infatti la C08-Cavo induca generalmente azioni assiali più elevate (come si evince in Tabella 12) i momenti parassiti sono di entità inferiore per quest'ultima.

La verifica, per la condizione di carico selezionata (C14), risulta ovunque soddisfatta, non riscontrandosi in alcun caso la plasticizzazione della sezione.

L'immagine sotto riportata, relativa alle 4 barre site nella parte inferiore della connessione (maggiormente sollecitate) ne evidenzia tuttavia un diverso impegno statico, in funzione della diversa rigidezza degli elementi strutturali adiacenti. In particolare, la barra localizzata in prossimità della paratia di separazione risulta essere la più sollecitata.

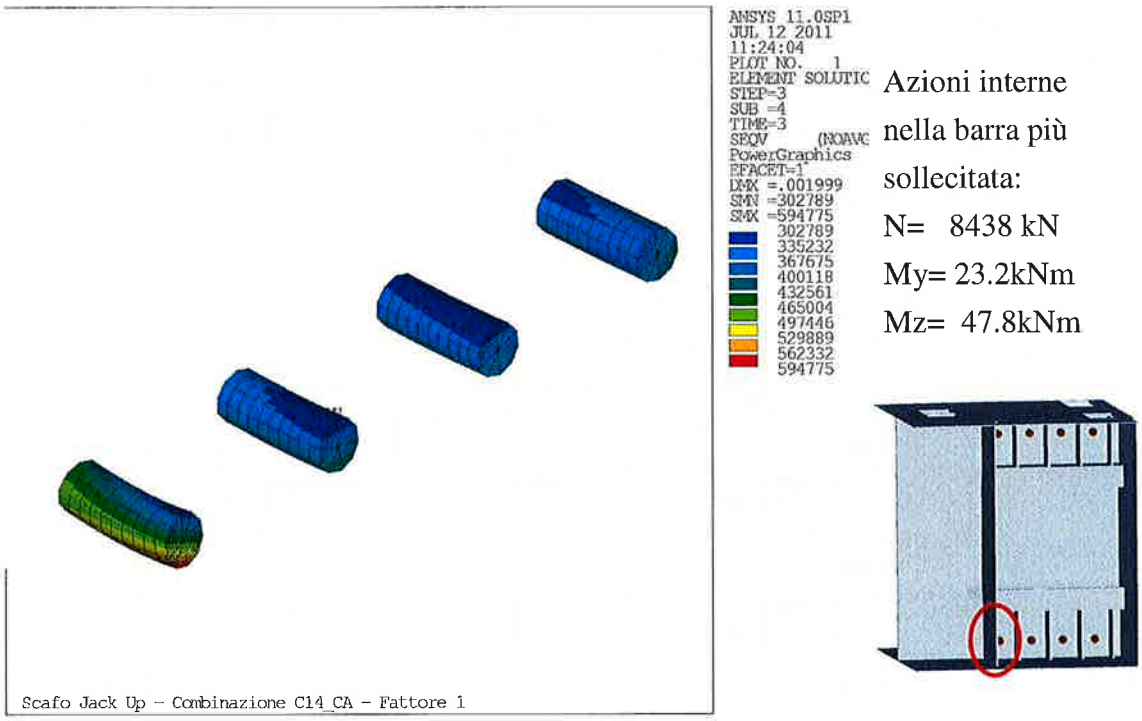
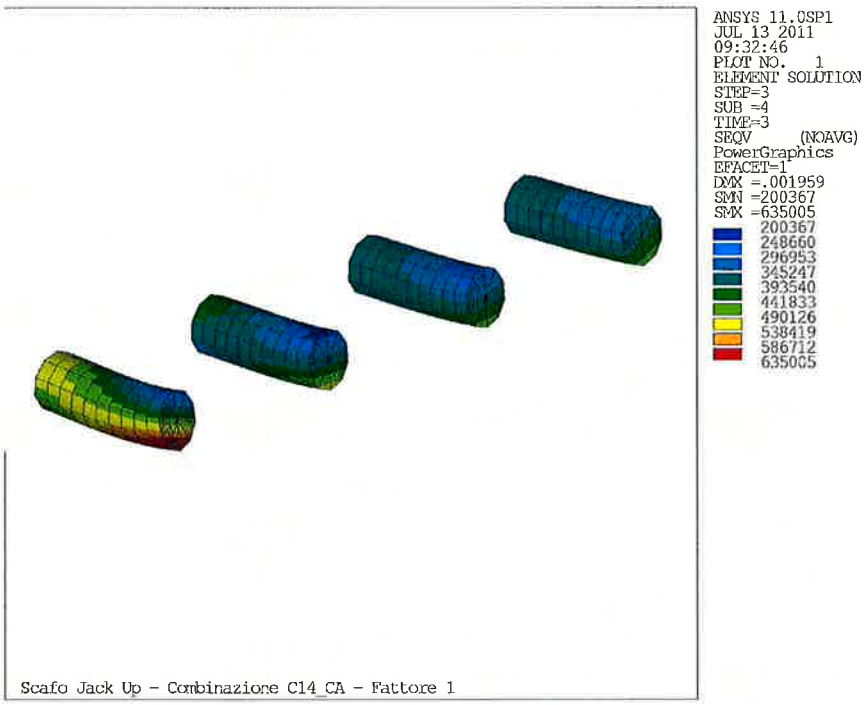



FIG. 6.5 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]

Al fine di ottenere un quadro più dettagliato del comportamento strutturale della connessione, le analisi per la combinazione C14 sono state reiterate adottando un coefficiente di attrito nullo tra gli scafi (anche tra le flange superiori compresse), per simulare l'ipotesi cautelativa di azione tagliante completamente contrastata dal sistema barre – chiavarda.

Il comportamento delle barre è accettabile anche per questa situazione limite. A fronte di momenti flettenti di entità più elevata, alcune fibre della sola barra più impegnata raggiungono la tensione di snervamento; la sezione della barra più impegnata risulta essere tuttavia solo localmente plasticizzata e comunque per una estensione molto modesta.




Azioni interne nella barra più sollecitata:

N= 8452 kN

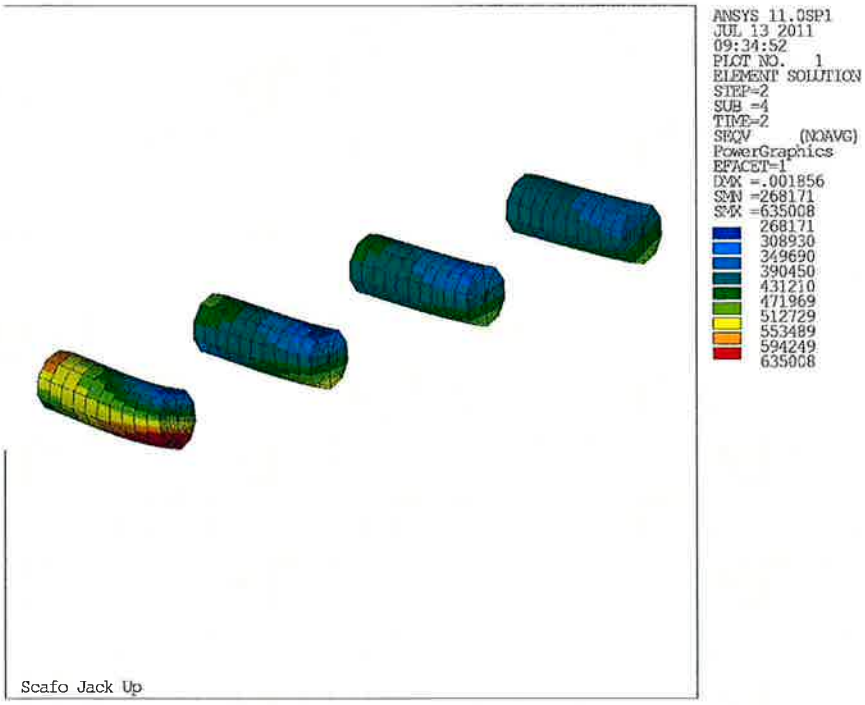
My= 23.7kNm

Mz= 82.5kNm

FIG. 6.6 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]
COMBINAZIONE C14 IN ASSENZA DI ATTRITO TRA GLI SCAFI

Ulteriori analisi sono state condotte infine per forze di precarico pari a 1.2 e 0.9 volte il valore nominale (in assenza di attrito tra gli scafi) come richiesto da D.M. 14/01/2008 e relativa circolare applicativa.

Le considerazioni sopra esposte risultano ancora valide. Le verifiche sono pertanto da ritenersi soddisfatte.




Azioni interne nella barra più sollecitata:

N= 9104 kN

My= 20.7 kNm

Mz= 75.8 kNm

FIG. 6.7 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]

COMBINAZIONE C14 IN ASSENZA DI ATTRITO TRA GLI SCAFI E PRECARICO AMPLIF.1.2

### 6.4.2 Verifica chiavarda verticale ed elementi impegnati dalla connessione

La verifica della chiavarda ad asse verticale e dei vari elementi strutturali adiacenti è stata condotta avvalendosi di uno specifico modello ad elementi finiti rappresentativo della "camera" nella quale si realizza la connessione.
Il modello è inclusivo di una descrizione dettagliata degli elementi maschio (dente) e femmina dell'accoppiamento, nonché della chiavarda stessa.
Si forniscono nel seguito alcune immagini relative alla regione discretizzata ed alla mesh adottata.

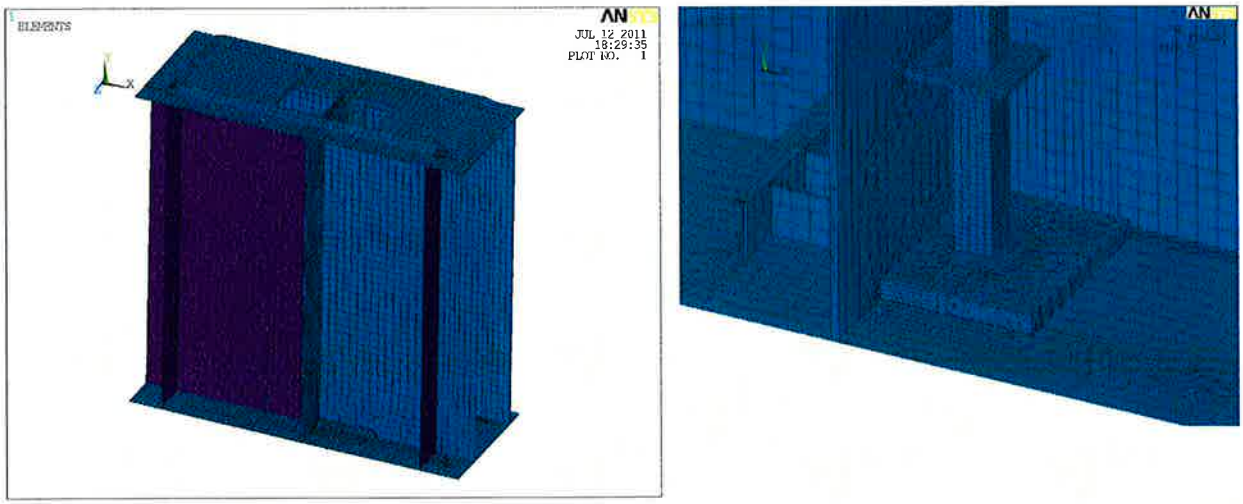


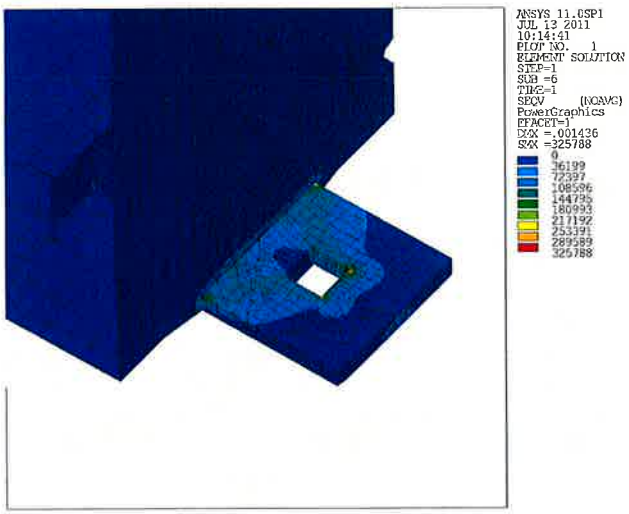

FIG. 6.8 - MESH ADOTTATA

Dall'analisi delle azioni scambiate tra i moduli durante la fase di riconfigurazione dello scafo (l'unica fase che veda la chiavarda ad asse verticale potenzialmente impegnata) non si osservano mai azioni di trazione tra i moduli.
La chiavarda è stata pertanto dimensionata e verificata assumendo comunque un carico di riferimento pari a 2000 kN di tiro sul fondo scafo (valore relativo a ciascuna delle due chiavarde).

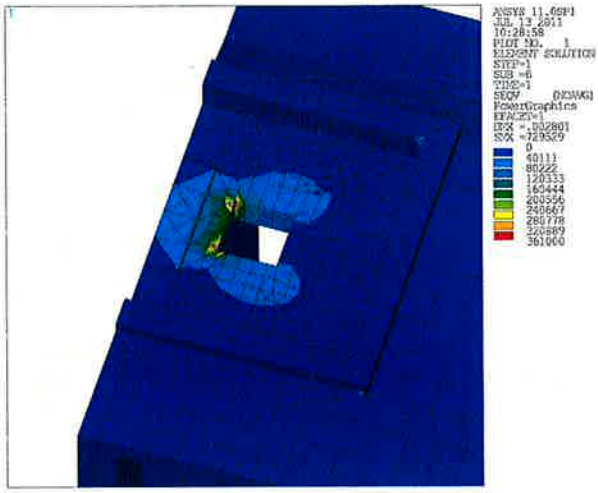
Si è inoltre analizzato il caso specifico con carico pari a 400 kN uniformemente distribuito sulla superficie del maschio (dente), e relativo alla massima azione verticale considerata in fase di accosto e riconfigurazione scafi.

