

C0	28/03/13	Emissione per aggiornamento	DV	DL	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. 8602 DEL 08-02-2013 (OPERA)

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

CUP: D51B02000050AC1 (OPERA)

PROGETTO ESECUTIVO

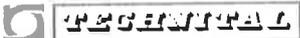
WBS: LN.I1.48
WBE: LN.I1.48.PE.03

**BOCCA DI LIDO SAN NICOLO' – PARATOIE E CONNETTORI
PARATOIE
NOTA INTEGRATIVA
SULLE RELAZIONI DI CALCOLO**

ELABORATO D. Varisco	CONTROLLATO D. Lesina	APPROVATO L. Mazza
N. ELABORATO MV082P-PE-NAR-2018-C0	CODICE FILE MV082P-PE-NAR-2018-C0.doc	DATA 28 Marzo 2013

CONSORZIO "VENEZIA NUOVA"

<p>COORDINAMENTO PROGETTAZIONE</p> <p>VERIFICATO: V. ARDONE</p> <p>CONTROLLATO: V. ARDONE</p> <p>CONSORZIO VENEZIA NUOVA ING. M. BRONTO</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>INGEGNERI DELLA SOCIETA' TECON</p> <p>IL RESPONSABILE: ING. A. SCOTTI</p> <p>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</p>
---	--

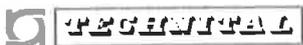
	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 2
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

INDICE

1.	OGGETTO E SCOPO	4
2.	RIFERIMENTI	9
	2.1. Elaborati del Progetto Esecutivo WBE03	9
	2.2. Elaborati del Progetto Esecutivo in altre WBE	9
3.	CHIARIMENTI SU CRITERI DI CALCOLO E CARICHI	10
	3.1. Criteri di calcolo e modellazione	10
	3.2. Normative	12
	3.3. Carichi sulla paratoia e carichi sui connettori	13
	3.4. Derivazione della forza trasversale per paratoie e connettori in esercizio	16
	3.4.1. Premessa	16
	3.4.2. Azioni di progetto	18
4.	PROGRAMMA DI CALCOLO STRUTTURALE E MODELLAZIONE DELLA PARATOIA	36
	4.1. Programma di calcolo strutturale	36
	4.2. Elementi utilizzati nella modellazione strutturale e loro connessione	37
	4.2.1. Elementi plate	37
	4.2.2. Elementi brick	37
	4.2.3. Interfacce tra elementi brick ed elementi plate	38
	4.2.4. Descrizione degli elementi nel manuale Algor	39
	4.2.5. Visualizzazione degli elementi nelle illustrazioni	39
	4.3. Informazioni generali sull'elaborazione e l'accettabilità dei risultati	40
5.	NOTE GENERALI SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	41
	5.1. Generalità	41
	5.2. Caratteristiche dei materiali	41
	5.3. Tensioni ammissibili	43
	5.4. Unità di misura	45
	5.5. Sistema di riferimento del modello	46
	5.6. Sovra-spessore di corrosione	48
	5.7. Modellazione della paratoia	49
	5.7.1. Generalità	49
	5.7.2. Fasciami esterni	53

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 3
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.3.	Fasciami interni	60
5.7.4.	Rinforzi ordinari – Piatti	64
5.7.5.	Rinforzi ordinari – Ferri a bulbo	66
5.7.6.	Telai rinforzati	71
5.7.7.	Squadre	77
5.7.8.	Piatti di rinforzo	79
5.7.9.	Supporti ammortizzatori	81
5.7.10.	Vincoli	84
5.8.	Tabella riepilogativa dei carichi applicati e delle condizioni di verifica e di vincolo	86
5.9.	Verifiche tensionali	90
5.10.	ERRATA CORRIGE sulle relazioni	92
6.	NOTE SULL'ANALISI DEL MOTO DI AFFONDAMENTO DELLA PARATOIA E RELATIVE VERIFICHE	93
6.1.	Programma per l'analisi del moto di affondamento della paratoia	93
6.2.	Valori della velocità e dell'accelerazione per le condizioni di carico	94
6.3.	Masse strutturali	95
6.4.	Verifiche tensionali e spostamenti	104
7.	NOTE SULLA RELAZIONE MV082P-PE-NAR-2009 “Verifiche strutturali – Urto natante e oggetti alla deriva”	106
7.1.	Scelta del natante	106
7.2.	Parametri di progetto	107
7.3.	Risultati	107
8.	APPENDICE 1 - MANUALE ALGOR – CALCOLO STRESS E CONVENZIONI	109
9.	APPENDICE 2 - MANUALE ALGOR – ELEMENTI PLATE E BRICK	115

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 4
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

1. OGGETTO E SCOPO

Successivamente all'approvazione del Progetto Esecutivo (voto MAV n. 157 del 16/09/2010) si sono rese necessarie alcune modifiche al Progetto Esecutivo, tra le quali le più significative sono:

- l'apertura di varchi nel fasciame posteriore per consentire il montaggio dei maschi utilizzando le apparecchiature e le metodologie proposte dall'Impresa e modifiche ai manifold aria per facilitare il montaggio ed eliminare interferenze con il connettore (settembre 2011);
- le predisposizioni per l'interfaccia tra la pinna e il connettore, a seguito della definizione dello snodo per i connettori e del suo sistema di alloggiamento e trattenimento (settembre 2012)
- l'introduzioni di chiarimenti e integrazioni sulla base dei rilievi che la commissione di collaudo ha espresso sul progetto delle paratoie di Treporti (tra ottobre e dicembre 2012).

La presente nota approfondisce i seguenti aspetti, a integrazione e chiarimento di quanto riportato nelle relazioni del Progetto Esecutivo:

- normative di riferimento e criteri di definizione dei carichi e dei metodi di verifica;
- derivazione della forza trasversale (parallela alla barriera) per paratoie e connettori in esercizio (barriera sollevata);
- programmi di calcolo, modellazione, validazione e controlli;
- analisi del moto di affondamento della paratoia (MV082P-PE-NAR-2012);
- analisi degli effetti dell'urto di un natante sulla paratoia in esercizio (MV082P-PE-NAR-2009);

A ulteriore chiarimento dell'analisi del moto di affondamento della paratoia, si emette la nota

- MV082P-PE-NAR-2017 Analisi del moto di affondamento della paratoia : metodo ed equazioni

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 5
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

che illustra il procedimento per la stesura del programma visual basic con il quale è stato analizzato il moto di affondamento della paratoia, riportato nel documento MV082P-PE-NAR-2011, e i cui risultati hanno permesso la verifica della paratoia per tale condizione in MV082P-PE-NAR-2012.

Altri elaborati, elencati nel seguito, approfondiscono gli altri aspetti conseguenti alle modifiche apportate alla paratoia e alla definizione del sistema di alloggiamento e trattenimento snodo.

Con riferimento alle conseguenze delle modifiche apportate al fasciame posteriore e alle osservazioni di carattere generale sui carichi di progetto, sono state ripetute le verifiche della paratoia con il fasciame posteriore modificato per le condizioni operative di esercizio della paratoia (le più gravose per la paratoia), aggiungendo l'analisi e la verifica di condizioni in cui è presente anche una forza trasversale.

Nella nota:

- MV082P-PE-NAR-2019 Nota integrativa sulle modifiche al fasciame posteriore – Condizioni operative di esercizio

si evidenziano i componenti modificati o diversamente sollecitati, mentre si rimanda alle corrispondenti relazioni MV082P-PE-NAR-2002, 2003, 2004, 2005 per i risultati relativi a componenti la cui sollecitazione rimane sostanzialmente invariata.

In un'altra nota integrativa

- MV082P-PE-NAR-2020 Nota integrativa sulle condizioni di sollevamento e di appoggio a terra

si ripetono le verifiche della paratoia con il fasciame posteriore modificato per le condizioni significative di sollevamento e trasporto, (non si ripetono le analisi per i casi meno sfavorevoli, per i quali si rimanda alla relazione MV082P-PE-NAR-2007). Si aggiungono inoltre le verifiche relative a condizioni aggiuntive e a due nuovi schemi di supporto a terra.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 6
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Nelle due note integrative MV082P-PE-NAR-2019 e MV082P-PE-NAR-2020, la descrizione della schematizzazione della paratoia è stata dettagliata, in modo da fornire maggiori indicazioni sulla modellazione, così come sono fornite precisazioni per l'attribuzione delle riduzioni di spessore per corrosione, per la definizione delle tensioni di confronto, per la derivazione dei carichi e delle masse considerati, come richiesto dalla commissione di collaudo per il progetti di Treporti.

Dopo la scelta dei componenti e della configurazione del sistema di alloggiamento e trattenimento snodo, avvenuta successivamente all'approvazione del Progetto Esecutivo delle paratoie, il sistema è stato dimensionato, tenendo conto del comportamento della pinna e verificandola localmente.

I nuovi elaborati che documentano il progetto del sistema sono:

- MV082P-PE-NAR-2013 Effetti delle tolleranze e degli spostamenti sulle cerniere
- MV082P-PE-NAR-2016 Sistema di alloggiamento e trattenimento snodo – Relazione di calcolo
- MV082P-PE-NAR-2021 Modello parziale di una paratoia per verifiche locali della pinna
- MV082P-PE-NAD-2072 Struttura principale – Sistema di alloggiamento e trattenimento snodo –Viste e sezioni
- MV082P-PE-NAD-2073 Struttura principale – Sistema di alloggiamento e trattenimento snodo – Dettagli

mentre il seguente documento è stato aggiornato:

- MV082P-PE-NAR-2014 Effetti delle tolleranze e degli spostamenti sulle cerniere

Le relazioni MV082P-PE-NAR-2013 e MV082P-PE-NAR-2014 riportano l'analisi degli effetti che le tolleranze di costruzione e gli spostamenti conseguenti all'esercizio, relativi a cassone, connettori e paratoie, hanno sul comportamento

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 7
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

delle coppie di cerniere di una paratoia per verificare le risorse degli snodi e valutare i parametri influenti sui trasferi tra le paratoie.

Nella revisione del documento MV082P-PE-NAR-2013 si tiene conto dei risultati relativi allo sviluppo del sistema di alloggiamento e trattenimento snodo, degli effetti di tolleranze e spostamenti sulle cerniere (ref. MV082P-PE-NAR-2014) e dei risultati delle analisi strutturali integrative (combinazioni di esercizio con la presenza di una forza trasversale) o aggiornate (per la paratoia con modifiche al fasciame posteriore).

Infine sono stati revisionati i seguenti documenti:

- MV082P-PE-NAS-2001 Specifica tecnica – Materiali, fabbricazione e controlli

Nella specifica sono aggiunte le prescrizioni relative al sistema di trattenimento e alloggiamento snodo e alla preparazione del foro sulla pinna, si modificano di conseguenza le alcune delle tolleranze richieste sulla paratoia, si introduce la possibilità di effettuare controlli delle saldature con i metodi Phased Array e TOFD, purché approvate dalla Direzione Lavori, e sono aggiornate le normative di riferimento.

- MV082P-PE-NNS-2002 Specifica tecnica – Parabordi ed elementi in gomma

Nella specifica sono modificate le geometrie di alcuni elementi di gomma in corrispondenza dello spigolo lato mare, per ovviare alla maggiore apertura sul fasciame posteriore, sono chiariti e integrati i requisiti per gli ammortizzatori e sono aggiornati i riferimenti normativi.

- MV082P-PE-NZF-2007 Caratteristiche delle paratoie – Tabella di sintesi

Il documento sintetizza i principali dati relativi alle paratoie, con i necessari aggiornamenti.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 8
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

I disegni revisionati, elencati nel seguito, sono quelli in cui le modifiche introdotte sono significative per la definizione della fornitura e/o per la rappresentazione della paratoia, mentre i disegni in cui le modifiche non sono apprezzabili o visibili o non sono pertinenti all'elaborato non sono stati revisionati.

- MV082P-PE-NAD-2003 VISTE DI ASSIEME TRIDIMENSIONALI DELLA PARATOIA ALLESTITA
- MV082P-PE-NAD-2005 TOLLERANZE DI COSTRUZIONE
- MV082P-PE-NAD-2007 ASSIEME STRUTTURALE
- MV082P-PE-NAD-2013 STRUTTURA PRINCIPALE - FASCIAME FRONTALE E POSTERIORE
- MV082P-PE-NAD-2042 STRUTTURA PRINCIPALE - SEZIONE ORIZZONTALE ORDINARIA
- MV082P-PE-NAD-2060 STRUTTURA PRINCIPALE - FORATURE PER ELEMENTI DI GOMMA SU SPIGOLI LATO MARE E LAGUNA
- MV082P-PE-NAD-2070 STRUTTURA PRINCIPALE - DETTAGLI INTERFACCIA CERNIERE TAV. 1
- MV082P-PE-NAD-2071 STRUTTURA PRINCIPALE - DETTAGLI INTERFACCIA CERNIERE TAV. 2
- MV082P-PE-NAD-2200 PIANO GENERALE TAV. 1
- MV082P-PE-NAD-2201 PIANO GENERALE TAV. 2
- MV082P-PE-NAD-2240 ALLESTIMENTO - LINEE ARIA COMPRESSA E SFOGO ARIA - PIANO DI COORDINAMENTO
- MV082P-PE-NAD-2250 ALLESTIMENTO - LINEE ARIA COMPRESSA E SFOGO ARIA - DETTAGLI TUBAZIONI
- MV082P-PE-NAD-2279 ALLESTIMENTO - ELEMENTI DI GOMMA SU SPIGOLI LATO MARE E LAGUNA
- MV082P-PE-NAD-2280 ALLESTIMENTO - PROTEZIONE CATODICA - ANODI ESTERNI
- MV082P-PE-NAD-2300 ALLESTIMENTO - PITTURAZIONE E MARCATURA - PIANO GENERALE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 9
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

2. RIFERIMENTI

2.1. Elaborati del Progetto Esecutivo WBE03

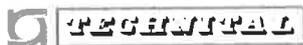
L'elenco completo dei documenti dei documenti di progetto con la revisione valida è riportato, ed è tenuto aggiornato, nel documento

- MV082P-PE-NZL-2001 Bocca di Lido San Nicolò - Paratoie e Connettori – Paratoie - Elenco elaborati

2.2. Elaborati del Progetto Esecutivo in altre WBE

Nella presente nota si richiamano inoltre:

- MV082P-PE-NMR-3005-C0 Bocca di Lido S. Nicolò - Paratoie e Connettori – Connettori – Elemento femmina - Carichi di progetto (WBE: LN.II.48.PE.06)
- MV089P-PE-TMR-3051-C0 Bocca di Lido Treporti - Paratoie e Connettori – Connettori – Elemento femmina - Nota di chiarimento per la relazione “Carichi di progetto (WBE: LT.II.48.PE.03)

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 10
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

3. CHIARIMENTI SU CRITERI DI CALCOLO E CARICHI

3.1. Criteri di calcolo e modellazione

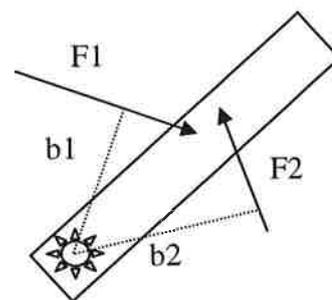
Per la scelta dei criteri di calcolo, e quindi delle normative di riferimento, occorre considerare che un elemento come le paratoie non ricade in nessuna delle normative vigenti, per la coesistenza di una tipologia, di condizioni di esercizio e di carichi da considerare che non sono ascrivibili a nessuna struttura di uso comune e regolamentato.

Si tratta infatti di una costruzione di tipo navale (fasciami con irrigidimenti longitudinali e trasversali), ma non di uno scafo soggetto ai carichi derivanti dalla navigazione e dal galleggiamento.

La paratoia non è una struttura di tipo civile o industriale che possa ricadere nelle NT 2008, sia per tipo di struttura sia per modalità e tipo di carico.

Il tipo di carichi, in particolare le pressioni dell'aria e dell'acqua, e le derivanti condizioni di equilibrio non corrispondono infatti a condizioni statiche di equilibrio stabile, cui possano applicarsi fattori di amplificazione, in particolare se i fattori di amplificazione sono diversificati per i carichi di una stessa condizione, in quanto comporterebbero la perdita dell'equilibrio nella configurazione esaminata o il raggiungimento dell'equilibrio in una situazione non più corrispondente alla condizione che si intende verificare.

Infatti, nelle condizioni di esercizio la paratoia si presenta come una struttura labile: un corpo vincolato attraverso i due connettori, che determinano un asse di rotazione trasversale, e soggetto ad un sistema di carichi equilibrati in modo che il momento attorno all'asse di rotazione sia nullo. $M = F_1 b_1 + F_2 b_2 + \dots = \sum F_i b_i = 0$



Data una condizione di marea e dislivello d'onda, si calcolano la pressione dell'aria e il livello dell'acqua all'interno della paratoia che garantiscono tale equilibrio, tenuto conto del peso della paratoia e della sua geometria. I carichi risultanti dall'equilibrio sono applicati alla paratoia per la verifica delle sollecitazioni.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 11
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Fin dall'epoca del Progetto di Massima e Definitivo, sono stati individuati criteri che permettessero di tener conto di queste peculiarità, attingendo dove possibile da riferimenti normativi applicabili, seppure parzialmente, ma consolidati.

A motivo dell'esigenza di considerare condizioni di equilibrio prefissate e non stabili, si è ritenuto più realistico fare riferimento ai criteri basati sulle tensioni ammissibili, che non comportano modifiche disomogenee dell'entità dei carichi. Tale possibilità può trovare riscontro nel D.M. 2008, laddove (paragrafo 2.7) tale criterio è ammesso per costruzioni di tipo 1 e 2, classe d'uso I (presenza occasionale di persone) e II, siti ricadenti in zona 4.

Nel caso in esame, infatti:

- il tipo 2, comprende dighe di importanza normale e l'entità del dislivello imposto alla barriera può far ritenere la paratoia assimilabile a questa tipologia, che prevede vita utile maggiore o uguale a 50 anni;
- la classe I è adeguata (e si noti che la presenza di persone all'interno è possibile solo in caso di manutenzione, con la paratoia a terra soggetta al solo peso proprio);
- Venezia ricade nella zona sismica 4.

Il D.M. 2008 prescrive poi che si debbano applicare per materiali e azioni le prescrizioni dello stesso.

Per i **materiali** delle paratoia si sono quindi adottate le identificazioni degli Eurocodici, mentre per le **azioni** specifiche e dimensionanti, la norma non fornisce elementi e le azioni sono state pertanto definite sulla base dei fenomeni in gioco e delle azioni derivanti su base fisica.

Inoltre, per tener conto delle indicazioni delle NT 2008 (capitolo 11.3.4) e degli Eurocodici (UNI EN 10025-2, prospetto 7), le caratteristiche di resistenza dei materiali sono state ridotte in funzione dello spessore, come descritto al paragrafo 5.3, in quanto tale riduzione non è prevista dalle Norme R.I.Na.

Si è ritenuto necessario sviluppare l'analisi con **modelli** di calcolo agli elementi finiti, che consentissero una accurata descrizione dei singoli elementi costituenti la paratoia.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 12
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Per modellare e verificare gli elementi si è fatto riferimento ad una Guida del R.I.Na. applicabile al caso in esame per tipo di struttura (per la quale dà i livelli e i criteri di schematizzazione nel modello) e per criterio di analisi (tensioni ammissibili): “Guida relativa ai criteri per la verifica mediante calcolo diretto della robustezza strutturale dello scafo delle navi”, pubblicata nel 1992. Tale Guida e non è attualmente in vigore, in quanto R.I.Na. ha adottato nel Regolamento il criterio di verifica agli stati limite ultimi, ma è comunque un riferimento normativo che ha avuto applicazione per la tipologia e per i criteri di nostro interesse e che non è stato sostituito da altre normative vigenti ad esso equivalenti.

Nel progetto delle paratoie, il Regolamento R.I.Na. è mantenuto come riferimento per la definizione del coefficiente K del materiale e degli spessori di corrosione e per la schematizzazione dei bulbi, che però è stata affinata per una più accurata rappresentazione degli elementi nel modello. Per questi aspetti il Regolamento non è cambiato negli ultimi anni e si intende riferito quello in vigore al momento del progetto (2010).

3.2. Normative

Le **normative** di riferimento generali per la progettazione sono quindi:

per la scelta dei criteri di verifica, la definizione dei materiali e la schematizzazione base dei ferri a bulbo

- NTC 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” Decreto Ministero Infrastrutture del 14/01/2008

per i criteri di modellazione e di verifica

- R.I.Na. "Guida relativa ai criteri per la verifica mediante calcolo diretto della robustezza strutturale dello scafo delle navi", 1992

per la definizione delle tensioni ammissibili e dei sovra-spessori di corrosione e, parzialmente, per la schematizzazione dei bulbi:

- R.I.Na. "Regolamento per la classificazione delle navi", 2010 (invariata al 2012 per le parti di interesse)

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 13
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

per la definizione delle tensioni ammissibili in funzione dello spessore delle lamiere:

- UNI EN 10025-2:2005 “Prodotti laminati a caldo di acciai per im-piegghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura”

Nelle relazioni sono inoltre riportate altre due norme specifiche per il calcolo riportato nelle relazioni:

per l’analisi della instabilità elastica, nel documento MV082P-PE-NAR-2008:

- DNV “Rules for Ships” Pt. 3, Ch 1, Sec 13 “Buckling control”, citata e utilizzata solo per la verifica dei pannelli forati, che non sono trattati dal RINA;

per il calcolo degli anodi, nel documento MV082P-PE-NAR-2010:

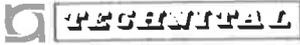
- DNV RP B401 “Cathodic Protection Design”, che è la normativa abitualmente utilizzata in campo offshore e di riferimento per l’intero progetto.

Per quanto riguarda le **specifiche** di materiali, componenti e saldature, con riferimento alle loro caratteristiche, alla esecuzione e costruzione, ai controlli, ai criteri e livelli di accettabilità, si è provveduto nella specifica MV089P-PE-TAS-2001 a indicare requisiti e controlli puntuali appropriati al caso. In relazione alla scelta di identificare i materiali secondo le norme UNI, anche per le relative specifiche si fa principalmente riferimento alle norme UNI, mentre il Regolamento R.I.N.a è mantenuto come riferimento solo per le prove di pressatura: si veda il capitolo 5 della specifica, dove si riportano i riferimenti puntuali del regolamento, integrati con indicazioni specifiche.

3.3. Carichi sulla paratoia e carichi sui connettori

Paratoie e connettori pur interfacciandosi sono due oggetti sostanzialmente diversi: le prime sono strutture, mentre i secondi sono organi meccanici. Inoltre mentre i connettori devono essere gli stessi (e intercambiabili) per tutte le paratoie, le paratoie operano in condizioni specifiche differenziate.

Una ulteriore importante differenza è che le paratoie possono essere smontate, ispezionate, mantenute e riparate con relativa facilità, mentre i connettori sono in

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 14
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

parte (componenti femmine) inamovibili e richiedono operazioni più complesse per assicurare la loro conservazione e durabilità.

Ne deriva in primo luogo una esigenza di maggiori margini di sicurezza per i connettori: la valutazione dei loro carichi di progetto è stata formulata considerando l'inviluppo delle condizioni più severe.