Si forniscono nel seguito alcune immagini relative allo stato di sforzo nei vari componenti in esame, per le due condizioni di carico esaminate

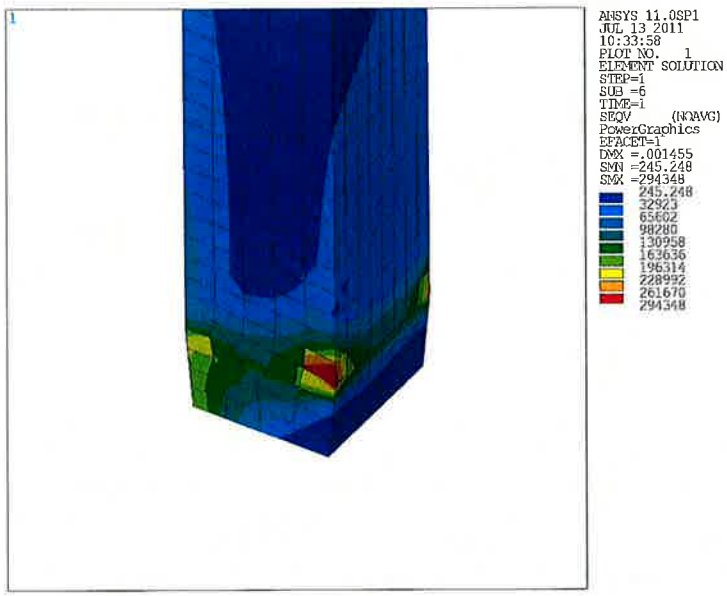
## Carico orizzontale 2000 kN su fondo scafo




ELEMENTO MASCHIO (DENTE)




ELEMENTO FEMMINA




CHIAVARDA

FIG. 6.9 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]

**Carico verticale 400 kN su dente**

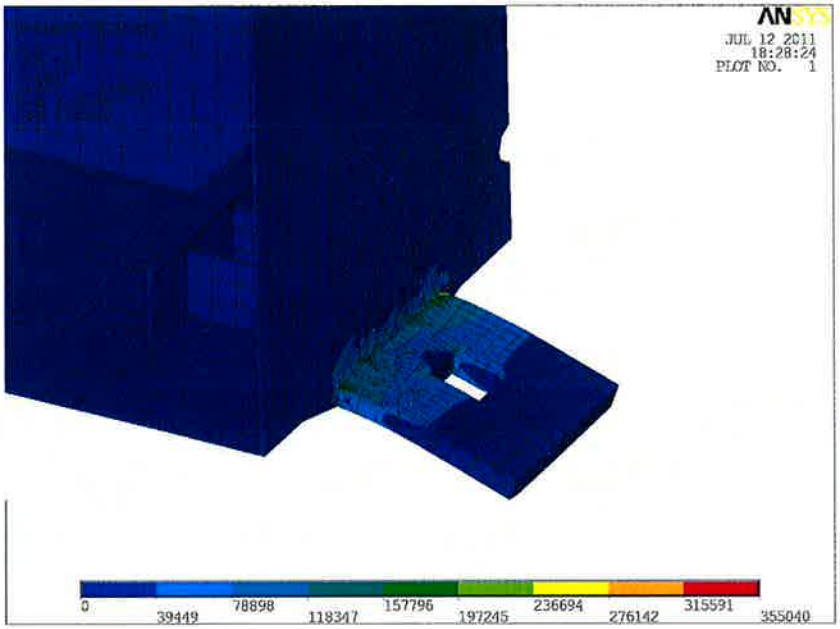



FIG. 6.10 - SFORZI EQUIVALENTI DI VON MISES [KPA]

Le verifiche sono condotte confrontando lo stato di sforzo (secondo la definizione di Von Mises) con la tensione di progetto per il materiale considerato.

Si ammettono locali plasticizzazioni in regioni limitate, in particolare in presenza di singolarità geometriche (i.e. angoli non smussati o raccordati), ove la soluzione teorica degli elementi finiti tende ad un valore infinito.

Nelle immagini la scala in legenda è stata tagliata per ragioni di chiarezza alle tensioni di progetto, laddove queste siano eccedute (esclusivamente nell'elemento femmina della connessione, in corrispondenza delle suddette singolarità e per una zona di estensione e profondità molto ridotta).

Lo stato di sforzo nei materiali, con l'eccezione dei suddetti punti di singolarità, risulta essere inferiore ai valori di progetto. La verifica pertanto è soddisfatta.

### 6.4.3 Verifica locale bussole a taglio

**Chiavarda a bussola prismatica**

Al fine di investigare più dettagliatamente lo stato di sforzo indotto dalle azioni taglianti nella bussola prismatica e negli elementi strutturali adiacenti, si è realizzato un modello locale con elementi solidi tridimensionali.

Il modello è limitato ad un idoneo campo di flangia di testata ed include la bussola prismatica alloggiata nella relativa sede, la barra di precompressione e le rondelle. La barra di precompressione è modellata mediante elementi beam ed è vincolata alle rondelle nelle zone interessate dall'accoppiamento con i relativi dadi.

L'azione tagliante applicata è pari a 4107 kN, corrispondente alla massima azione tagliante (agli stati limite ultimi) risultante dalla combinazione di carichi C10 riportata in Tabella 12 (già inclusiva del coefficiente parziale 1.5) e riscontrata in fase di navigazione.

L'azione risulta applicata su una delle due flange di testa, mentre la flangia opposta è idoneamente vincolata a terra; si è inoltre conservativamente assunto un basso coefficiente di attrito tra le flange, al fine di impegnare la bussola con l'intera azione tagliante.

Il precarico assegnato alla barra è pari al valore nominale a perdite scontate definito al § 5.6(6045kN)

Alcune immagini della mesh adottata sono fornite nel seguito.

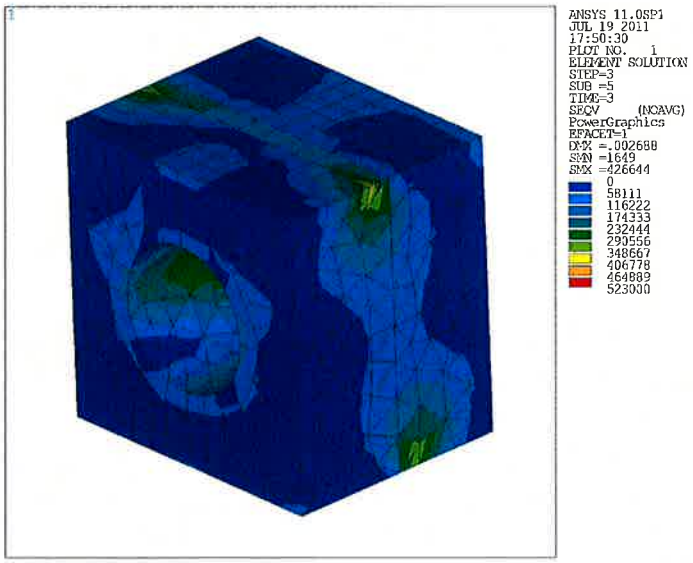
FIG. 6.11 - MESH BUSSOLA

Le verifiche dei principali elementi strutturali interessati dalla connessione a taglio sono condotte confrontando lo stato di sforzo nell'oggetto in esame (secondo la definizione di Von Mises) con la tensione di progetto per il materiale considerato ($f_d$ = 523MPa per la chiavarda e $f_d$ = 361MPa per le flange di testata).

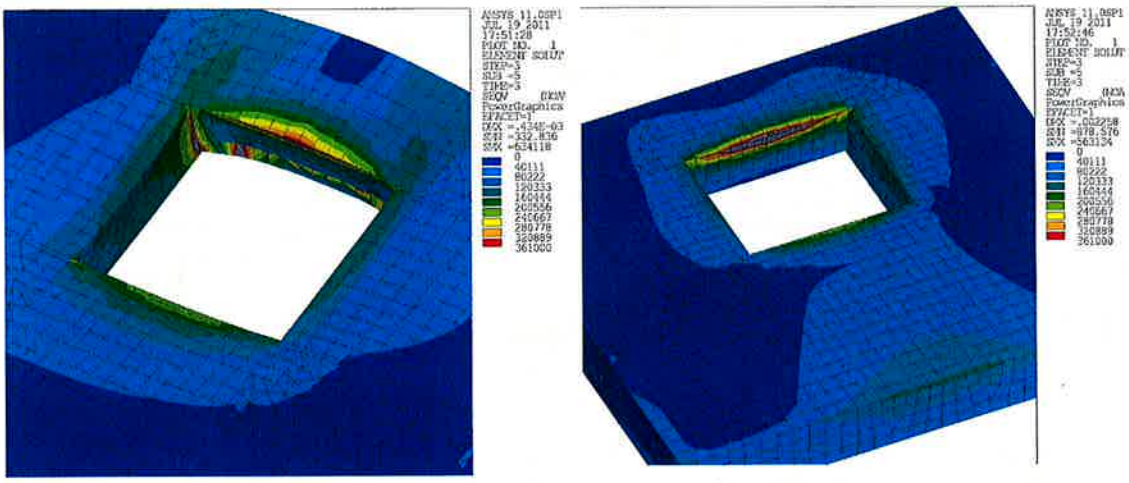
Si ammettono locali plasticizzazioni in regioni limitate, in particolare in presenza di singolarità geometriche (i.e. angoli non smussati o raccordati), ove la soluzione teorica degli elementi finiti tende ad un valore infinito.

Si sottolinea che i dettagli effettivamente realizzati a progetto non prevedono spigoli vivi. Gli spigoli della bussola prismatica e delle sedi sono tutti smussati con raccordi circolari. Pertanto i picchi di sforzo evidenziati nelle analisi ad elementi finiti nella realtà sono considerevolmente inferiori.

Come si evince dalle immagine sotto-riportate (sforzi equivalenti di Von Mises, valori in [kPa]) lo stato di sforzo nei materiali, con l'eccezione dei suddetti punti di singolarità, risulta essere inferiore ai valori di progetto. La verifica pertanto è soddisfatta. Nelle immagini la scala in legenda è stata tagliata per ragioni di chiarezza alle tensioni di progetto.




CHIAVARDA A BUSSOLA



FLANGIA 1 FLANGIA 2

FIG. 6.12 - SFORZI EQUIVALENTI VON MISES NEI PRINCIPALI ELEMENTI STRUTTURALI [KN/M$^2$]

Si forniscono, per completezza della trattazione, alcune immagini raffiguranti le zone interessate da locale superamento della tensione di progetto (picchi localizzati).

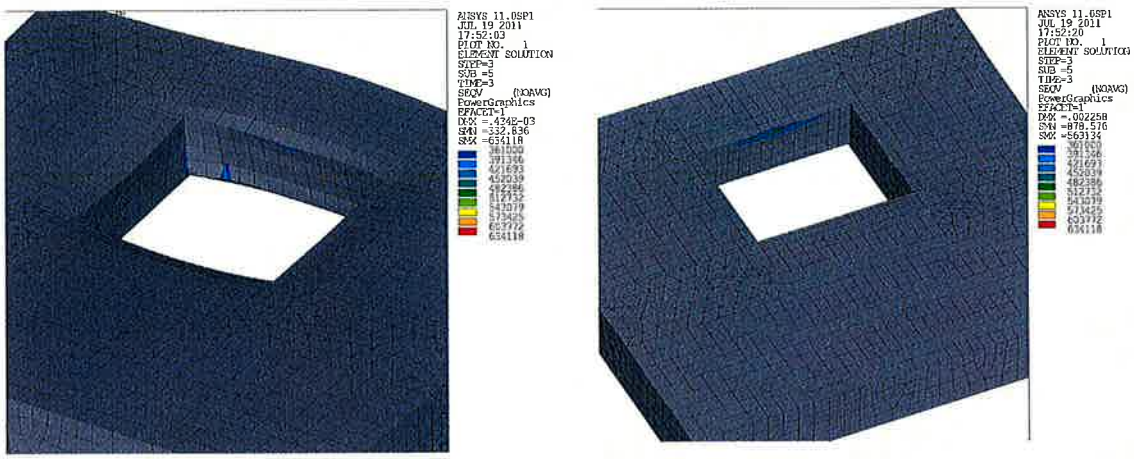


FIG. 6.13 - REGIONI INTERESSATE DAL SUPERAMENTO DELLA TENSIONE DI PROGETTO [KPA]

Per quanto concerne la pressione massima di contatto lungo le superfici di interfaccia si è proceduto verificando che $\sigma_{pres} < 1.35f_d$, in ottemperanza alle indicazioni fornite nelle CNR 10011 per contatti superficiali di limitata estensione.