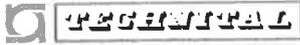
I carichi di progetto significativi per i connettori, infatti, sono quelli che si manifestano durante l'esercizio della barriera e sono stati valutati sommando contributi distinti con il loro massimo/minimo valore, come illustrato in

- MV082P-PE-NMR-3005-C0 Bocca di Lido S. Nicolò - Paratoie e Connettori – Connettori – Elemento femmina - Carichi di progetto (WBE: LN.II.48.PE.06)
- MV089P-PE-TMR-3051-C0 Bocca di Lido Treporti - Paratoie e Connettori – Connettori – Elemento femmina - Nota di chiarimento per la relazione “Carichi di progetto (WBE: LT.II.48.PE.03)

In particolare, mentre per i carichi dovuti al dislivello di marea, eustatismo e onda lunga si possono stabilire condizioni di equilibrio e si ha una corrispondenza con le reazioni della paratoia, per i carichi derivanti dall'onda corta si è fatto riferimento a dati sperimentali, in quanto nessun modello numerico tra quelli sviluppati nel corso dei numerosi Studi propedeutici ha dato risultati soddisfacenti. Tali dati sperimentali, che non registrano la concomitanza delle reazioni rilevate né la correlano alle posizioni angolari delle paratoie, vengono sommati alle reazioni calcolate (dovute a dislivelli di marea, eustatismo e onda lunga) con i loro valori corrispondenti alla probabilità di superamento dell'1%, in tutte le combinazioni.

Ne consegue che non è possibile ricondurre le condizioni di carico assunte per i connettori a situazioni di carico che corrispondano alle condizioni fisiche reali cui sono soggette le paratoie.

Dunque per le paratoie è possibile una maggior differenziazione, tenendo conto delle condizioni specifiche di ogni barriera e del loro funzionamento, ed è necessario individuare, per le condizioni di esercizio in barriera condizioni equilibrate che ne consentano la verifica, affidando ad analisi integrative la valutazione dei possibili effetti dinamici. Ciò è stato possibile per le condizioni di affondamento,

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 15
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

mentre gli approfondimenti attraverso gli Studi propedeutici citati (ref. MV082P-PE-NAR-2000) non forniscono soluzioni per la stima degli effetti idrodinamici dovuti alle azioni di breve periodo, che agiscono sulla paratoia principalmente modificandone l'assetto e trasmettendo l'energia sviluppata dalle onde corte.

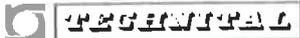
Per il dimensionamento delle paratoie, si è considerato che l'azione delle onde corte è applicata al fasciame esterno della paratoia, dove prevale la pressione dell'aria all'interno, ed era quindi conservativo non tenerne conto, in quanto può diminuire, ma non aumentare le sollecitazioni sul corpo della paratoia.

L'azione delle onde corte aumenta tuttavia le sollecitazioni nelle pinne, che sono anche l'effettivo elemento di interfaccia con i connettori. All'epoca del progetto approvato, non era ancora stato completato il progetto dei connettori, né erano stati scelti i componenti dello snodo e il sistema di alloggiamento nella paratoia. Il progetto presenta pertanto una verifica globale della sola pinna sulla base dei carichi assunti per il dimensionamento dei connettori (ref. MV082P-PE-NAR-2001).

Successivamente, dopo il completamento della sperimentazione sui connettori e sui loro componenti e la scelta del sistema di alloggiamento e dei relativi componenti, la verifica del sistema di alloggiamento per i carichi di progetto del connettore è stata effettuata considerando le condizioni più gravose per il connettore, relative ai carichi della paratoia di Malamocco.

Tale verifica è svolta considerando il sistema installato nella pinna, attraverso l'utilizzo di due modelli: il primo focalizzato sul sistema e il secondo volto a restituire le condizioni al contorno per il primo. Il secondo modello ha permesso anche di verificare la pinna, quale elemento della paratoia per il quale i carichi di progetto del connettore risultano sfavorevoli.

Si presentano nei documenti integrativi di questo progetto le verifiche svolte per i massimi carichi dei connettori sulla paratoia di Malamocco, in quanto conservativamente valide anche alla paratoia di San Nicolò, dove le dimensioni della pinna sono le stesse, mentre i carichi sono inferiori.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 16
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

3.4. Derivazione della forza trasversale per paratoie e connettori in esercizio

3.4.1. Premessa

Il presente capitolo costituisce una nota integrativa alle relazioni relative ai carichi di progetto sulla paratoia e sui connettori (ref. 2.2) a seguito delle richieste di chiarimento, avanzate dai collaudatori statici delle paratoie di Treporti, riguardo ai valori assunti per le forze trasversali (ovvero nella direzione di sviluppo della serie di paratoie che compongono lo sbarramento mobile) trasmesse dalla paratoia al connettore.

In tali relazioni viene descritta nel dettaglio la metodologia utilizzata per la stima delle azioni verticali e orizzontali in condizioni di esercizio dovute al moto ondoso e al dislivello di marea, e viene indicato in 1000 kN il valore dell'azione trasversale considerato per le combinazioni di carico agli SLU. Per le combinazioni agli SLS tale carico è stato ridotto di un fattore 1.5 e quindi assunto pari a 700 kN.

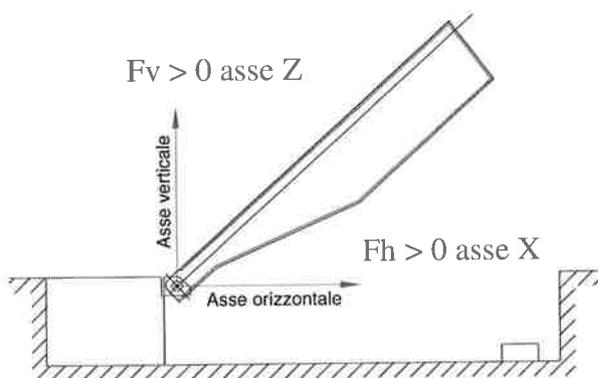
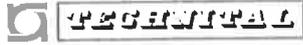


FIG. 3.1 - SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONI ADOTTATE NELLA RAPPRESENTAZIONE DELLE AZIONI APPLICATE AL CONNETTORE

Le azioni sui connettori sono state valutate tenendo conto dei diversi contributi che concorrono a definire l'evento meteo marino di progetto: marea, eustatismo, onda di lungo periodo e onda di breve periodo. I primi tre contributi, conseguenti alla variazione lenta del livello del mare e che determinano un dislivello tra mare e laguna, sono stati valutati tramite modelli matematici bidimensionali, noti i li-

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 17
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

velli a mare ed in laguna ed i volumi d'aria all'interno della paratoia necessari per garantire l'equilibrio nella posizione di esercizio.

La componente relativa all'onda di breve periodo è stata invece stimata sulla base dei risultati degli studi effettuati su modello fisico finalizzati alla risposta dinamica delle paratoie con particolare riguardo alla misura delle azioni alle cerniere delle paratoie in condizioni di moto ondoso incidente di breve periodo. (Per maggiori dettagli sugli studi si rimanda alla relazione MV089P-PE-TMR-3051-C0 - Bocca di Lido Treporti - Paratoie e Connettori - Connettori - Elemento femmina - Nota di chiarimento per la relazione "Carichi di progetto").

Ad esclusione del primo modello, realizzato nel 1988 in scala 1:60, tutti gli altri sono stati realizzati in scala 1:30, per garantire l'accuratezza della misura. Per contro, a causa della scala di riduzione adottata, nei modelli non è stato possibile riprodurre l'intera bocca ma una porzione dei canali di bocca a fondale costante in prossimità delle barriere. I modelli sono dunque dei modelli bidimensionali e forniscono la misura delle azioni verticali e orizzontali, ma non di quelle trasversali.

Nella realtà le onde che incidono la barriera non sono perfettamente cilindriche, ma, a causa degli effetti tridimensionali, i fronti d'onda presentano altezza diverse lungo la barriera e generano delle forze trasversali sulle paratoie dovute a queste differenze.

Per definire l'azione trasversale agente sulle paratoie, si sono utilizzati i risultati dei modelli fisici tridimensionali di propagazione del moto ondoso all'interno delle bocche che riproducono la reale configurazione dei canali di bocca e dei fondali antistanti. Data l'elevata estensione dell'area da riprodurre tali modelli sono stati costruiti utilizzando delle scale di riduzione geometrica variabili tra 1:60 e 1:80, quindi non idonee alla misura delle azioni sulle cerniere.

In questi modelli, per definire il valore delle altezze d'onda incidenti le paratoie, in corrispondenza di eventi caratterizzati da diversi periodi di ritorno al largo, sono stati installati diversi sensori di livello davanti alla schiera di paratoie.

Sulla base delle misure di tali strumenti è stato possibile ricostruire istante per istante il dislivello presente alle 2 estremità di alcune paratoie. Noto il dislivello, l'azione trasversale istantanea è stata calcolata ipotizzando una distribuzione idrostatica delle pressioni sui due fianchi delle paratoie. E' stato così possibile dedurre

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 18
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

le serie temporali delle forze trasversali agenti sulle paratoie e ricostruire le relative curve di eccedenza.

Il valore dell'azione trasversale di progetto è stato definito sulla base dei risultati dei modelli fisici delle bocche di Malamocco e Chioggia che sono quelle che presentano i maggiori valori di altezza d'onda in barriera.

3.4.2. Azioni di progetto

3.4.2.1 *Barriera di Chioggia*

Si sono utilizzati i risultati delle prove sul modello fisico dell'intera bocca realizzato presso il Centro Sperimentale di Voltabarozzo in scala 1:60 in diverse configurazioni (studi B.5.7/III e B.6.53).

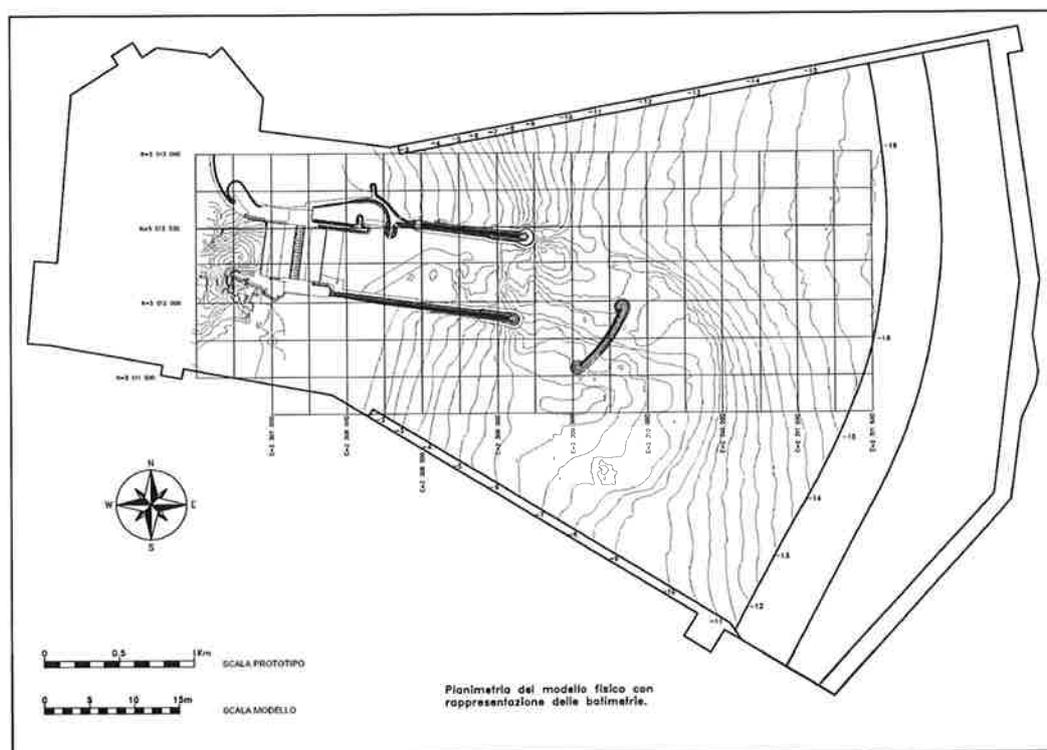


FIG. 3.2 - PLANIMETRIA DEL MODELLO FISICO IN SCALA 1:60 DELLA BOCCA DI CHIOGGIA: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BATIMETRIE RIPRODOTTE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 19
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Il modello fisico riproduce una superficie molto vasta e pari a 3700m^2 (corrispondenti a 13.32 km^2 prototipo), di cui il 65% è rappresentata dall'area di mare anti-stante la bocca, l'8% dall'area del canale di bocca e dai moli, il restante 27% dall'area della laguna e dei litorali).