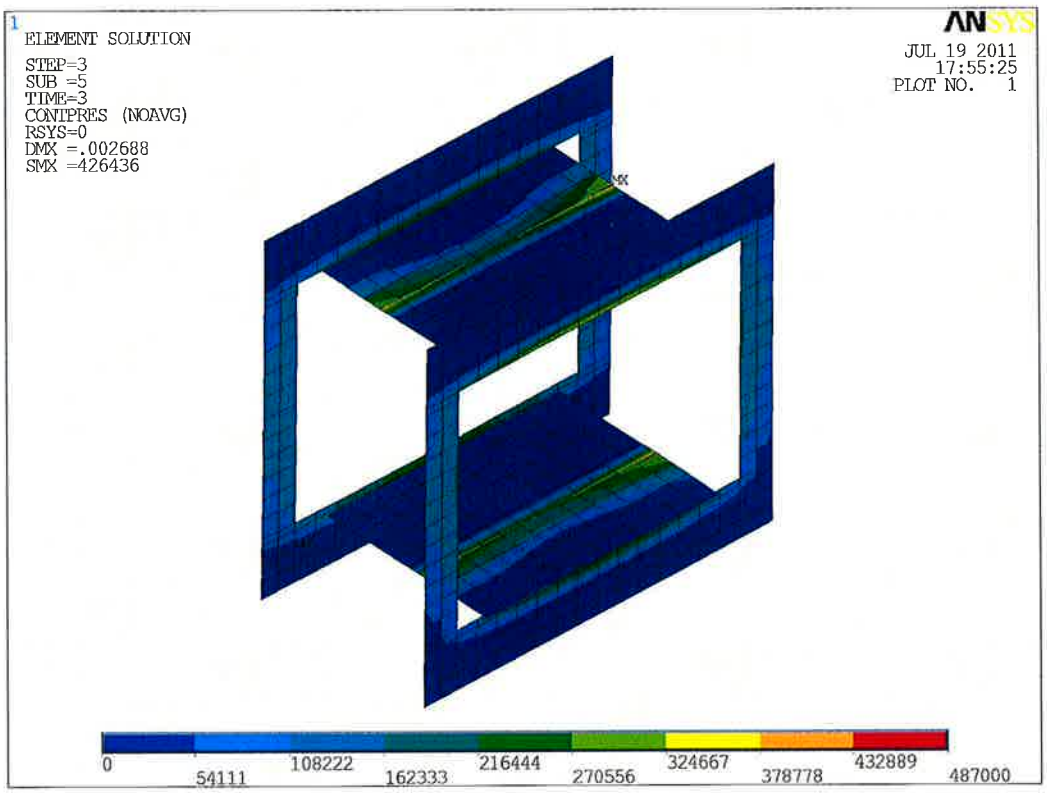



FIG. 6.14 -PRESSIONI DI CONTATTO [KN/M$^2$]

La pressione di contatto risulta inferiore al valore ammissibile. Valgono comunque le considerazioni già riportate circa la riduzione delle concentrazioni di pressione, in virtù dei dettagli costruttivi a progetto.

## Chiavarda a bussola cilindrica

Un modello locale in tutto simile a quello descritto al paragrafo precedente ed adattato alla geometria della chiavarda a bussola cilindrica è stato implementato per studiare il comportamento di questo accoppiamento.
Alcune immagini della mesh adottata sono fornite nel seguito.

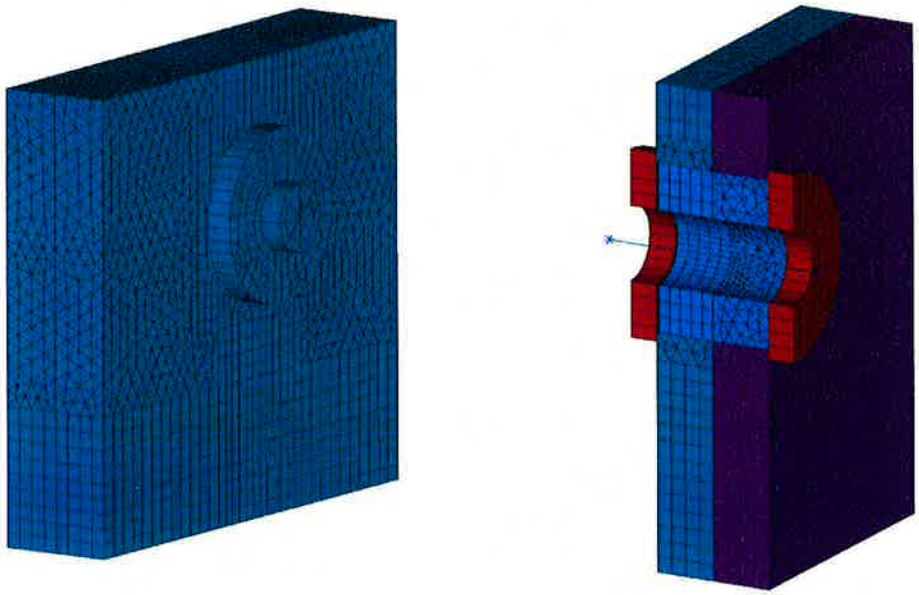
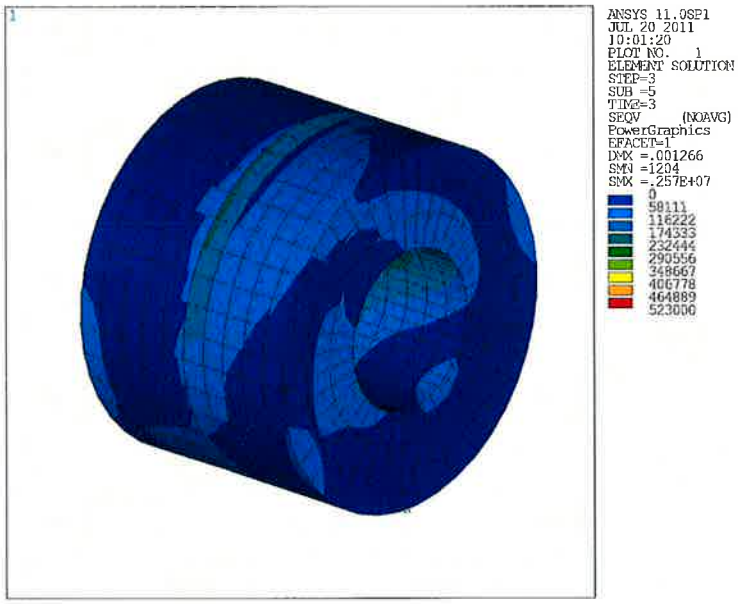
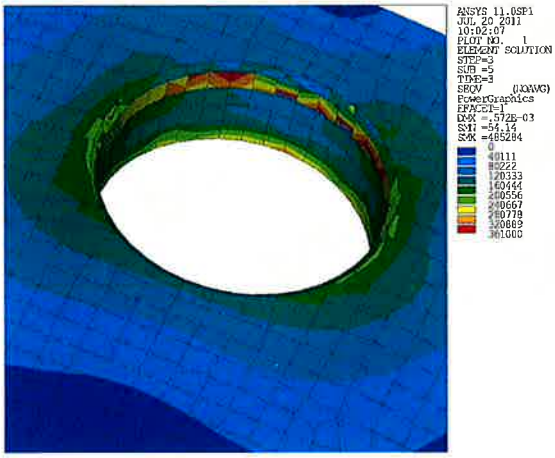


FIG. 6.15 -MESH BUSSOLA

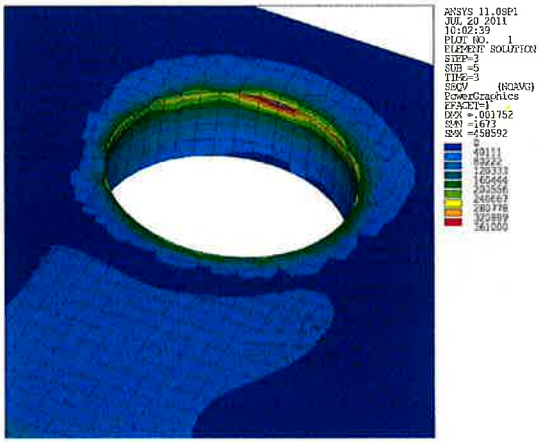
Si applicano i criteri di verifica e le considerazioni riportate al precedente paragrafo.
Alcune immagini riassuntive relative ai dettagli più significativi sono fornite nel seguito.




CHIAVARDA A BUSSOLA




FLANGIA 1




FLANGIA 2

FIG. 6.16 -SFORZI EQUIVALENTI VON MISES NEI PRINCIPALI ELEMENTI STRUTTURALI [KN/M$^2$]

Lo stato di sollecitazione osservato nella connessione in esame risulta essere localmente meno severo rispetto al caso di chiavarda a bussola prismatica, in virtù della migliore distribuzione degli sforzi lungo l'area di contatto interessata.

Fatto salvo per singolarità estremamente localizzate, lo stato di sforzo nel materiale risulta essere inferiore rispetto alla tensione di progetto.

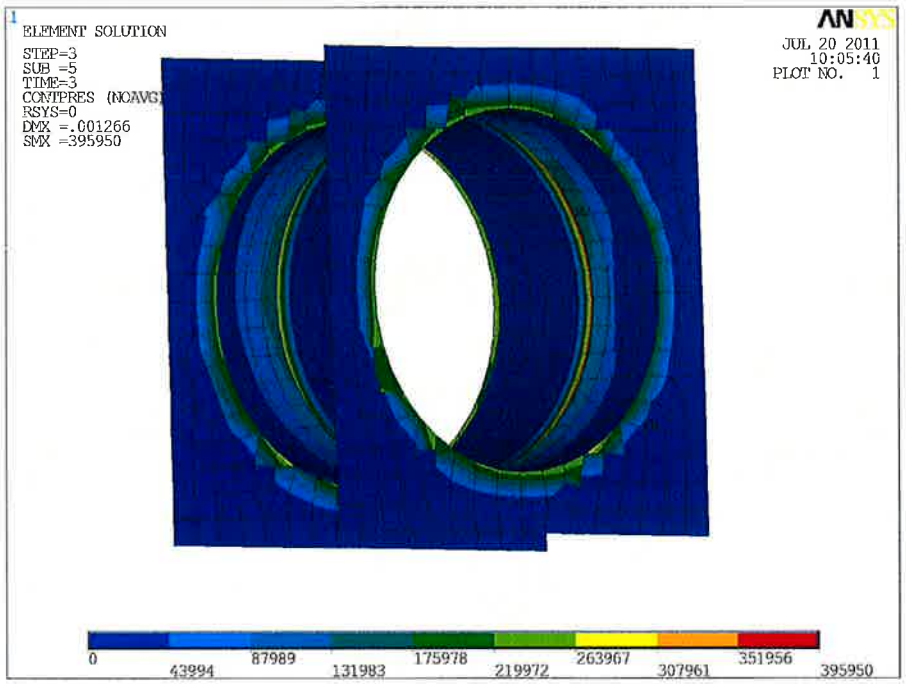



FIG. 6.17 - PRESSIONI DI CONTATTO [KN/M$^2$]

Anche la pressione di contatto risulta inferiore al valore ammissibile.

### 6.4.4 Verifica locale dadi e rondelle

**Accoppiamento tipico**

Per le verifica dell'accoppiamento dado-rondella per barre di ancoraggio tipiche si è realizzato un modello numerico con elementi piani di tipo assialsimmetrico.
La scelta di tali elementi permette una descrizione raffinata delle regioni interessate dai contatti, limitando contemporaneamente l'onere computazionale.
Il modello descrive una sezione trasversale del dado e della rondella, il riscontro fornito dalla flangia di testata cautelativamente è modellato da una superficie indeformabile. Si è considerato il carico massimo atteso (SLU all'atto della tesatura: 9500kN x 1.2 = 11400 kN), applicato mediante una distribuzione triangolare lungo la regione del dado interessata dai filetti; questi ultimi non sono stati tuttavia inclusi nella modellazione.
Un coefficiente di attrito pari a 0.30 è stato assunto per le due superfici di contatto: l'accoppiamento sfera-sfera (R=300 mm) dado-rondella e l'accoppiamento piano su piano tra la rondella e la flangia di testata.
Un'immagine della mesh adottata è fornita nel seguito.

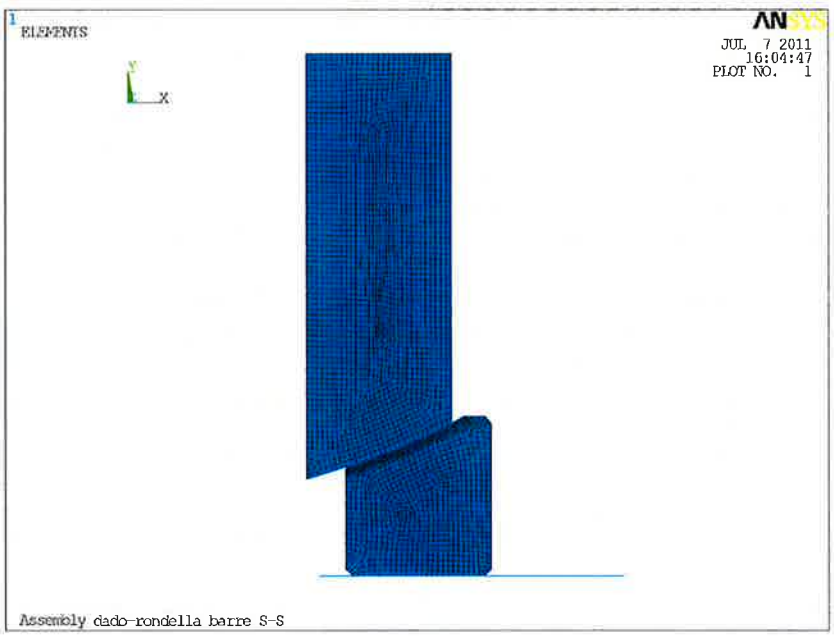



FIG. 6.18 -MODELLO CON ELEMENTI ASSIALSIMMETRICI

Le verifiche degli elementi dado e rondella sono condotte confrontando lo stato di sforzo nell'oggetto in esame (secondo la definizione di Von Mises) con la tensione di progetto per il materiale considerato ($f_d$ = 571MPa per gli elementi dado e rondella).

Si ammettono locali plasticizzazioni in regioni limitate, in particolare in presenza di singolarità geometriche (i.e. angoli non smussati o raccordati), ove la soluzione teorica degli elementi finiti tende ad un valore infinito.

Come si evince dall'immagine sotto-riportata (sforzi equivalenti di Von Mises, valori in [kPa]) lo stato di sforzo nei materiali, con l'eccezione dei punti di singolarità, risulta essere inferiore al valore di progetto. Si ritiene la verifica pertanto soddisfatta.

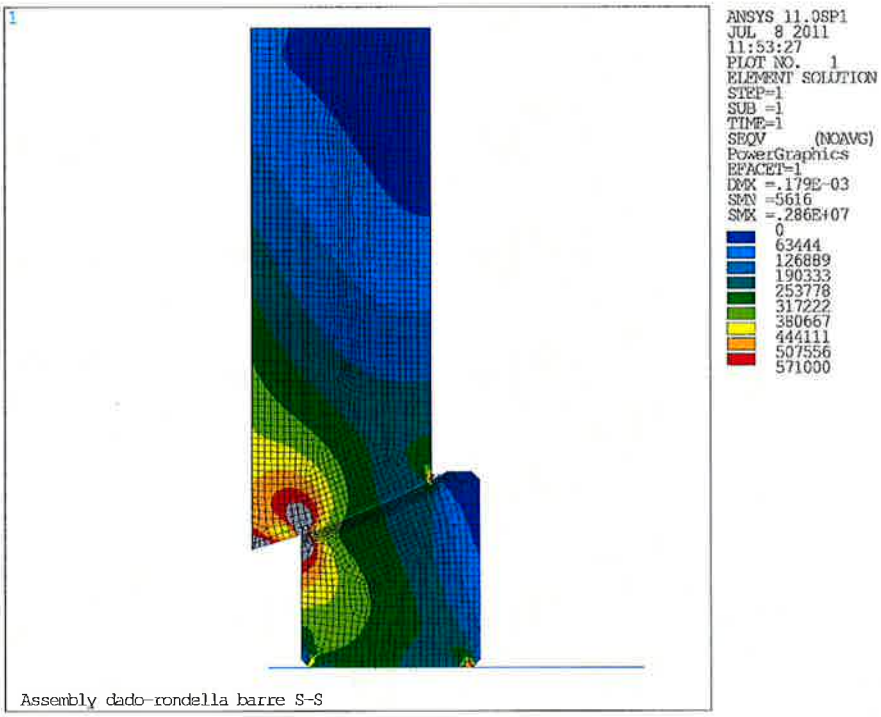



FIG. 6.19 - SFORZI EQUIVALENTI VON MISES NEGLI ELEMENTI DELL'ACCOPPIAMENTO

Si fornisce, per completezza della trattazione, un'immagine raffigurante le zone interessate da locale superamento della tensione di progetto.

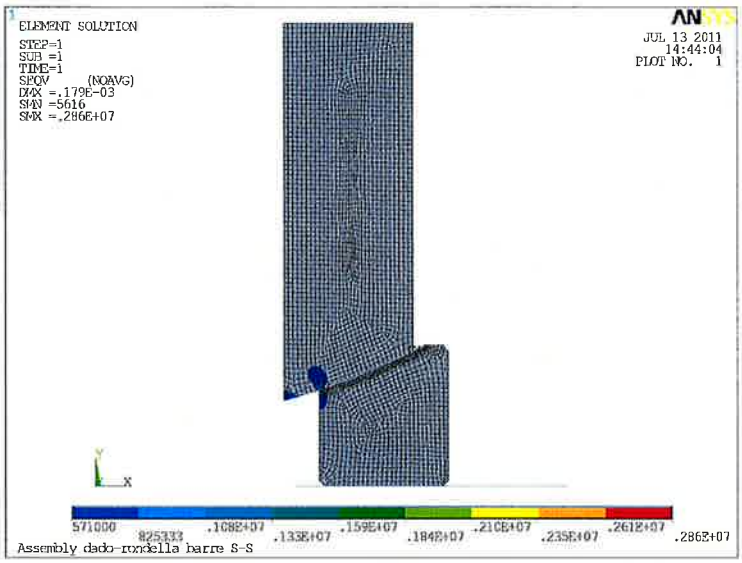


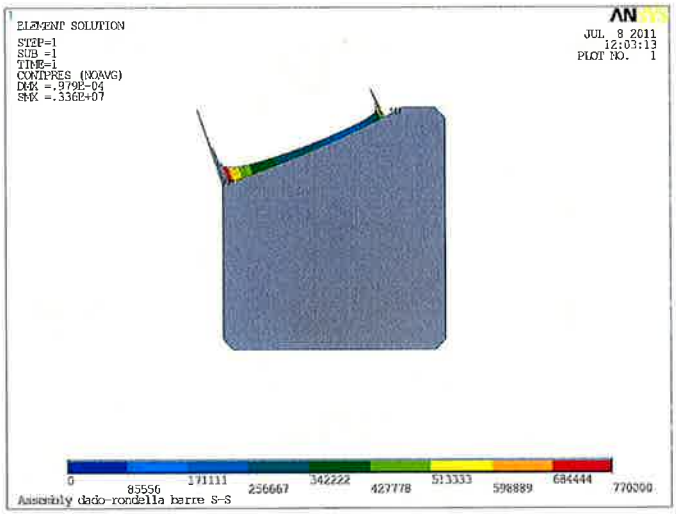

FIG. 6.20 -ZONE INTERESSATE DA LOCALE SUPERMENTO DELLA TENSIONE DI PROGETTO

Per quanto concerne la pressione massima di contatto all'interfaccia si è proceduto verificando che $\sigma_{pres} < 1.35 f_d$ , in ottemperanza alle indicazioni fornite nelle CNR 10011 per contatti superficiali di limitata estensione.

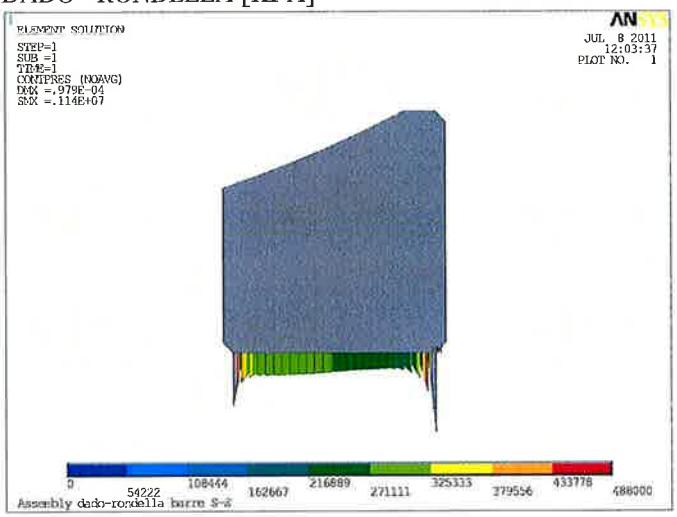
In dettaglio:

- per il contatto dado-rondella $\sigma_{pres} < 770$ MPa ( trascurando a favore di sicurezza l'effetto della tempra superficiale prescritta a progetto sul contatto sferico).
- per il contatto rondella-sede testa barre / flangia di testata $\sigma_{pres} < 488$ MPa

L'entità delle pressioni di contatto [kPa] è fornita nelle immagini sotto-riportate. Per ragioni di chiarezza la scala è tagliata al valore ultimo. Si sono trascurati picchi singolari di sforzo localizzati lungo i bordi delle interfacce. I picchi di sforzo localizzati in prossimità degli angoli vivi alla base della rondella, accentuati dal contatto su superficie indeformabile (flangia di testata modellata come infinitamente rigida) sono da considerarsi poco significativi in virtù anche della limitata estensione spaziale.




PRESSIONI DI CONTATTO INTERFACCIA DADO –RONDELLA [KPA]




PRESSIONI DI CONTATTO INTERFACCIA RONDELLA – FLANGIA [KPA]

FIG. 6.21 - PRESSIONI DI CONTATTO

Le verifiche risultano pertanto globalmente soddisfatte.

## Accoppiamento dado-rondella in presenza di bussola prismatica

Per la verifica dell'accoppiamento dado-rondella in presenza di bussola prismatica si è realizzato un modello numerico con elementi solidi 3D.
Il modello descrive una porzione del dado,della rondella e del riscontro fornito dalla flangia di testata, sfruttando idoneamente la doppia simmetria dell'oggetto in esame.
Si è considerato il carico massimo atteso nella barra di ancoraggio (SLU all'atto della tesatura: 9500kN x 1.2 = 11400kN), applicato mediante una distribuzione triangolare lungo la regione del dado interessata dai filetti; questi ultimi non sono stati tuttavia inclusi nella modellazione.
Un coefficiente di attrito pari a 0.30 è stato assunto per le due superfici di contatto: l'accoppiamento sfera-sfera (R=300) dado-rondella e l'accoppiamento piano su piano tra la rondella e la flangia di testata.
Un'immagine della mesh adottata è fornita nel seguito.

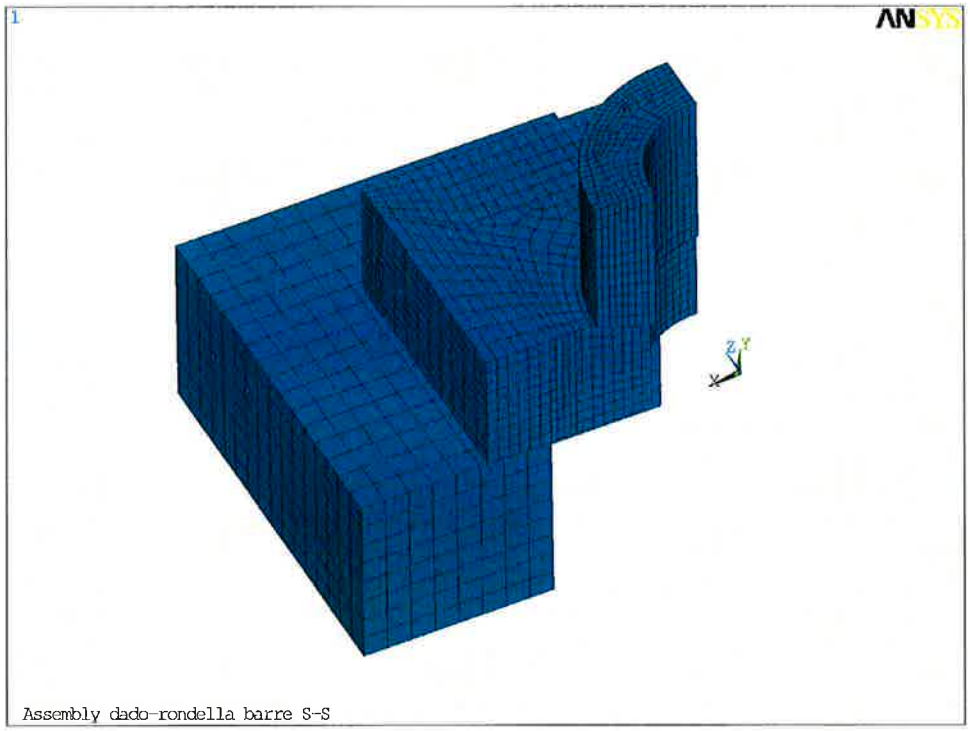
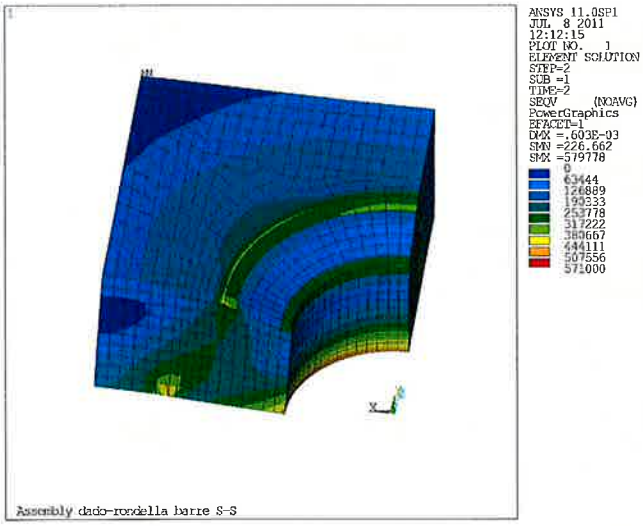



FIG. 6.22 -MESH MODELLO NUMERICO

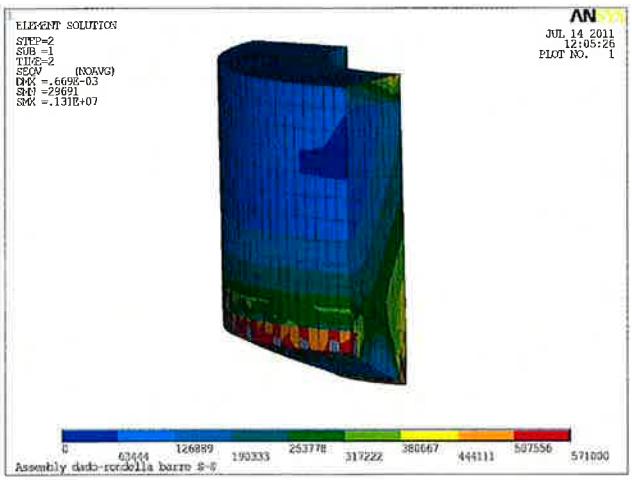
Le verifiche sono state condotte con i medesimi criteri riportati al paragrafo precedente.