Il rilievo delle caratteristiche del moto ondoso è stato effettuato in 30 punti del modello, la seguente figura mostra l'ubicazione delle sonde in prossimità della barriera (cerchiate in blu) e il numero delle paratoie ubicate di fronte agli strumenti di misura (evidenziate in rosso).

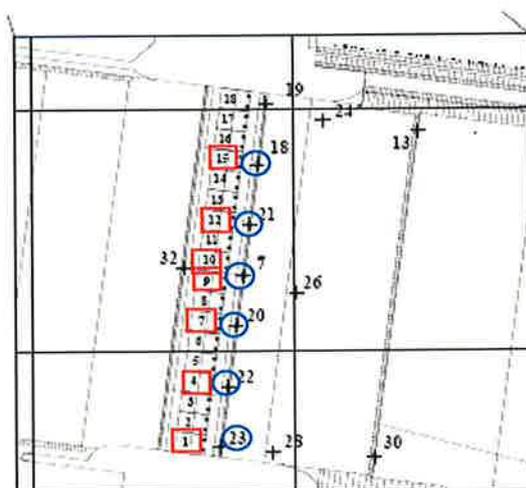


FIG. 3.3 - UBICAZIONE DELLE SONDE DI MOTO ONDOSO (IN BLU) NEL MODELLO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI CHIOGGIA E NUMERAZIONE DELLE PARATOIE (IN ROSSO)

Le prove su modello fisico sono state eseguite considerando 3 direzioni di incidenza del moto ondoso all'esterno della bocca: 80° , 95° e 125°N in accordo con il clima del moto ondoso ivi presente.

Per stimare il valore dell'azione trasversale in corrispondenza di condizioni estreme si sono analizzati i risultati della prova E101_52_20s80D3p3, caratterizzata dai seguenti valori dell'onda al largo:

$H_s=5.2\text{m}$, $T_p=10.1\text{s}$, settore di bora ($T_r=100$ anni solo onde)

livello di marea= $+2.60\text{ m slmm}$ ($T_r=1000$ anni + eustatismo, solo livelli)

Se si considera la statistica combinata onde-livelli, l'evento esaminato ha un periodo di ritorno maggiore di 1000 anni.

Le seguenti figure riportano le curve di superamento dei dislivelli istantanei all'estremità delle paratoie esaminate.

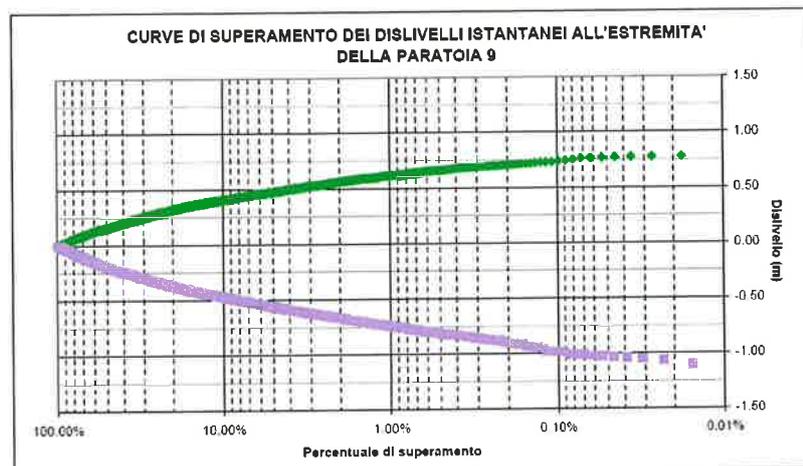
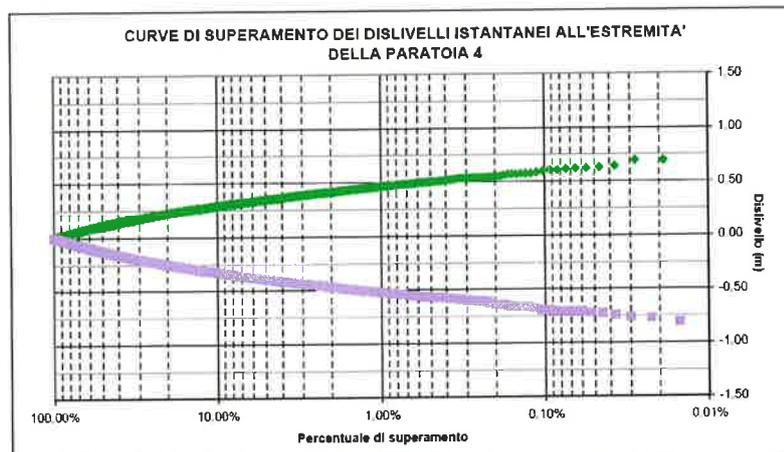
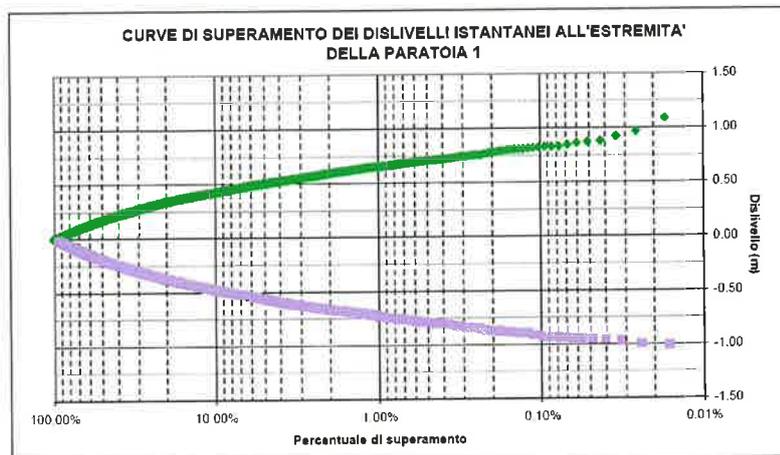


FIG. 3.4 - CURVE DI SUPERAMENTO DEI DISLIVELLI Istantanei ALL'ESTREMITA' DELLA PARATOIE DI CHIOGGIA N° 1, 4 E 9

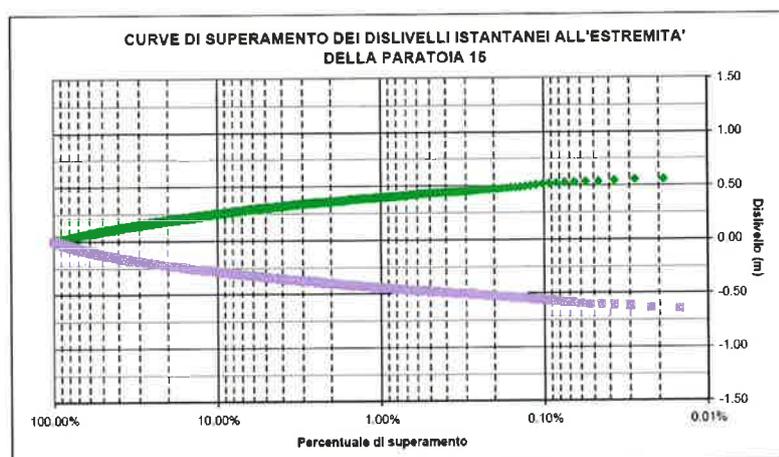
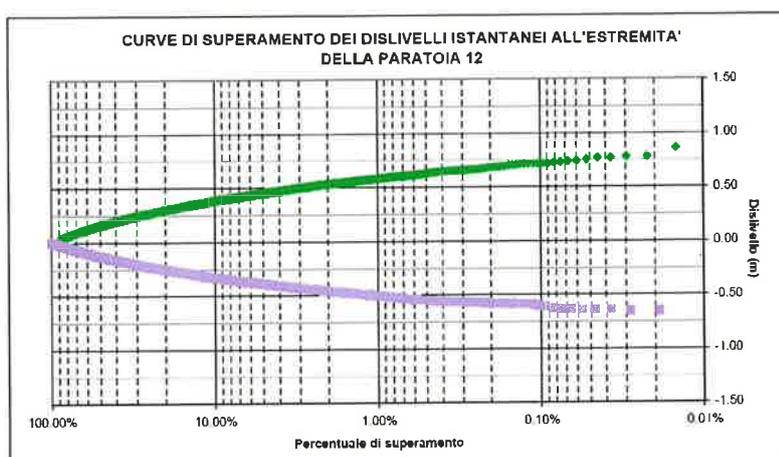
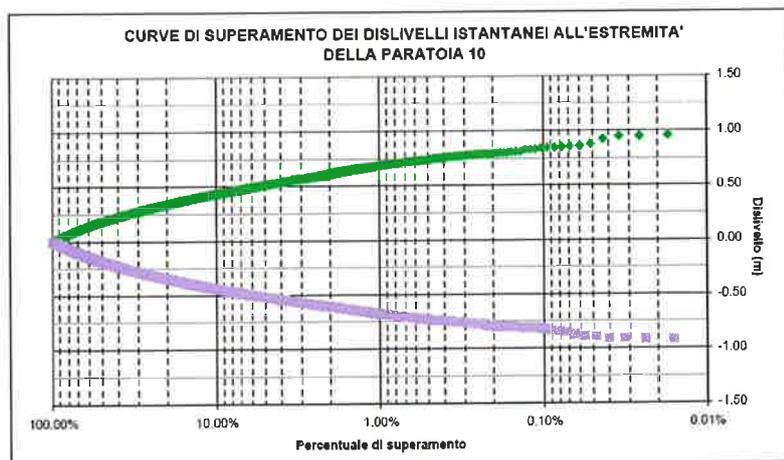
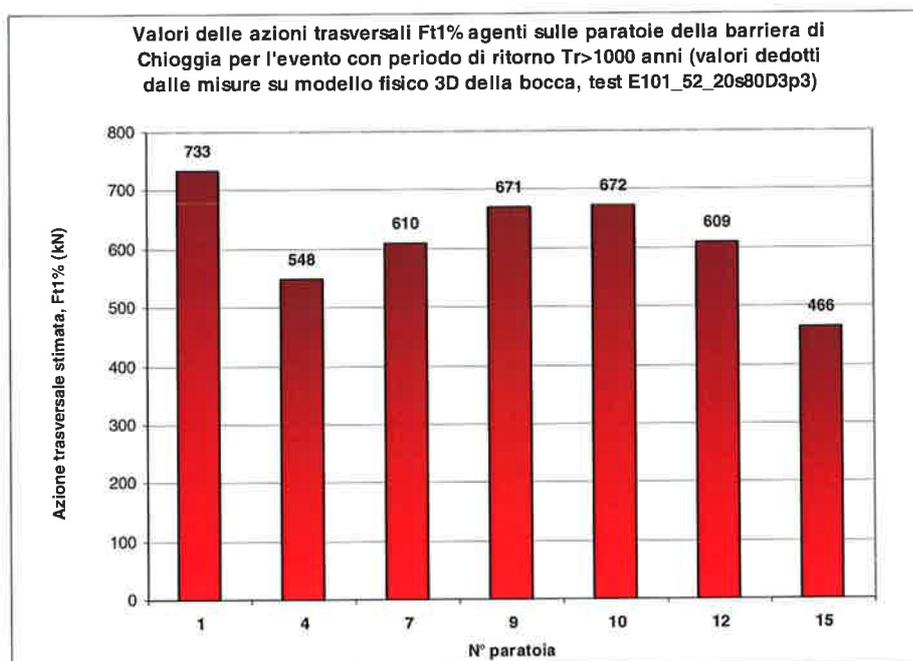


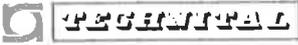
FIG. 3.5 - CURVE DI SUPERAMENTO DEI DISLIVELLI ISTATANEI ALL'ESTREMITA' DELLA PARATOIE DI CHIOGGIA N° 10, 12 E 15

Noto il dislivello tra le 2 estremità di ogni paratoia, l'azione trasversale istantanea è stata calcolata ipotizzando una distribuzione idrostatica delle pressioni sui due fianchi delle paratoie. La superficie laterale immersa della paratoia è stata valutata, sulla base dei dati sperimentali, in funzione del livello misurato davanti alla paratoia e della posizione angolare istantanea. La seguente figura riporta il valore caratteristico dell'azione trasversale F_t , assunto pari al valore con frequenza di superamento pari all'1%. Si osserva che tale valore non supera i 700 kN, ad esclusione della paratoia n°1 per la quale risulta pari a 733 kN.