Si forniscono nel seguito alcune immagini riassuntive.

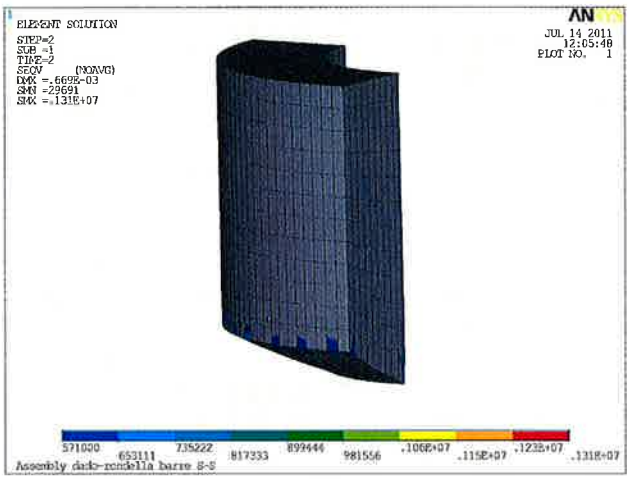
In virtù delle motivazioni già esposte, si trascurano locali singolari superamenti del valore ammissibile di tensione di progetto.



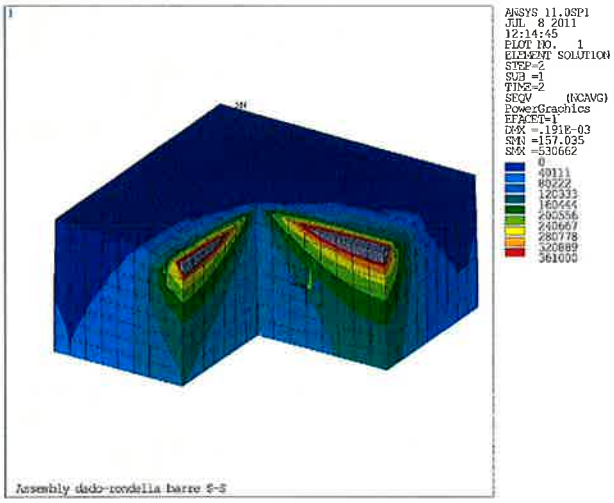

RONDELLA



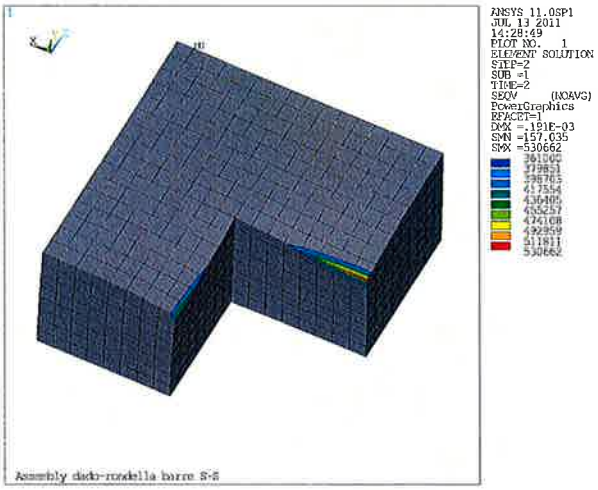

DADO SFERICO




DADO SFERICO (SUPERAMENTO LOCALE TENSIONE DI PROGETTO)

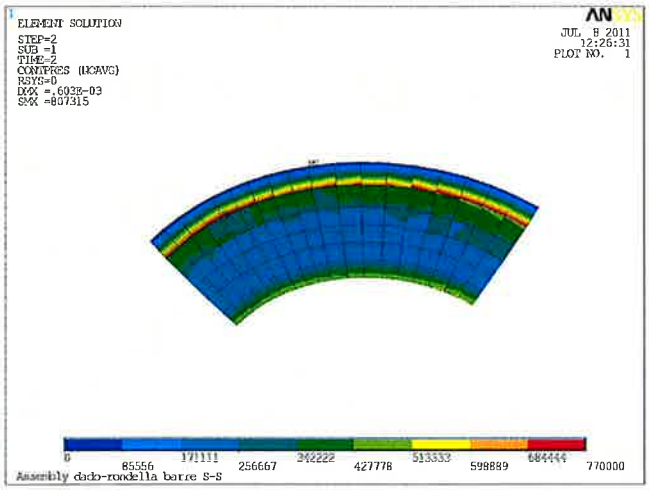



FLANGIA DI TESTATA

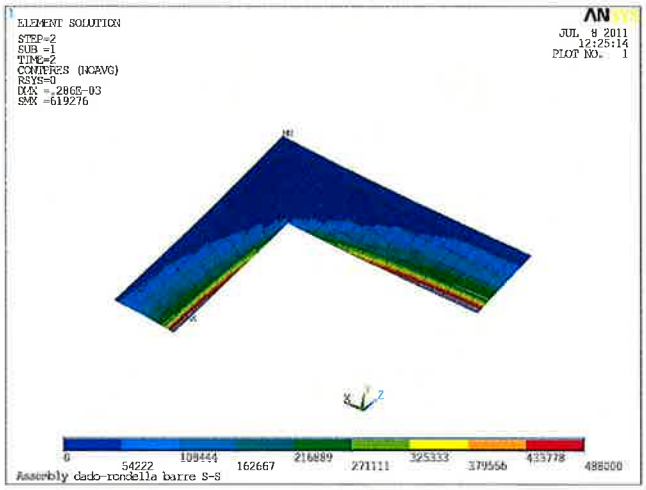



FLANGIA DI TESTATA (SUPERAMENTO LOCALE TENSIONE DI PROGETTO)

FIG. 6.23 -STATO DI SOLLECITAZIONE NEI PRINCIPALI ELEMENTI [KPA]




PRESSIONI DI CONTATTO INTERFACCIA DADO – RONDELLA [KPA]




PRESSIONI DI CONTATTO INTERFACCIA RONDELLA - FLANGIA[KPA]

FIG. 6.24 -PRESSIONI DI CONTATTO

Le verifiche sono pertanto da ritenersi soddisfatte.

## 7. VERIFICHE SCORRIMENTO CONNESSIONI (SLE)

Per tutte le condizioni di carico di navigazione ed operative a scafo emerso relative a stati limite di esercizio (SLE) si verifica la capacità delle due connessioni superiori di trasmettere azioni taglianti (orizzontale e verticali) e momenti torcenti per attrito.
Ricordiamo che per le combinazione SLU tali componenti di sollecitazione sono trasmesse dalle bussole a taglio previste nelle due connessioni superiori.
I dati utilizzati nelle verifiche sono di seguito riassunti:

- Precarico iniziale di ciascuna barra: 9500 kN
- Perdite istantanee al serraggio assunte pari: 40% del precarico iniziale
- Precarico residuo: 0.6×9500 = 5700 kN
- Coefficiente di attrito: 0.3
- $\gamma_{M3}$ (DM2008-SLE): 1.1

e quindi in assenza di azioni assiali dovute ai carichi esterni la forza trasmissibile per attrito da ciascuna barra (SLE) è assunta pari a $F_{V,Rd} = 0.3 \times 5700/1.1 = 1555$kN.
In presenza di azioni assiale generate dai carichi esterni al precarico tra le flange vengono sottratte le eventuali azioni assiali di trazione o vengono sommate il 90% delle eventuali azioni assiali di compressione e la forza trasmissibile per attrito $F_{s,Rd}$ viene di conseguenza modificata.
La forza sollecitante $F_{V,Ed}$ che ciascuna barra deve trasmettere ad attrito viene calcolata combinando vettorialmente il:

- contributo del taglio verticale che impegna la connessione, ripartito uniformemente tra le 4 barre;
- contributo del taglio orizzontale che impegna la connessione, ripartito uniformemente tra le 4 barre;
- contributo del momento torcente locale che impegna la connessione, equilibrato da una distribuzione lineare di forze verticali sulle quattro barre (flangia rigida nel proprio piano);

Si definisce coefficiente di utilizzo il rapporto $F_{V,Ed}$ / $F_{V,Rd}$ che, affinché non avvenga scorrimento, deve risultare minore o al più uguale ad 1.

Le verifiche sopra descritte sono state condotte per tutte le combinazioni SLE di navigazione (C01-C02-C03-C04-C05-C06-C12-C13 di Tabella 1) e per tutte le condizioni operative a scafo emerso di Tabella 3 e di Tabella 4.

I risultati, in termini di massimi coefficienti di utilizzo tra tutte le combinazione di navigazione e di scafo emerso in condizioni operative, sono sintetizzati nella seguente tabella.

**Tabella 15**

| | | | | NAVIGAZIONE SLE | | EMERSO 1 | | EMERSO 2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX |
| POPPA | COPERTA | SX | N | -2411 | 397 | -1628 | -126 | -1734 | -124 |
| | | | V | 164 | 1331 | 190 | 801 | 188 | 791 |
| | | | V trasmissibile | 1446 | 2212 | 1589 | 1998 | 1588 | 2027 |
| | | | Utilizzo | 0,08 | 0,62 | 0,10 | 0,47 | 0,09 | 0,46 |
| | COPERTA | DX | N | -2358 | 388 | -1841 | -232 | -1890 | -228 |
| | | | V | 218 | 1457 | 283 | 664 | 282 | 671 |
| | | | V trasmissibile | 1449 | 2198 | 1618 | 2057 | 1617 | 2070 |
| | | | Utilizzo | 0,10 | 0,73 | 0,17 | 0,37 | 0,17 | 0,37 |
| PRUA | COPERTA | SX | N | -2354 | 476 | -1769 | -117 | -1875 | -116 |
| | | | V | 132 | 1658 | 48 | 409 | 50 | 403 |
| | | | V trasmissibile | 1425 | 2196 | 1586 | 2037 | 1586 | 2066 |
| | | | Utilizzo | 0,06 | 0,90 | 0,03 | 0,22 | 0,03 | 0,22 |
| | COPERTA | DX | N | -2203 | 472 | -1854 | -221 | -1973 | -217 |
| | | | V | 57 | 1337 | 50 | 460 | 46 | 452 |
| | | | V trasmissibile | 1426 | 2155 | 1615 | 2060 | 1614 | 2092 |
| | | | Utilizzo | 0,03 | 0,72 | 0,03 | 0,22 | 0,02 | 0,22 |

I massimi coefficienti di utilizzo si verificano in fase di navigazione, essi si mantengono minori di 1 (valore massimo = 0.9 calcolato per la combinazione C03 cresta nella connessione di prua a sinistra) e quindi la verifica risulta soddisfatta.

# 8. VERIFICHE A FATICA

## 8.1 Criteri adottati

Le verifiche a fatica dei dettagli della connessione tra gli scafi sono state eseguite utilizzando i criteri riportati in EN 1993-1-9, sotto l'effetto dei carichi ciclici generati dal moto ondoso.

In ottemperanza agli standard RINA anche le verifiche a fatica sono state condotte mettendo in conto una riduzione dello spessore delle lamiere pari 0.5mm dovuta alla corrosione.

La vita utile del mezzo, assunta nelle verifiche a fatica è pari a 50 anni.

Per la definizione degli spettri di carico si rimanda al documento MV055P-PV-GNR-6010, da cui si deriva il seguente spettro, relativo all'altezza d'onda da mettere in conto nelle analisi a fatica.

**Tabella 16**

| NAVIGAZIONE | H onda [m] | Cicli/anno | Cicli totali |
|---|---|---|---|
| laguna | 0.1 | 3.550 | 177.500 |
| laguna | 0.25 | 58.800 | 2.940.000 |
| laguna | 0.5 | 9.650 | 482.500 |
| mare | 0.2 | 1.180 | 59.000 |
| mare | 0.5 | 19.600 | 980.000 |
| mare | 1 | 2.576 | 128.800 |
| mare | 1.5 | 483 | 24.150 |
| mare | 2 | 161 | 8.050 |
| **Numero totale di cicli** | | 96.000 | 4.800.000 |

Le condizioni di carico utilizzate per la valutazione delle oscillazioni di sforzo sono le condizioni C1-C2-C3-C4-C5-C6-C12-C13 di tabella 2.