Paratoia	$F_{t 1\%}$	$F_{t \max}$	$F_{t \max}/F_{t 1\%}$
1	733	1094	1.49
4	548	843	1.54
7	610	933	1.53
9	671	1023	1.52
10	672	1040	1.55
12	609	860	1.41
15	466	697	1.50

FIG. 3.6 - AZIONI TRASVERSALI SULLE PARATOIE DELLA BARRIERA DI CHIOGGIA IN CORRISPONDENZA DI UN EVENTO ESTREMO ($T_r > 1000$ ANNI)

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 23
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Il valore considerato di 700 kN della forza trasversale con probabilità di superamento dell'1% corrisponde ad un battente idrostatico squilibrato tra le due fiancate di una paratoia di circa 0,72 m, che trova riscontro nei grafici delle curve di superamento dei dislivelli istantanei riportati nelle precedenti figure, con particolare riferimento ai dislivelli positivi (per dislivelli negativi l'area della fiancata esposta è inferiore ed è quindi inferiore anche la forza trasversale).

	riposo (deg)	rad	deg	rad
alfa	0	0,000000	42,5	0,741765
punto	x	zf	$x' = x \cos t - z \sin t$	$z' = x \sin t + z \cos t$
O	0,00	0,00	-	-
B	0,00	0,80	- 0,54	0,59
A	-0,65	0,80	- 1,02	0,15
B	0,00	0,80	- 0,54	0,59
C	2,50	0,80	1,30	2,28
D	8,05	0,80	5,39	6,03
E	25,60	0,80	18,33	17,88
F	26,65	0,80	19,11	18,59
G	25,60	-4,20	21,71	14,20
J	8,05	-4,20	12,80	6,03
H	8,05	-4,20	8,77	2,34
K	2,50	-0,75	2,35	1,14
C	2,50	0,80	1,30	2,28
zo				14,45
zw				15,20
L			21,71	14,20
M			14,31	14,20
N			14,59	14,45
P			21,56	14,45
L'			21,71	14,20
M'			14,31	14,20
N'			15,40	15,20
P'			21,12	15,20

TAB. 3.1 - PARATOIA DI CHIOGGIA - GEOMETRIA

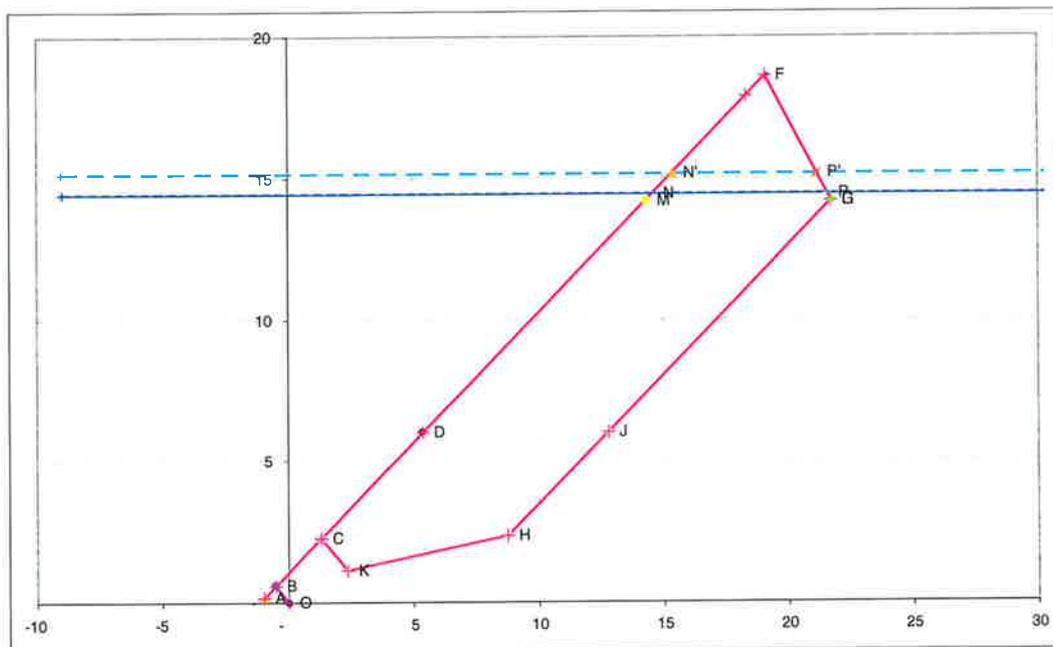


FIG. 3.7 - PARATOIA DI CHIOGGIA IN POSIZIONE DI LAVORO CON MASSIMO DISLIVELLO MAREA + EUSTATISMO (LINEA BLU) E DISLIVELLO IDROSTATICO 0,72 M TRA LE FIANCATE (LINEA TURCHESE TRATTEGGIATA)

elev fondale	d1	m	rispetto cerniera	11,80
elev marea+eust	d2	m	rispetto lmm	2,65
dislivello fianchi	dD	m		0,72
z mare	zo	m/s ²	d1+d2	14,45
z mare+dislivello fianchi	zw	m	zo + dD	15,17
altezza paratoia	DH	m		5,00
inclinazione paratoia	alfa	deg		42,5
elev intradosso paratoia	zG	m		14,20
elev estradosso paratoia	zF	m		18,59
AREA FIANCO IMMERSA				
area sotto zo	Ac	m ²		94,09
area tra zw e zo	Ab	m ²		4,59
area immersa totale	A	m ²	Ab + Ac	96,68
area fianco	At	m ²		108,55
% area immersa	%At	m ²		90,9%
battente	b	kN/m ²	$\gamma dD = 10,10 * dD$	7,27
Ftrasversale	Ft	kN	b*Ab/2 + b*Ac	701

TAB. 3.2 - PARATOIA DI CHIOGGIA – CALCOLO DELLA FORZA TRASVERSALE PER DISLIVELLO IDROSTATICO 0,72 M TRA LE FIANCATE ALL'ANGOLO DI LAVORO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 25
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

CALCOLO DELL' AREA IMMERSA		zo (linea blu)		14,45
		zw (linea turchese)		15,20
area immersa fianco		alfa		42,5
	x (m)	z (m)	lunghe (m)	area (m ²)
Area CDHK				18,18
D	5,39	6,03		
J	12,80	6,03		
H	8,77	2,34		
DH			5,00	
HJ			5,46	
Area DHJ				13,64
DJ			7,40	
se zo < zG				zL=zo
se zo > zG				zL=zG
L	21,71	14,20		
M	14,31	14,20		
zL-zJ				8,17
Area DJLM				60,47
se zo > zG				
se zo < zF, zN=zo				
se zo > zF, zN=zF				
N	14,59	14,45		
P	21,56	14,45		
MG=DJ				7,40
NP				6,98
zN-zM				0,25
Area MGPN				1,81
area a battente costante				94,09
se zw < zG				zL'=zw
se zw > zG				zL'=zG
L'	21,71	14,20		
M'	14,31	14,20		
zL'-zL				-
Area MLL'M'				-
se zw > zG				
se zw < zF, zN=Zw				
se zw > zF, zN=zF				
N'	15,37	15,17		
P'	21,14	15,17		
NP				6,98
N'P'				5,77
zN'-zN				0,72
Area M'GP'N'				4,59
area a battente variabile				4,59
AREA IMMERSA TOTALE				98,68

TAB. 3.3 - PARATOIA DI CHIOGGIA – CALCOLO DELLA SUPERFICIE DELLA FIANCATA SOGGETTA A BATTENTE IDROSTATICO 0,72 M ALL' ANGOLO DI LAVORO

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 26
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

3.4.2.2 Barriera di Malamocco

Si sono utilizzati i risultati delle prove sul modello fisico dell'intera bocca realizzato presso il Centro Sperimentale di Voltabarozzo in scala 1:80 nell'ambito dello studio B.6.54.

Il modello fisico riproduce una superficie molto vasta e pari a 3918m^2 (25.08 k m^2 prototipo) di cui l'80% è rappresentata dall'area di mare antistante la bocca, il 7% dall'area del canale di accesso alla conca di navigazione e della diga esterna, il restante 13% dall'area della laguna e dei litorali. Le dimensioni del modello sono tali da comprendere, sul lato mare, tutta l'estensione del canale di navigazione e permettono di riprodurre onde provenienti sia dal settore di bora-levante che da quello di scirocco.

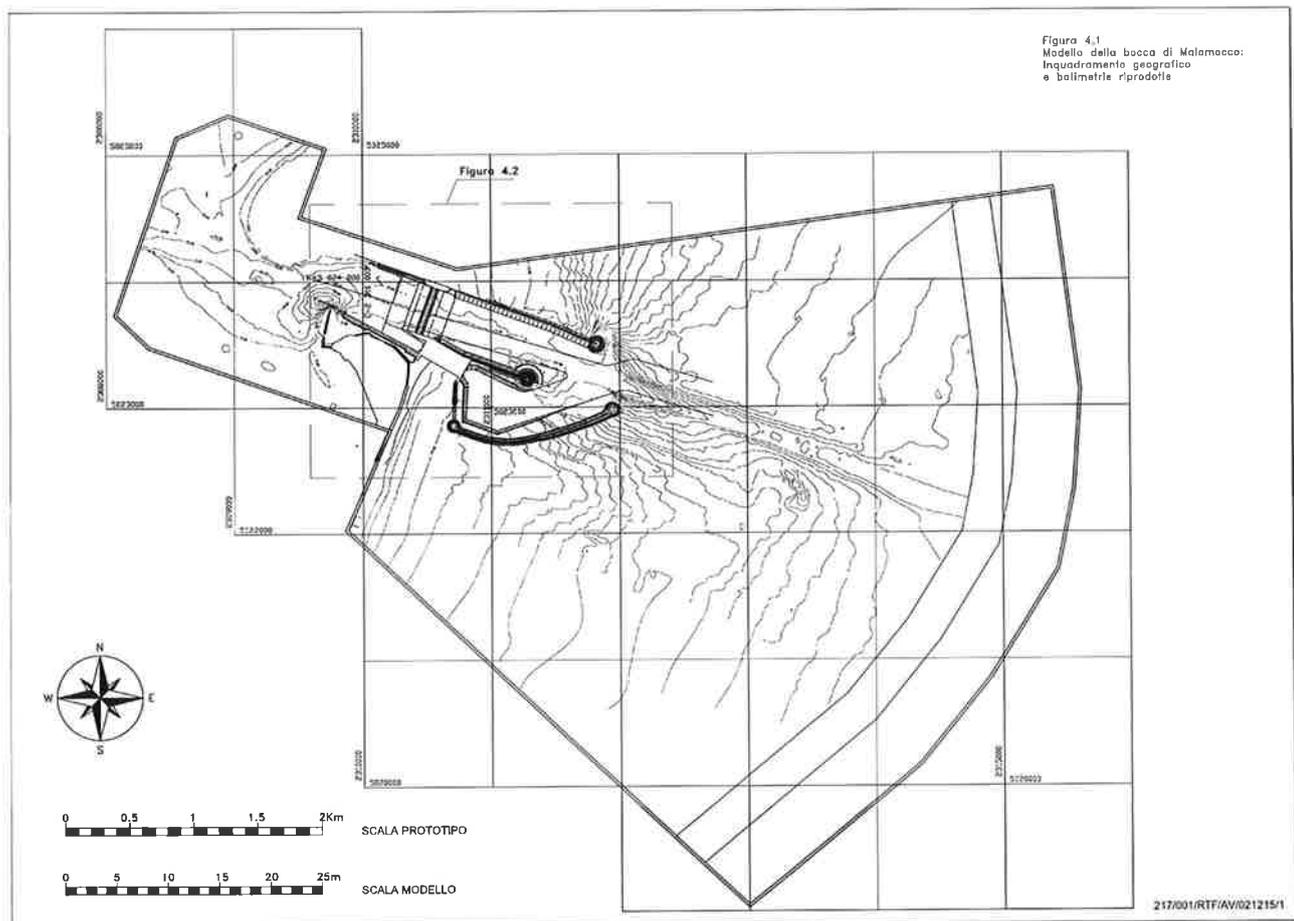


FIG. 3.8 - PLANIMETRIA DEL MODELLO FISICO IN SCALA 1:80 DELLA BOCCA DI MALAMOTTO: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BATIMETRIE RIPRODOTTE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 27
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Il rilievo delle caratteristiche del moto ondoso è stato effettuato in 30 punti del modello, la seguente figura mostra l'ubicazione delle sonde in prossimità della barriera (cerchiate in blu) e il numero delle paratoie ubicate di fronte agli strumenti di misura (evidenziati in rosse).

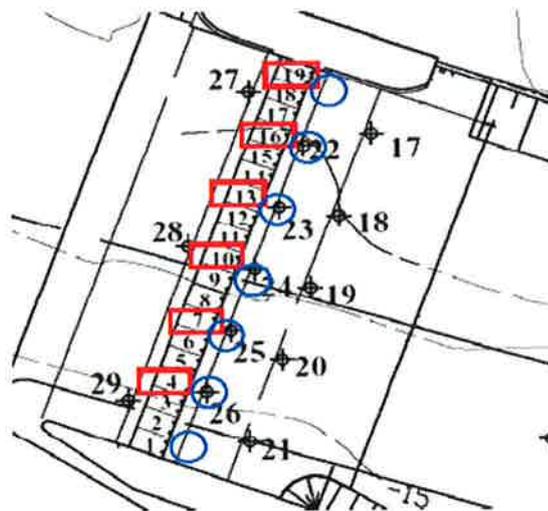


FIG. 3.9 - UBICAZIONE DELLE SONDE DI MOTO ONDOSO (IN BLU) NEL MODELLO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI MALAMOCCO E NUMERAZIONE DELLE PARATOIE (IN ROSSO)

Le prove su modello fisico sono state eseguite considerando 3 direzioni di incidenza del moto ondoso all'esterno della bocca: 80°, 90° e 125°N in accordo con il clima del moto ondoso ivi presente.

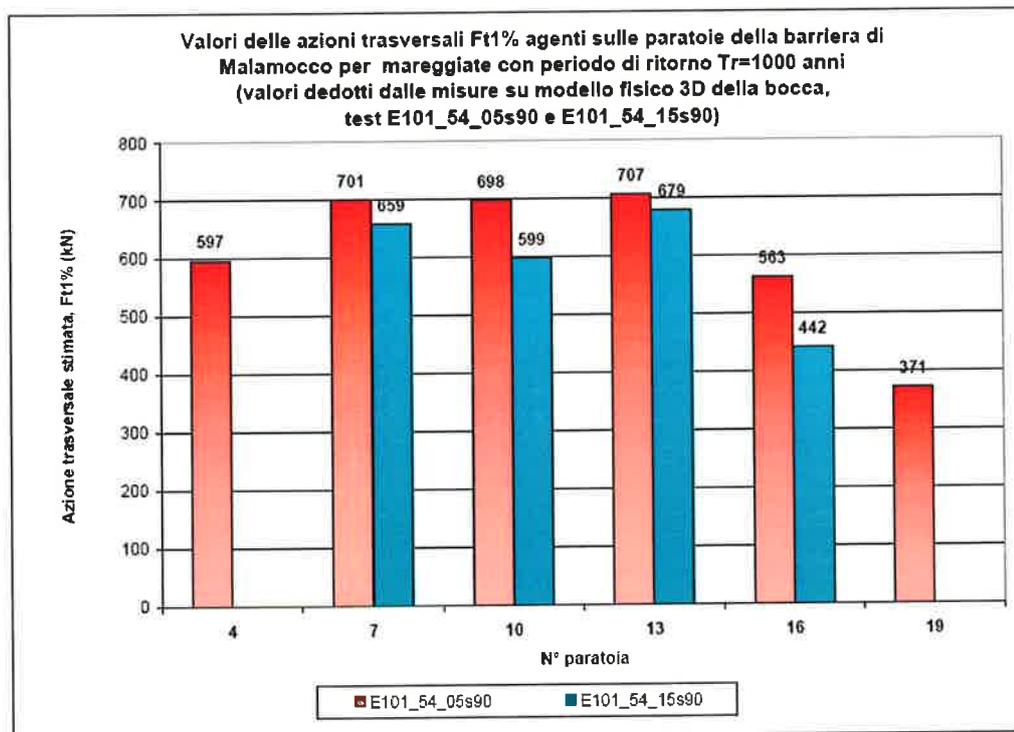
Per stimare il valore dell'azione trasversale in corrispondenza di condizioni estreme si sono analizzati i risultati delle prove E101_54_05s90 ed E101_54_05s90, caratterizzate dai seguenti valori dell'onda al largo della bocca:

$H_s=5.4\text{m}$, $T_p=10.1\text{s}$, settore di bora

livello di marea=+1.1 m slmm e +2.1m slmm .

Le condizioni di prova sono prossime a quelle con periodo di ritorno di 1000 anni con e senza eustatismo.

La seguente figura riporta il valore caratteristico dell'azione trasversale F_t , assunto pari al valore con frequenza di superamento pari all'1%. Si osserva che tale sono compresi tra i 600 e i 700 kN



Paratoia	E101_54_05s90			E101_54_15s90		
	$F_{t\ 1\%}$	$F_{t\ max}$	$F_{t\ max}/F_{t\ 1\%}$	$F_{t\ 1\%}$	$F_{t\ max}$	$F_{t\ max}/F_{t\ 1\%}$
4	597	819	1.37			
7	701	1095	1.56	659	951	1.44
10	698	1002	1.44	599	914	1.53
13	707	1017	1.44	679	1050	1.55
16	563	856	1.52	442	616	1.39
19	371	560	1.51			

FIG. 3.10 - AZIONI TRASVERSALI SULLE PARATOIE DELLA BARRIERA DI MALAMOC-
CO IN CORRISPONDENZA DI UN EVENTO ESTREMO ($T_r=1000$ ANNI)

Con procedimento analogo a quello riportato per la paratoia di Chioggia, il valore di 707 kN della forza trasversale con probabilità di superamento dell'1% corrisponde ancora ad un battente idrostatico squilibrato tra le due fiancate di una paratoia di circa 0,7 m.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 29
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

3.4.2.3 Barriera di Treporti

Per la barriera di Treporti i dati sperimentali sui dislivelli istantanei sono stati registrati a interassi superiori e sono quindi meno affidabili.

I dislivelli sono proporzionali alle altezze delle onde incidenti, che a Treporti, sono di altezza inferiore rispetto alle altre bocche. Ammettendo a favore di sicurezza un dislivello tra le fiancate di 0,70 m, pari circa a quello valutato per la barriera di Chioggia e Malamocco, si stima una forza trasversale di 339 kN, mentre 700 kN corrisponderebbero ad un dislivello di circa 1,40 m.

Nel seguito si riporta il calcolo della forza trasversale per il dislivello di 0,70 m.

alfa	0	0,000000	40,0	0,698132
punto	x	z _f	$x' = x \cos t - z \sin t$	$z' = x \sin t + z \cos t$
O	0,00	0,00	-	-
B	0,00	0,65	- 0,42	0,50
A	-0,55	0,65	- 0,84	0,14
B	0,00	0,65	- 0,42	0,50
C	2,00	0,65	1,11	1,78
D	4,75	0,65	3,22	3,55
E	17,28	0,65	12,82	11,61
F	18,05	0,65	13,41	12,10
G	17,28	-2,95	15,13	8,85
J	4,75	2,95	8,82	3,55
H	4,75	-2,95	5,53	0,79
K	2,00	-0,65	1,95	0,79
C	2,00	0,65	1,11	1,78
z ₀				9,3
z _w				10,7
L			15,13	8,85
M			9,53	8,85
N			10,07	9,30
P			14,89	9,30
L'			15,13	8,85
M'			9,53	8,85
N'			11,74	10,70
P'			14,15	10,70

TAB. 3.4 - PARATOIA DI TREPOTI - GEOMETRIA

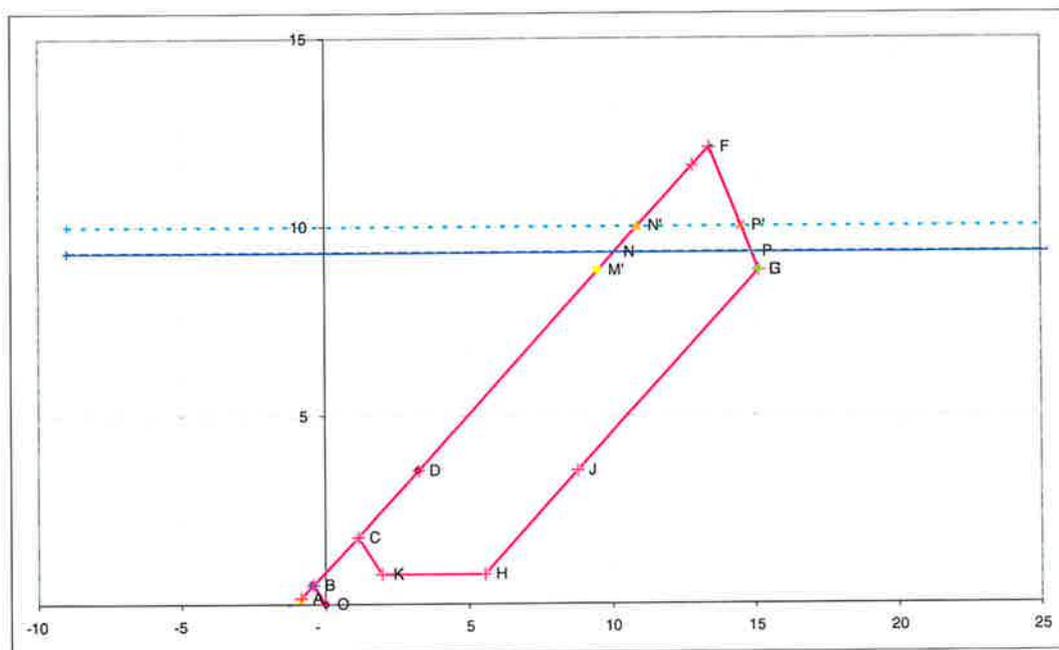


FIG. 3.11 - PARATOIA DI TREPORTI IN POSIZIONE DI LAVORO CON MASSIMO DISLIVELLO MAREA + EUSTATISMO (LINEA BLU) E DISLIVELLO IDROSTATICO TRA LE FIANCATE 0,70 M (LINEA TURCHESE TRATTEGGIATA)

elev fondale	d1	m	rispetto cerniera	6,65
elev marea+eust	d2	m	rispetto lmm	2,65
dislivello fianchi	dD	m		0,70
z mare	zo	m/s ²	d1+d2	9,30
z mare+dislivello fianchi	zw	m	zo + dD	10,00
altezza paratoia	DH	m		3,60
inclinazione paratoia	alfa	deg		40
elev intradosso paratoia	zG	m		8,85
elev estradosso paratoia	zF	m		12,10
AREA FIANCO IMMERSA				-
area sotto zo	Ac	m ²		46,48
area tra zw e zo	Ab	m ²		2,95
area immersa totale	A	m ²	Ab + Ac	49,43
area fianco	At	m ²		53,23
% area immersa	%At	m ²		93,2%
battente	b	kN/m ²	$\gamma dD = 10,10 * dD$	7,07
Ftrasversale	Ft	kN	b*Ab/2 + b*Ac	339