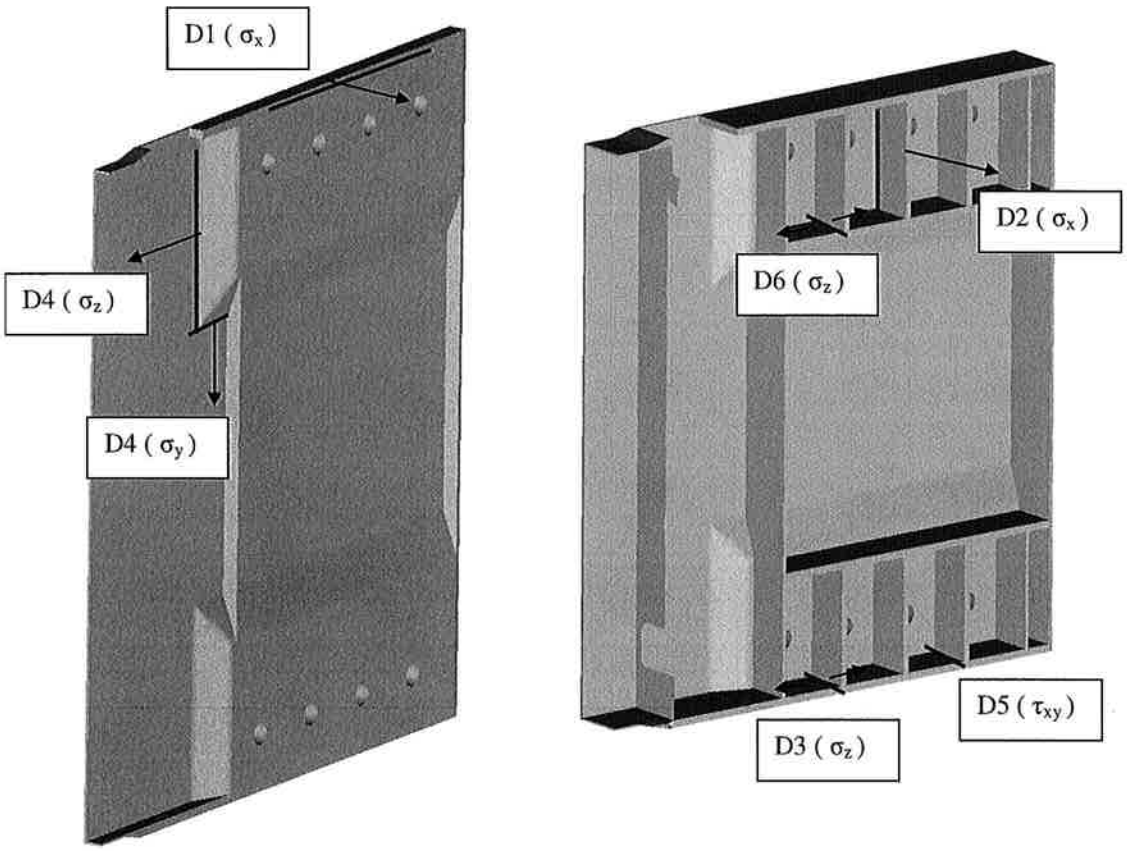
Per ciascuna condizione di carico sono stati valutati gli sforzi mediante i modelli ad elementi finiti locali precedentemente descritti, applicando sul confine del modello locale le condizioni al contorno desunte dalle analisi descritte in MV055P-PV-GNR-6010.

La differenza tra gli sforzi valutati per la condizione di "cresta" e quella di "cavo" definisce l'ampiezza della oscillazione di sforzo in ciascun dettaglio esaminato $\Delta\sigma_{2METRI}$ $\Delta\tau_{2METRI}$.

Le condizioni di carico sopra elencate fanno riferimento ad una altezza d'onda di due metri, per cui le oscillazioni di sforzo precedentemente calcolate sono poi state scalate linearmente con l'altezza d'onda dello spettro in tabella, per generare gli spettri delle oscillazioni di sforzo da utilizzare nelle verifiche a fatica.
Per tutte le onde di cui allo spettro di Tabella 16 è stato assunto il valore di $\Delta\sigma$, $\Delta\tau$ associato alla combinazione di carico che, in ogni dettaglio esaminato, produce la massima escursione di sforzo. Si tratta evidentemente di una scelta cautelativa, in quanto in ogni dettaglio si assume che durante tutta la vita utile del mezzo tutte le onde abbiano la direzione corrispondente a quella che massimizza i danni da fatica.
Il metodo di calcolo utilizzato è quello degli stress nominali (curve S-N).
Si noti che la valutazione delle oscillazioni di sforzo mediante modellazione ad elementi finiti, associata all'utilizzo del metodo S-N, consente la valutazione dettagliata dei cosidetti " stress nominali modificati", da utilizzarsi nelle verifiche al posto degli stress nominali quando la geometria del sistema genera delle concentrazioni dello stato di sforzo, che non possono ovviamente essere state messe in conto nella classificazione dei dettagli costruttivi presentati dalla normativa.

Il fattore parziale $\gamma_{Mf}$ utilizzato nelle verifiche a fatica è stato assunto pari a 1.35, in accordo con i valori raccomandati della normativa utilizzata per l'approccio "safe life" in dettagli la cui rottura ha gravi conseguenze.
L'approccio "safe life" adottato prevede una vita a fatica pari alla vita di progetto. Il valore di $\gamma_{Mf}$ utilizzato nelle verifiche corrisponde alla situazione più conservativa prevista dalla normativa adottata.
Per l'accumulo del danno prodotto da cicli di sforzo di ampiezza diversa è stata adottata la regola di Miner.

Per le barre non si ritiene necessaria alcuna verifica a fatica in quanto da un lato, trattandosi di barre precaricate, presentano oscillazioni di sforzo limitate per le combinazioni SLE, ma soprattutto in quanto dovendo essere sostituite ad ogni riconfigurazione dello scafo, hanno una vita utile limitata nel tempo e quindi sono sottoposte ad un numero di cicli di sforzo modesto.




## 8.2 Verifiche

### 8.2.1 Dettagli saldature più impegnati a fatica

Nella precedente figura si riportano i dettagli di saldatura verificati a fatica, si tratta di tutte le posizioni della connessione tra gli scafi ove sono stati rilevati oscillazioni significative di sforzo:

- Dettaglio 1: Saldatura Coperta (Fondo) – Flangia
- Dettaglio 2: Costole di Irrigidimento – Flangia – $\Delta\sigma$ costole
- Dettaglio 3: Costole di Irrigidimento – Flangia
- Dettaglio 4: Saldatura di testa tra flange e paratia di testata
- Dettaglio 5: Collegamento a taglio Costole di irrigidimento - Coperta (Fondo / Trave a L orizzontale)
- Dettaglio 6: Costole di Irrigidimento – Anima (Piattabanda) trave a L

In figura è anche riportata la direzione dello sforzo utilizzato per le verifiche:

$\sigma_x$ indica sforzo nella direzione longitudinale (asse scafo);

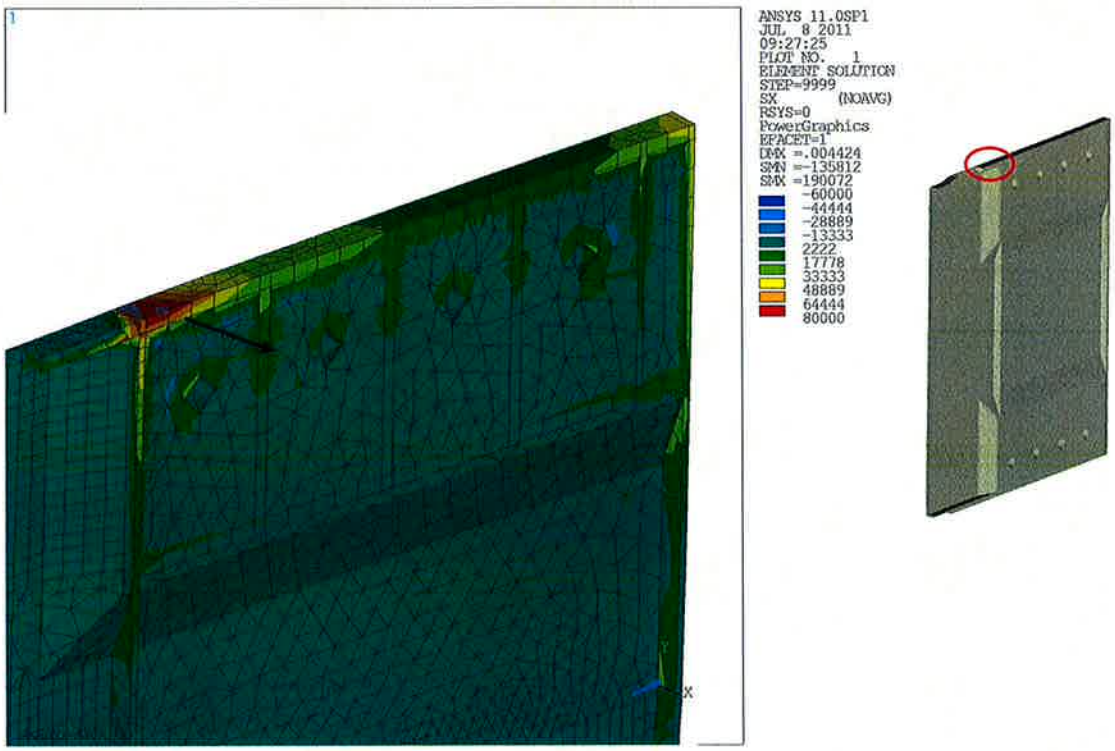
$\sigma_Z$, $\sigma_Y$ indica sforzo nella direzione trasversale;

$\tau_{xy}$ indica sforzo di taglio nella sezione di gola saldatura.

**Dettaglio 1: Saldatura Coperta (Fondo) – Flangia**

I massimi $\Delta\sigma_x$ si hanno in coperta, in corrispondenza del boccaporto.

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma_x$ valutati per un'onda di 2 metri. Al piede della saldatura $\Delta\sigma_{x,MAX}$ = 80MPa.




Dettaglio 1: Saldatura Coperta – Flangia (Max Delta σ, [kPa])

Nella seguente tabella, si riporta, utilizzando la simbologia della normativa di riferimento utilizzata, la verifica a fatica.

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ [Mpa] |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 80 |
| laguna | 0,1 | 3550 | 4 |
| laguna | 0,25 | 58800 | 10 |
| laguna | 0,5 | 9650 | 20 |
| mare | 0,2 | 1180 | 8 |
| mare | 0,5 | 19600 | 20 |
| mare | 1 | 2576 | 40 |
| mare | 1,5 | 483 | 60 |
| mare | 2 | 161 | 80 |

Ove $D_i$ indica il danno annuo a fatica associato alle varie righe dello spettro di cui in Tabella 16.

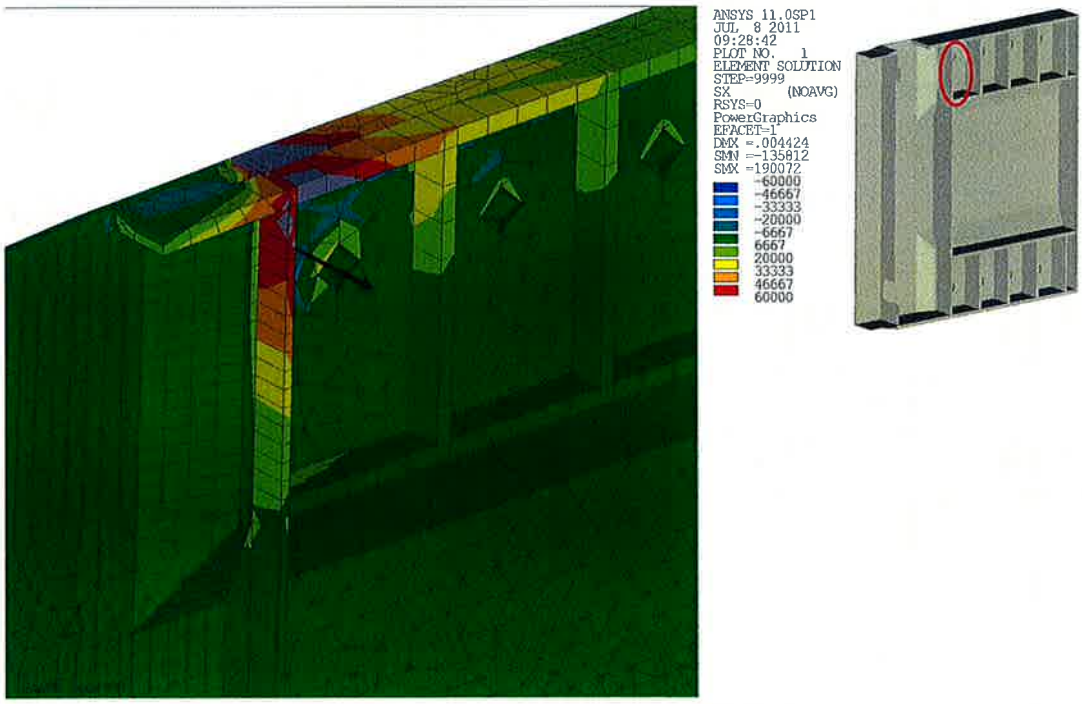
Il danno totale valutato per 50 anni è pari a 0,53<1 e quindi la verifica è soddisfatta.

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tab. 8.5 dett. 1 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 40 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1,35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 29,63 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 21,8 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 12,0 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0,0012 |
| $D_{1,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0,0025 |
| $D_{3,MARE}$ | 0,0032 |
| $D_{4,MARE}$ | 0,0020 |
| $D_{5,MARE}$ | 0,0016 |
| DANNO/ANNO | 0,0105 |
| DANNO TOTALE (50 anni) | 0,5267 |

**Dettaglio 2: Saldatura delle costole di irrigidimento sulla flangia Δσ costole**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma_x$ valutati per un'onda di 2 metri.

Al piede della saldatura $\Delta\sigma_{x,MAX}$ = 60MPa




Dettaglio 2: Costole di Irrigidimento – Flangia (Max Delta σ, [kPa])

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 60 |
| laguna | 0,1 | 3550 | 3 |
| laguna | 0,25 | 58800 | 7,5 |
| laguna | 0,5 | 9650 | 15 |
| mare | 0,2 | 1180 | 6 |
| mare | 0,5 | 19600 | 15 |
| mare | 1 | 2576 | 30 |
| mare | 1,5 | 483 | 45 |
| mare | 2 | 161 | 60 |

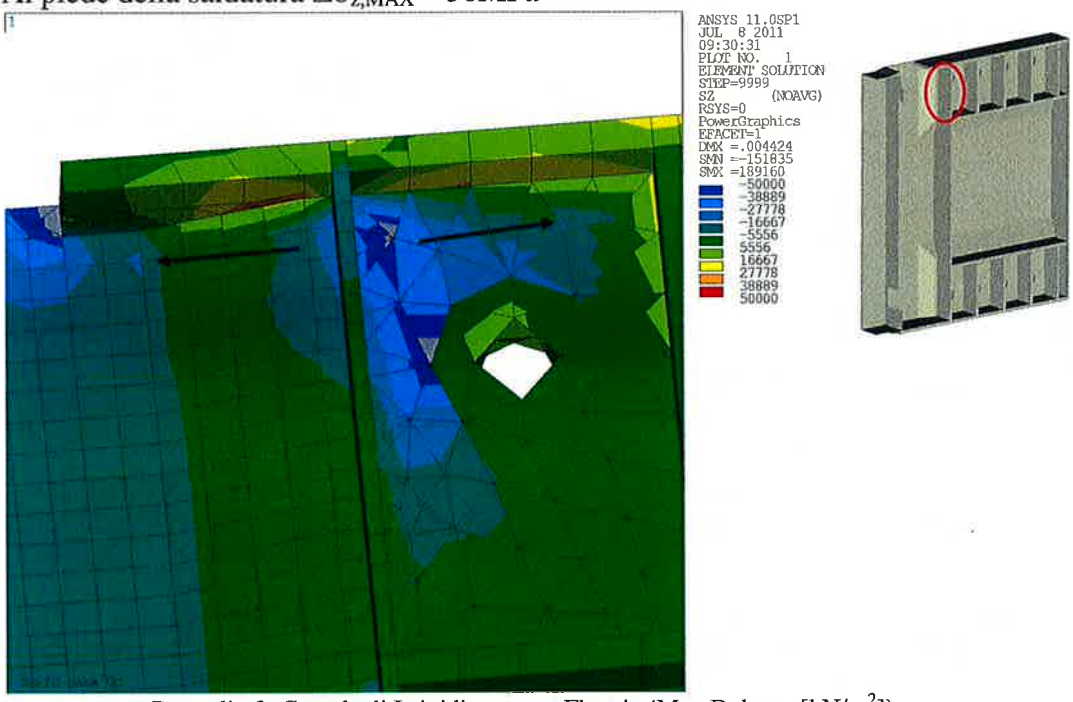
Il danno totale a fatica valutato per 50 anni è pari a 0,088<1 e quindi la verifica è soddisfatta.

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tab. 8.5 dett. 1 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 50 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1,35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$ [Mpa] | 37,04 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 27,3 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 15,0 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0,0001 |
| $D_{1,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0,0002 |
| $D_{3,MARE}$ | 0,0007 |
| $D_{4,MARE}$ | 0,0004 |
| $D_{4,MARE}$ | 0,0003 |
| DANNO/ANNO | 0,0018 |
| **DANNO TOTALE 50 anni** | **0,0877** |

**Dettaglio 3: Saldatura delle costole di irrigidimento sulla flangia Δσ flangia**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma_z$ valutati per un'onda di 2 metri.

Al piede della saldatura $\Delta\sigma_{z,MAX}$ = 50MPa




Dettaglio 3: Costole di Irrigidimento – Flangia (Max Delta σ, [kN/m$^2$])

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 50 |
| laguna | 0,1 | 3550 | 2,5 |
| laguna | 0,25 | 58800 | 6,25 |
| laguna | 0,5 | 9650 | 12,5 |
| mare | 0,2 | 1180 | 5 |
| mare | 0,5 | 19600 | 12,5 |
| mare | 1 | 2576 | 25 |
| mare | 1,5 | 483 | 37,5 |
| mare | 2 | 161 | 50 |

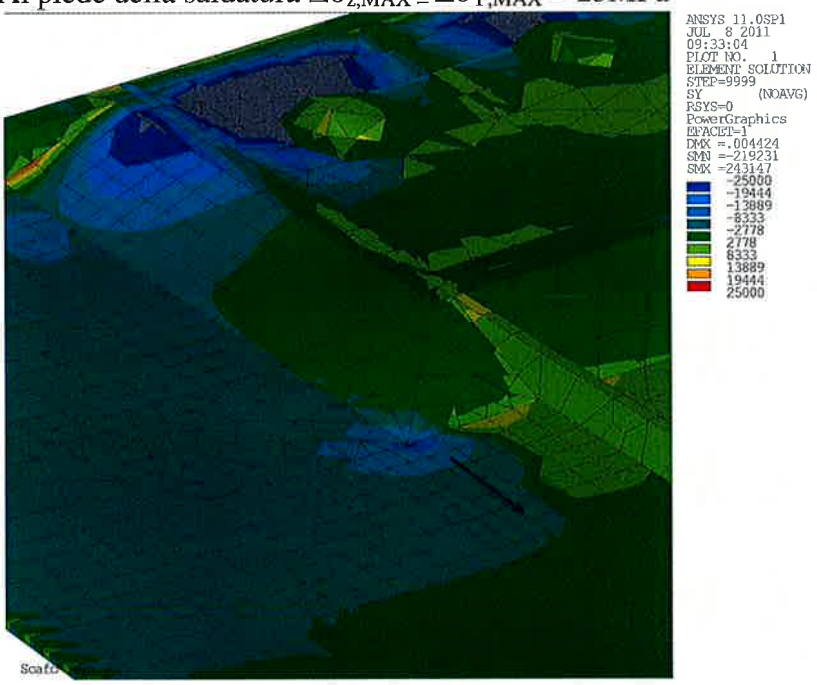
Il danno totale a fatica valutato per 50 anni è pari a 0,0104<1 e quindi la verifica è soddisfatta.

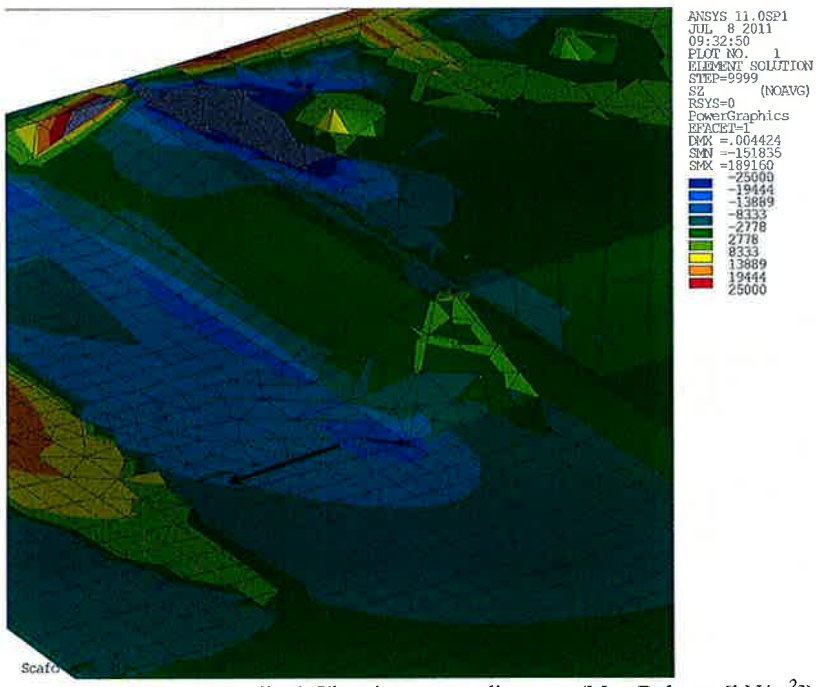
| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tab. 8.4 dett. 6 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 71 |
| $K_s$ | 1 |
| m | 3 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1,35 |
| $K_s$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 52,59 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 38,8 |
| $\Delta\sigma_L$/ $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 21,3 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{1,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{3,MARE}$ | 0,0001 |
| $D_{4,MARE}$ | 0,0001 |
| $D_{5,MARE}$ | 0,0001 |
| DANNO/ANNO | 0,0002 |
| DANNO TOTALE 50 anni | 0,0104 |

**Dettaglio 4: Dettaglio 4: Saldatura di testa tra flange e paratia di testata**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma_z$ $\Delta\sigma_Y$ valutati per un'onda di 2 metri.

Al piede della saldatura $\Delta\sigma_{z,MAX} = \Delta\sigma_{Y,MAX} = 25MPa$






Dettaglio 4: Flangia e parete di testata (Max Delta σ, [kN/m$^2$])

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 25 |
| laguna | 0,1 | 3550 | 1,25 |
| laguna | 0,25 | 58800 | 3,125 |
| laguna | 0,5 | 9650 | 6,25 |
| mare | 0,2 | 1180 | 2,5 |
| mare | 0,5 | 19600 | 6,25 |
| mare | 1 | 2576 | 12,5 |
| mare | 1,5 | 483 | 18,75 |
| mare | 2 | 161 | 25 |

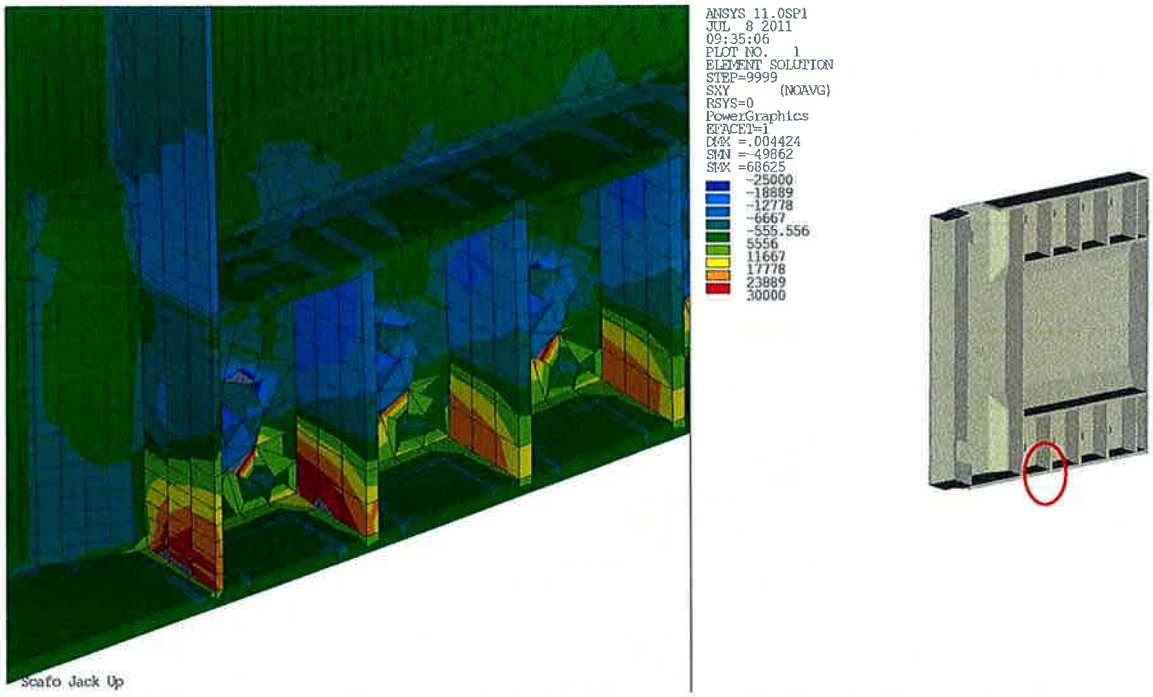
I valori di $\Delta\sigma$ sono quasi sempre inferiori al limite di vita infinita che per questo dettaglio vale 24MPa, con l'eccezione della classe di onde più alta che comunque produce un danno totale a fatica trascurabile.

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tab. 8.3<br>dett. 11 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 80 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| $\Delta\sigma$ (=1) $\Delta\tau$(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1,35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 59,26 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 43,7 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 24,0 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0,0000 |
| $D_{1,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{3,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{4,MARE}$ | 0,0000 |
| $D_{5,MARE}$ | 0,0000 |
| DANNO/ANNO | 0,0000 |
| **DANNO TOTALE 50 anni** | **0,0001** |

**Dettaglio 5: Collegamento a taglio Costole di irrigidimento - Coperta (Fondo / Trave a L orizzontale)**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\tau_{xy}$ valutati per un'onda di 2 metri.

Al piede della saldatura $\Delta\tau_{xy}$ = 35 MPa. Nelle verifiche a fatica tale valore viene incrementato di un fattore 2 per tenere in conto la maggiore sezione di saldatura del modello ad elementi finiti rispetto alla sezione di gola dei cordoni d'angolo effettivamente realizzati.