TAB. 3.5 - PARATOIA DI TREPORTI – CALCOLO DELLA FORZA TRASVERSALE PER DISLIVELLO IDROSTATICO 0,70 M TRA LE FIANCATE ALL'ANGOLO DI LAVORO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 31
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

CALCOLO DELL' AREA IMMERSA		zo (linea blu)		9,30
		zw (linea turchese)		10,05
area immersa fianco		alfa		40,0
	x (m)	z (m)	lungh (m)	area (m ²)
Area CDHK				6,74
D	3,22	3,55		
J	8,82	3,55		
H	5,53	0,79		
DH			3,60	
HJ			4,29	
Area DHJ				7,72
DJ			5,60	
se zo<zG		zL=zo		
se zo>zG		zL=zG		
L	15,13	8,85		
M	9,53	8,85		
zL-zJ				5,30
Area DJLM				29,66
se zo>zG				
se zo<zF, zN=zo				
se zo>zF, zN=zF				
N	10,07	9,30		
P	14,89	9,30		
MG=DJ				5,60
NP				4,82
zN-zM				0,45
Area MGPN				2,36
area a battente costante			Ab	46,48
se zw<zG		zL'=zw		
se zw>zG		zL'=zG		
L'	15,13	8,85		
M'	9,53	8,85		
zL'-zL				-
Area MLL'M'				-
se zw>zG				
se zw<zF, zN=Zw				
se zw>zF, zN=zF				
N'	10,91	10,00		
P'	14,52	10,00		
NP				4,82
N'P'				3,62
zN'-zN				0,70
Area M'GP'N'				2,95
area a battente variabile			Ac	2,95
AREA IMMERSA TOTALE			At	49,43

TAB. 3.6 - PARATOIA DI TREPORI – CALCOLO DELLA SUPERFICIE DELLA FIANCATA SOGGETTA A BATTENTE IDROSTATICO 0,70 M ALL'ANGOLO DI LAVORO

3.4.2.4 Barriera di San Nicolò

Anche per la barriera di San Nicolò i dati sperimentali sui dislivelli istantanei sono stati registrati a interassi superiori e sono quindi meno affidabili.

I dislivelli sono proporzionali alle altezze delle onde incidenti, che a San Nicolò, non sono di altezza superiore rispetto a quelle presenti a Chioggia e Malamocco. Ammettendo un dislivello tra le fiancate di 0,7 m, pari circa a quello valutato per la barriera di Chioggia e Malamocco, si stima una forza trasversale di 560 kN, mentre 700 kN corrisponderebbero ad un dislivello di circa 0,87 m.

Nel seguito si riporta il calcolo della forza trasversale per il dislivello di 0,70 m.

alfa	0	0,000000	45,0	0,785398
punto	x	z'	$x' = x \cos t - z \sin t$	$z' = x \sin t + z \cos t$
O	0,00	0,00	-	-
B	0,00	0,80	-0,57	0,57
A	-0,65	0,80	-1,03	0,11
B	0,00	0,80	-0,57	0,57
C	2,50	0,80	1,20	2,33
D	6,45	0,80	4,00	5,13
E	25,20	0,80	17,25	18,38
F	26,05	0,80	17,85	18,99
G	25,20	-3,20	20,08	15,56
J	6,45	-3,20	9,65	5,13
H	6,45	-3,20	6,82	2,30
K	2,50	-0,74	2,29	1,24
C	2,50	0,80	1,20	2,33
zo				15,45
zw				16,32
L			19,98	15,45
M			14,32	15,45
N			-	-
P			-	-
L'			20,08	15,56
M'			14,42	15,56
N'			15,19	16,32
P'			19,59	16,32

TAB. 3.7 - PARATOIA DI SAN NICOLÒ - GEOMETRIA

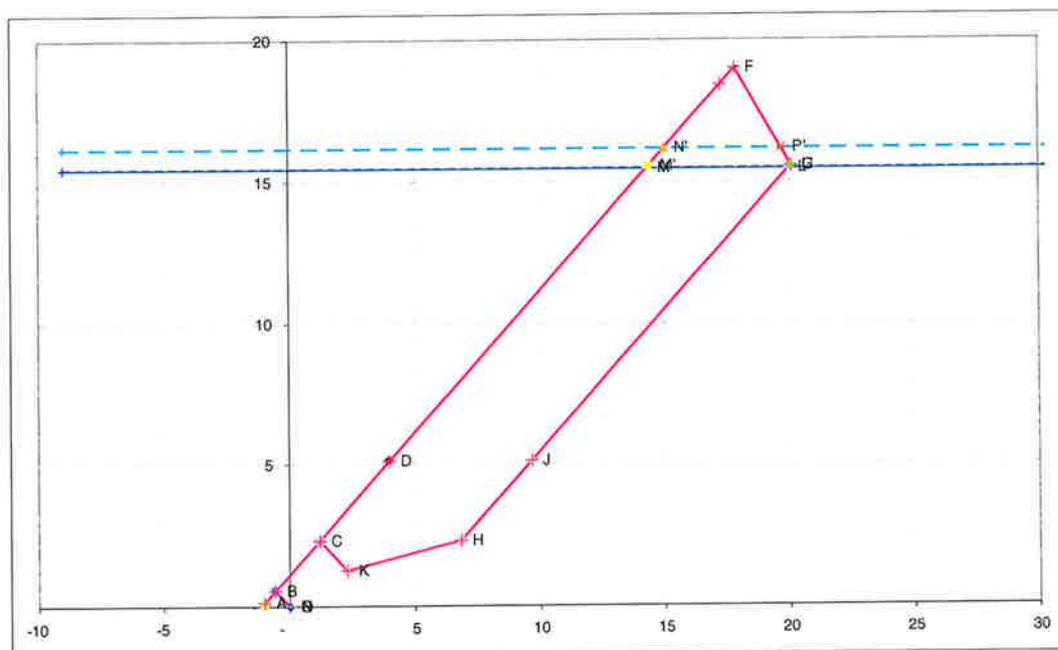


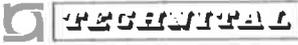
FIG. 3.12 - PARATOIA DI SAN NICOLÒ IN POSIZIONE DI LAVORO CON MASSIMO DISLIVELLO MAREA + EUSTATISMO (LINEA BLU) E DISLIVELLO IDROSTATICO TRA LE FIANCATE 0,7 M (LINEA TURCHESE TRATTEGGIATA)

elev fondale	d1	m	rispetto cerniera	12,80
elev marea+eust	d2	m	rispetto lmm	2,65
dislivello fianchi	dD	m		0,70
z mare	zo	m/s ²	d1+d2	15,45
z mare+dislivello fianchi	zw	m	zo + dD	16,15
altezza paratoia	DH	m		4,00
inclinazione paratoia	alfa	deg		45
elev intradosso paratoia	zG	m		15,56
elev estradosso paratoia	zF	m		18,99
AREA FIANCO IMMERSA				-
area sotto zo	Ac	m ²		77,34
area tra zw e zo	Ab	m ²		3,67
area immersa totale	A	m ²	Ab + Ac	81,01
area fianco	At	m ²		87,64
% area immersa	%At	m ²		92,4%
battente	b	kN/m ²	$\gamma dD = 10,10 * dD$	7,07
Ftrasversale	Ft	kN	b*Ab/2 + b*Ac	560

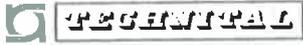
TAB. 3.8 - PARATOIA DI SAN NICOLÒ – CALCOLO DELLA FORZA TRASVERSALE PER DISLIVELLO IDROSTATICO 0,7 M TRA LE FIANCATE ALL'ANGOLO DI LAVORO

CALCOLO DELL'AREA IMMERSA		zo (linea blu)		15,45
		zw (linea turchese)		16,20
area immersa fianco		alfa		45,0
	x (m)	z (m)	lunghe (m)	area (m ²)
Area CDHK				10,94
D	4,00	5,13		
J	9,65	5,13		
H	6,82	2,30		
DH			4,00	
HJ			4,00	
Area DHJ				8,00
DJ			5,66	
se zo < zG		zL=zo		
se zo > zG		zL=zG		
L	19,98	15,45		
M	14,32	15,45		
zL-zJ			10,32	
Area DJLM				58,40
se zo > zG				
se zo < zF, zN=zo				
se zo > zF, zN=zF				
N	-	-		
P	-	-		
MG=DJ			5,66	
NP			-	
zN-zM			-	
Area MGPN				-
area a battente costante				77,34
se zw < zG		zL'=zw		
se zw > zG		zL'=zG		
L'	20,08	15,56		
M'	14,42	15,56		
zL'-zL			0,11	
Area MLL'M'				0,60
se zw > zG				
se zw < zF, zN=Zw				
se zw > zF, zN=zF				
N'	15,02	16,15		
P'	19,70	16,15		
NP			5,66	
N'P'			4,68	
zN'-zN			0,59	
Area M'GP'N'				3,07
area a battente variabile				3,07
AREA IMMERSA TOTALE				81,01

TAB. 3.9 - PARATOIA DI SAN NICOLÒ - CALCOLO DELLA SUPERFICIE DELLA FIANCATA SOGGETTA A BATTENTE IDROSTATICO 0,7 M ALL'ANGOLO DI LAVORO

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 35
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Per le verifiche dei connettori, che sono di un unico tipo per tutte le barriere, si è mantenuto il valore di 700 kN. Per le verifiche di resistenza della paratoia si è considerato lo stesso valore, notando però che è sovrastimato del 25%.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 36
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

4. PROGRAMMA DI CALCOLO STRUTTURALE E MODELLAZIONE DELLA PARATOIA

4.1. Programma di calcolo strutturale

La paratoia è stata analizzata nel corso della progettazione esecutiva utilizzando il programma ALGOR FEA:

autore: ALGOR Inc.

release: V19 SP1 o V23.1
(a seconda dell'epoca di utilizzo)

Attualmente il programma, aggiornato costantemente e passato ad Autodesk, è denominato Autodesk Simulation Mechanical ed è stato utilizzato per gli aggiornamenti nella versione 2013.

Autodesk Simulation Mechanical (come le precedenti versioni ALGOR FEA) è un package per analisi a elementi finiti, di applicazione generale.

I materiali disponibili in libreria includono metalli e leghe, plastiche, vetri, schiume, tessuti, elastomeri, calcestruzzo armato, terreni e materiali definiti dall'utente.

Gli elementi disponibili dipendono dalla geometria e dal tipo di analisi e includono lastre, piastre, travi, elementi solidi a 4 e 8 nodi.

La descrizione completa del package può essere reperiti al sito web:

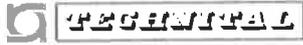
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=13773836>

Il manuale d'uso è disponibile nel sito web:

<http://download.autodesk.com/us/algor/userguides/whnjs.htm>

Il codice adottato è un programma commerciale di uso internazionale nel settore della progettazione meccanica e strutturale, certificato, sottoposto a continuo controllo e aggiornamento e oggetto di un forum pubblico degli utilizzatori.

L'affidabilità è stata anche verificata dal progettista attraverso l'uso costante nell'arco di circa 20 anni, in particolare per progetti di tipo navale.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 37
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

4.2. Elementi utilizzati nella modellazione strutturale e loro connessione

4.2.1. Elementi plate

Gli elementi plate hanno normalmente 4 nodi e sono rettangolari o trapezoidali.

Come si vede nelle immagini riportate nelle relazioni, solo in alcune zone, dove la geometria non è regolare e la mesh è infittita, gli elementi hanno tre nodi.

La mesh è stata disegnata direttamente in Algor.