Dettaglio 5: Collegamento a taglio tra costole di irrigidimento e coperta (Fondo / Trave orizzontale) (Max Delta τ, [kN/m$^2$])

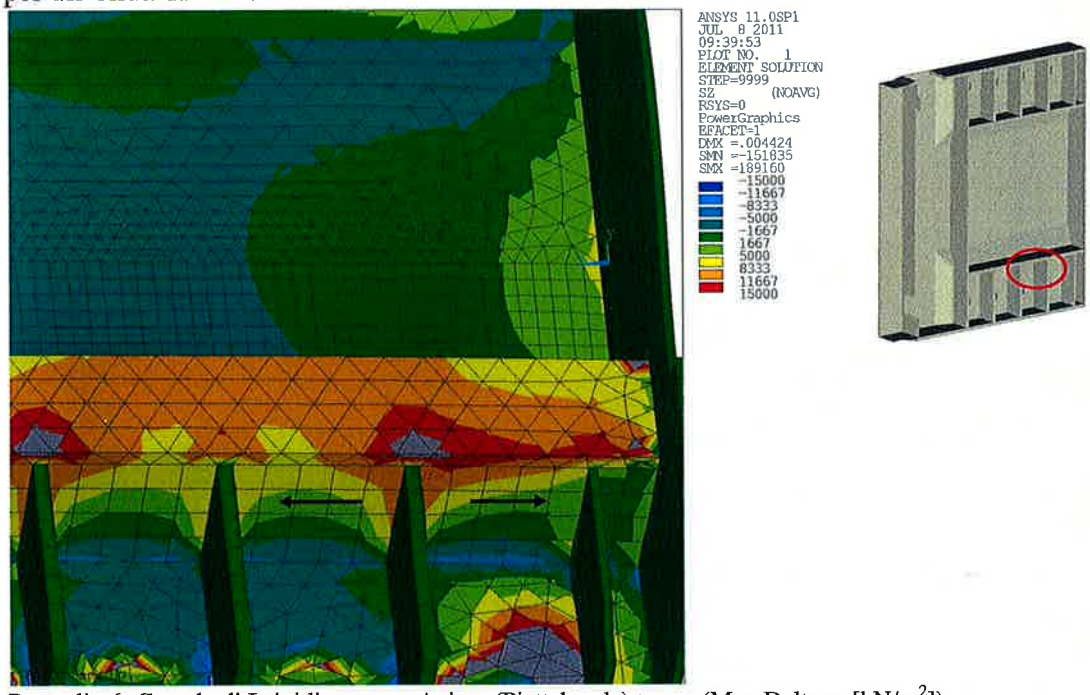
| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 70 |
| laguna | 0.1 | 3550 | 3.5 |
| laguna | 0.25 | 58800 | 8.75 |
| laguna | 0.5 | 9650 | 17.5 |
| mare | 0.2 | 1180 | 7 |
| mare | 0.5 | 19600 | 17.5 |
| mare | 1 | 2576 | 35 |
| mare | 1.5 | 483 | 52.5 |
| mare | 2 | 161 | 70 |

Il danno totale a fatica (50 anni) vale 0.02 <1. La verifica è soddisfatta.

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tabella 8.5 dett. 8 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 80 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 5 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 2 |
| $\gamma_M$ | 1.35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 59.26 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 0.0 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 27.1 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{1,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{3,MARE}$ | 0.0001 |
| $D_{4,MARE}$ | 0.0001 |
| $D_{5,MARE}$ | 0.0002 |
| DANNO/ANNO | 0.0004 |
| **DANNO TOTALE 50 anni** | **0.0205** |

**Dettaglio 6: Costole di Irrigidimento – Anima (Piattabanda) trave a L**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma$ valutati per un'onda di 2 metri.




Dettaglio 6: Costole di Irrigidimento – Anima (Piattabanda) trave (Max Delta σ, [kN/m$^2$])

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 20 |
| laguna | 0,1 | 3550 | 1 |
| laguna | 0,25 | 58800 | 2,5 |
| laguna | 0,5 | 9650 | 5 |
| mare | 0,2 | 1180 | 2 |
| mare | 0,5 | 19600 | 5 |
| mare | 1 | 2576 | 10 |
| mare | 1,5 | 483 | 15 |
| mare | 2 | 161 | 20 |

I valori di $\Delta\sigma$ sono sempre inferiori al limite di vita infinita che per questo dettaglio vale 24MPa e quindi il danno è nullo.

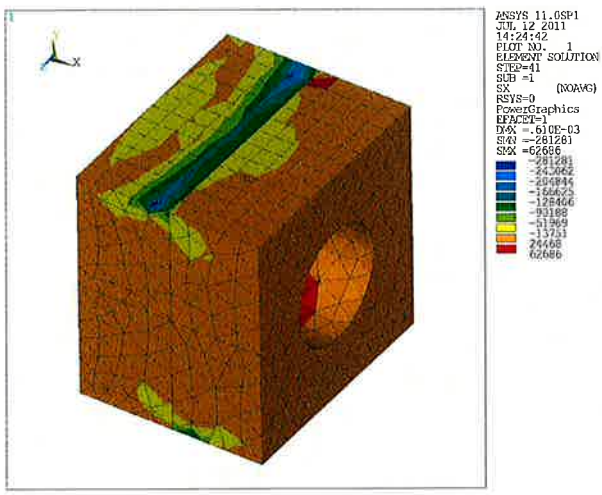
| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Dettaglio | tab. 8.4 dett. 6 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 80 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| $\Delta\sigma$ (=1) $\Delta\tau$(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1,35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 59,26 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 43,7 |
| $\Delta\sigma_L$/ $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 24,0 |

### 8.2.2 Dettagli aggiuntivi

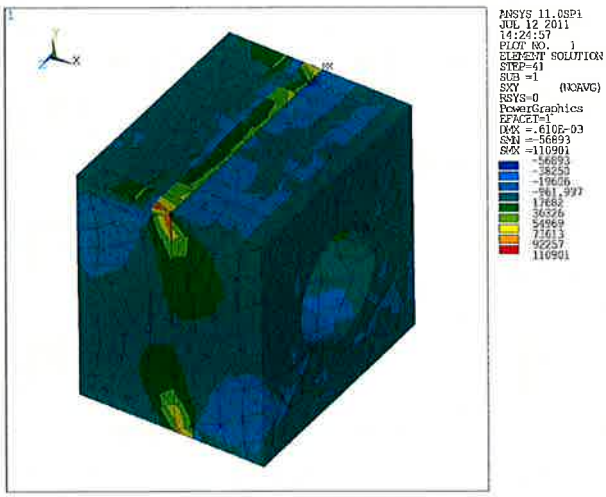
In aggiunta ai dettagli sopra citati, si è proceduto alla verifica a fatica delle chiavarde a bussola e dei piatti delle relative sedi.
Le sollecitazioni adottate per le verifiche, sempre condotte in accordo ai criteri esposti in EN 1993-1-9, sono state ottenute mediante i modelli locali descritti in §6.4.3 e §6.4.4.
I valori di sollecitazione ottenuti sono relativi all'escursione di sforzo tra le condizioni di cresta e cavo d'onda per la combinazione di carico C13, responsabile della variazione di azione tagliante più severa sulle chiavarde.

**Dettaglio 7: Chiavarda a bussola prismatica**

Per la verifica dell'elemento in esame si è proceduto sommando i contributi al danno determinati rispettivamente dagli sforzi normali e dagli sforzi taglianti.
In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma_x$ e $\Delta\tau_{xy}$ valutati per un'onda di 2 metri.
Per quanto concerne la valutazione del danno dovuto a $\Delta\sigma_x$ si è cautelativamente fatto riferimento al dettaglio 5 del prospetto 8.1, tenendo in conto il degrado superficiale indotto dagli eventuali strisciamenti delle superfici a contatto .
I valori assunti per le verifiche, desunti direttamente dal modello numerico, includono conservativamente picchi locali di sforzo. I valori medi letti su campiture più ampie sono tuttavia inferiori.




$\Delta\sigma_x$ (kPa)




$\Delta\tau_{xy}$ (kPa)

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa] |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 281 |
| laguna | 0.1 | 3550 | 14.05 |
| laguna | 0.25 | 58800 | 35.125 |
| laguna | 0.5 | 9650 | 70.25 |
| mare | 0.2 | 1180 | 28.1 |
| mare | 0.5 | 19600 | 70.25 |
| mare | 1 | 2576 | 140.5 |
| mare | 1.5 | 483 | 210.75 |
| mare | 2 | 161 | 281 |

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa] |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 110 |
| laguna | 0.1 | 3550 | 5.5 |
| laguna | 0.25 | 58800 | 13.75 |
| laguna | 0.5 | 9650 | 27.5 |
| mare | 0.2 | 1180 | 11 |
| mare | 0.5 | 19600 | 27.5 |
| mare | 1 | 2576 | 55 |
| mare | 1.5 | 483 | 82.5 |
| mare | 2 | 161 | 110 |

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Riferimento | tab. 8.1 |
| Riferimento | dett. 5 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 125 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1.35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 92.59 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 68.2 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 37.5 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0.0021 |
| $D_{1,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0.0043 |
| $D_{3,MARE}$ | 0.0045 |
| $D_{4,MARE}$ | 0.0028 |
| $D_{5,MARE}$ | 0.0023 |
| DANNO/ANNO | 0.0160 |
| DANNO TOTALE | 0.7992 |

Danno per $\Delta\sigma_x$

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Riferimento | tab. 8.1 |
| Riferimento | dett. 6 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 100 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 5 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 2 |
| $\gamma_M$ | 1.35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 74.07 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 0.0 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 33.9 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{1,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{3,MARE}$ | 0.0003 |
| $D_{4,MARE}$ | 0.0004 |
| $D_{5,MARE}$ | 0.0006 |
| DANNO/ANNO | 0.0013 |
| DANNO TOTALE | 0.0643 |

Danno per $\Delta\tau_{xy}$

Il danno complessivo valutato al termine della vita utile è pari a 0.86.

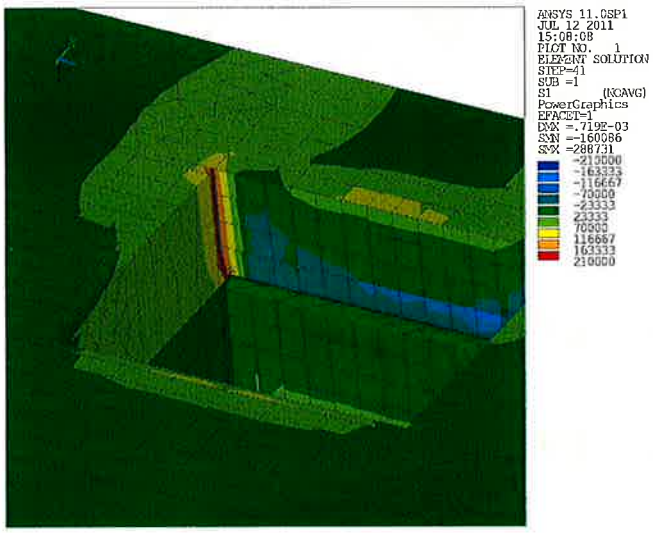
Si ripete che nei dettagli costruttivi a progetto gli spigoli vivi della bussola prismatica e delle sedi sono stati smussati con raggi di raccordo.

Ne deriva quindi che in realtà la situazione di sforzo è considerevolmente più favorevole, i picchi evidenziati dalle modellazioni ad elementi finiti sono nella realtà molto minori e quindi anche il danno a fatica risulta considerevolmente

minore di quello calcolato, che pure rispetta i valori ammissibili dello standard adottato.

**Dettaglio 8: Sede chiavarda a bussola prismatica**

In figura si riportano le curve di livello quotate in kPa dei massimi $\Delta\sigma$ principali valutati per un'onda di 2 metri. (Si sono escluse le pressioni normali di contatto)




Si fa riferimento al dettaglio 5 del prospetto 8.1 per tenere in conto dell'eventuale degrado superficiale indotto dallo strisciamento delle superfici.

| Navigazione | H onda [m] | Cicli/anno | Δσ,τ [Mpa] |
|---|---|---|---|
| H riferimento | 2 | | 210 |
| laguna | 0.1 | 3550 | 10.5 |
| laguna | 0.25 | 58800 | 26.25 |
| laguna | 0.5 | 9650 | 52.5 |
| mare | 0.2 | 1180 | 21 |
| mare | 0.5 | 19600 | 52.5 |
| mare | 1 | 2576 | 105 |
| mare | 1.5 | 483 | 157.5 |
| mare | 2 | 161 | 210 |

| Normativa | EN 1993-1-9 |
|---|---|
| Riferimento | tab. 8.1 |
| Riferimento | dett. 5 |
| classe $\Delta\sigma_C$ / $\Delta\tau_C$ | 125 |
| $K_S$ | 1 |
| m | 3 |
| Δσ (=1) Δτ(=2) | 1 |
| $\gamma_M$ | 1.35 |
| $K_S$ $\Delta\sigma_C/\gamma_M$[Mpa] | 92.59 |
| $\Delta\sigma_D$ [Mpa] | 68.2 |
| $\Delta\sigma_L$ / $\Delta\tau_L$ [Mpa] | 37.5 |
| $D_{1,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{2,LAGUNA}$ | 0.0000 |
| $D_{3,LAGUNA}$ | 0.0005 |
| $D_{1,MARE}$ | 0.0000 |
| $D_{2,MARE}$ | 0.0011 |
| $D_{3,MARE}$ | 0.0019 |
| $D_{4,MARE}$ | 0.0012 |
| $D_{5,MARE}$ | 0.0009 |
| DANNO/ANNO | 0.0056 |
| DANNO TOTALE | 0.2792 |

Il danno totale (50 anni) è pari a 0.28 < 1.
La verifica è soddisfatta.

Valgono le stesse considerazioni già riportate per la chiavarda prismatica.

**Dettagli 9 e 10: Chiavarda a bussola cilindrica e relative sedi**

L'entità dell'escursione degli sforzi, per la medesima condizione di carico, letta dal modello ed elementi finiti negli oggetti in esame risulta inferiore rispetto ai rispettivi dettagli nella chiavarda a bussola prismatica.
Le verifiche sono pertanto da ritenersi automaticamente soddisfatte.