Il materiale usato per gli elementi plate è isotropo.

La formulazione usata per gli elementi plate è l'opzione Veubeke, consigliata nel caso di elementi senza significative distorsioni.

Per quanto riguarda l'applicazione della temperature si è usata l'opzione "Stress free" applicando direttamente al modello la differenza di temperature.

Il valore di "Twisting coefficient ratio" usato è 0.001, valore di default del programma, e si è verificata poi la congruenza delle reazioni vincolari con le forze applicate.

4.2.2. Elementi brick

Gli elementi brick hanno normalmente 8 nodi e sono a forma di parallelepipedo.

Come si vede nelle immagini riportate nelle relazioni, solo in alcune zone, dove la geometria non è regolare e la mesh è infittita, gli elementi hanno un numero di nodi inferiore a 8.

Il materiale usato per gli elementi brick è isotropo.

Per quanto riguarda la "Compatibility", l'opzione usata per gli elementi a 8 nodi è "Not enforced": lungo il contorno dell'elemento sono ammesse distorsioni e sovrapposizioni.

Gli elementi con meno di 8 nodi sono per default "Enforced": lungo il contorno dell'elemento non sono ammesse distorsioni e sovrapposizioni.

Non è stata attivata l'opzione di avere nodi intermedi lungo gli spigoli degli elementi brick in quanto si ritiene la mesh abbastanza fitta.

 FRONTIERA	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 38
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

4.2.3. Interfacce tra elementi brick ed elementi plate

Gli elementi brick modellano le lamiere di spessore 180 mm della pinna e quelle di spessore 60 mm in corrispondenza dei recessi per i twist lock. Tutti gli altri elementi sono plate.

Tutti gli elementi plate sono stati considerati aventi cerniere con asse nel piano dell'elemento in corrispondenza dell'unione con gli elementi brick, cioè non sono stati inseriti nel modello accorgimenti per bloccare le rotazioni degli elementi plate in corrispondenza dell'unione con gli elementi brick.

Per quanto riguarda i fasciami soggetti a pressione perpendicolare al loro piano (fasciame superiore, lamiera verticale dell'ossatura 05 e lamiera di chiusura dei recessi per l'ingaggio dei dispositivi di aggancio) l'aver considerato le lamiere incernierate in corrispondenza dell'unione con gli elementi di grosso spessore (lamiera da 180 mm e lamiera da 60 mm schematizzate con elementi brick) comporta maggiori sollecitazioni sul fasciame rispetto ad un lamiera incastrata.

Lo stesso ragionamento vale per la lamiera del fasciame inferiore inclinato e per la lamiera verticale dell'ossatura 01, le quali non sono soggette a pressione perpendicolare al loro piano (la pressione all'interno della paratoia è la stessa che si ha all'esterno, a motivo della presenza delle prese mare nella parte bassa della lamiera inferiore inclinata e degli sfoghi aria nella parte superiore della lamiera verticale dell'ossatura 01).

Anche la lamiera delle paratie longitudinali è stata considerata come incernierata in corrispondenza dell'unione fra la lamiera di spessore 30 mm (plate) con la lamiera di spessore 60 mm (brick). Nelle condizioni di progetto della paratoia, in assenza di forze trasversali imposte, le lamiere non sono soggette a pressione perpendicolare al loro piano, ma lavorano solo per la robustezza longitudinale della paratoia e sono soggette a carichi che agiscono nel piano della lamiera; le cerniere non risultano pertanto impegnate.

Una forza trasversale applicata sul fasciame laterale della paratoia viene trasferita alle pinne attraverso gli irrigidimenti trasversali e i fasciami superiore e inferiore, senza dar luogo a criticità nella sezione delle paratie all'interfaccia tra elementi brick e plate.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 39
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Un'analisi comparativa tra i risultati ottenuti considerando il vincolo di cerniera e due diversi tipi di vincolo a incastro per l'interfaccia tra elementi plate ed elementi brick è stata sviluppata per la paratoia di Treporti (ref. documento MV082P-PE-TAR-2018): i risultati ottenuti con i vincoli di cerniera sono a favore di sicurezza.

4.2.4. Descrizione degli elementi nel manuale Algor

Per la descrizione dei metodi di valutazione delle sollecitazioni e delle convenzioni, si rimanda all'APPENDICE 1.

Per la descrizione completa degli elementi del programma Algor utilizzati, si rimanda all'APPENDICE 2.

4.2.5. Visualizzazione degli elementi nelle illustrazioni

Nelle relazioni sono riportate le illustrazioni della mesh e dei dettagli più complessi (dove alcuni componenti sono in alcuni casi indicati in trasparenza) e la descrizione della modellazione degli elementi strutturali della paratoia.

Nelle figure si sono utilizzati i colori per evidenziare le differenziazioni più significative tra diversi componenti (per geometria e/o per funzione), in particolare per mettere in risalto dettagli o zone e per individuare variazioni di spessore su superfici estese. I colori sono finalizzati all'utilizzo del modello e alle operazioni di controllo.

Nelle figure non è riportata la numerazione dei nodi in quanto, dato il loro elevato numero, risulta illeggibile.

Le rappresentazioni della modellazione danno comunque evidenza della corrispondenza agli elaborati progettuali, mentre le relazioni ne danno descrizione e dettagli quantitativi (in tabelle), ne dichiarano la corrispondenza con la struttura a disegno e verificano la corrispondenza tra pesi calcolati e pesi modellati.

Per facilitare la verifica si riportano nelle note integrative MV082P-PE-NAR-2019 e 2020 ulteriori indicazioni sulle figure e nelle descrizioni.

 REGENTRA	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 40
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

4.3. Informazioni generali sull'elaborazione e l'accettabilità dei risultati

Con riferimento alle indicazioni delle NTC 2008:

- Il modello è stato verificato, prima dell'esecuzione dei calcoli, per controllare la corrispondenza della geometria rappresentata rispetto alla geometria a disegno e il corretto interfacciamento tra gli elementi: tali controlli non sono riportati in relazione in quanto di routine ed effettuati in modo interattivo con il programma di analisi.
- La consistenza dei risultati (sia sforzi sia deformazioni) è stata valutata rispetto alle condizioni di carico applicate e rispetto alle analisi di cui al documento MV082P-PE-NAR-2001. In tale relazione si dà infatti documentazione dei calcoli di predimensionamento per tutti i componenti della struttura e per tutte le condizioni significative, calcoli eseguiti manualmente o con semplici programmi, quindi in modo indipendente dall'analisi 3D successivamente sviluppata.
- L'esame e il controllo dei risultati sono documentati dal confronto tra i carichi che si intende applicare e quelli restituiti dal modello, dal controllo delle deformate e dalla verifica della corrispondenza delle reazioni ai carichi applicati e alle condizioni di vincolo. In particolare, per le condizioni di esercizio, i vincoli effettivi sono solo 2 e l'assenza di reazioni apprezzabili sui vincoli fittizi garantisce dell'equilibrio raggiunto; in tutti i casi, le reazioni corrispondono ai carichi applicati.
- Il confronto tra le analisi eseguite sul modello originale e su quello in cui sono introdotte le modifiche al fasciame posteriore ha permesso un ulteriore controllo della congruenza e consistenza dei risultati.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 41
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5. NOTE GENERALI SULLE RELAZIONI DI CALCOLO

5.1. Generalità

Nei precedenti capitoli sono stati forniti chiarimenti relativamente ad argomenti di carattere generale della progettazione, in particolare:

- criteri di calcolo,
- normative applicate,
- programma di calcolo ed elementi per la modellazione,

Nel presente capitolo si forniscono con maggiori dettagli le parti comuni a tutte le relazioni di calcolo strutturale riguardo a:

- caratteristiche dei materiali e tensioni ammissibili,
- sovra-spessori di corrosione e caratteristiche degli elementi,
- modellazione della paratoia e rispondenza ai disegni di progetto,

Le due note integrative MV082P-PE-NAR 2019 e 2020 sono redatte includendo queste parti, oltre alle altre parti specifiche.

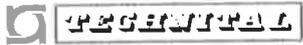
Allo scopo di facilitare la lettura dell'intero complesso delle analisi strutturali e dei loro risultati, si forniscono nel seguito le tabelle di sintesi delle condizioni e-saminate e dei risultati.

Per la definizione dei carichi applicati e delle combinazioni di carico, si ritengono esaustive le singole relazioni.

5.2. Caratteristiche dei materiali

La paratoia è realizzata con struttura totalmente saldata utilizzando i seguenti materiali:

- lamiere, piatti e profili spessore fino a 16 mm - acciaio S275 - UNI EN 10025 con i requisiti aggiuntivi riportati nella specifica MV082P-PE-NAS-2001
 - $f_u \geq 410 \div 560$ [MPa]
 - $f_y \geq 275$ [MPa]
 - $f_d = 275$ [MPa]

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 42
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

- lamiere spessore da 16 mm fino a 40 mm - acciaio S275 - UNI EN 10025 con i requisiti aggiuntivi riportati nella specifica MV082P-PE-NAS-2001
 - $f_u \geq 410 \div 560$ [MPa]
 - $f_y \geq 265$ [MPa]
 - $f_d = 265$ [MPa]
- lamiere spessore da 40 mm fino a 63 mm - acciaio S355 - UNI EN 10025 con i requisiti aggiuntivi riportati nella specifica MV082P-PE-NAS-2001 incluse le proprietà garantite in direzione perpendicolare alla superficie
 - $f_u \geq 470 \div 630$ [MPa]
 - $f_y \geq 335$ [MPa]
 - $f_d = 335$ [MPa]
- lamiere spessore da 63 mm fino a 200 mm - acciaio S355 - UNI EN 10025 con i requisiti aggiuntivi riportati nella specifica MV082P-PE-NAS-2001 incluse le proprietà garantite in direzione perpendicolare alla superficie

> 63 mm ≤ 80 mm	> 80 mm ≤ 100 mm	> 100 mm ≤ 150 mm	>150 mm a 200 mm
$f_u \geq 470 \div 630$ [MPa]		$f_u \geq 450 \div 600$ [MPa]	
$f_y \geq 325$ [MPa]	$f_y \geq 315$ [MPa]	$f_y \geq 295$ [MPa]	$f_y \geq 285$ [MPa]
$f_d = 325$ [MPa]	$f_d = 315$ [MPa]	$f_d = 295$ [MPa]	$f_d = 285$ [MPa]

Per tutti gli acciai strutturali vengono applicate le seguenti proprietà elastiche previste dalle norme:

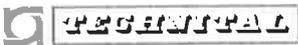
$E = 206000 \text{ N/mm}^2$ modulo di elasticità

$G = 80000 \text{ N/mm}^2$ modulo di taglio

$\nu = 0.3$ modulo di Poisson

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ densità di massa

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ coefficiente di espansione termica

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 43
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.3. Tensioni ammissibili

Le verifiche strutturali sono condotte con riferimento alla Guida e al Regolamento R.I.Na. citati, con ulteriori prescrizioni relative alle caratteristiche di resistenza, in ottemperanza alle indicazioni delle NTC 2008 e UNI EN 10025-2, come precisato nel documento MV082P-PE-NAR-2018.

La definizione delle tensioni ammissibili è riportata in:

- R.I.Na. "Guida relativa ai criteri per la verifica mediante calcolo diretto della robustezza strutturale dello scafo delle navi", 1992

Al paragrafo 4.2, le tensioni ammissibili sono definite dalle seguenti espressioni:

$$\sigma_{amm} = 240 / (K h) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{amm} = \frac{\sigma_{amm}}{\sqrt{3}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dove:

i coefficienti di sicurezza h da assumere sono:

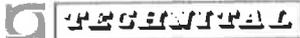
h = 1,25 per le situazioni di carico combinate

h = 1,33 per le condizioni di pressatura

h = 1,55 per le situazioni di carico in acqua tranquilla

i coefficienti del materiale K sono definiti nel Regolamento R.I.Na., Parte B, Cap. 4, Sez.1, Tabella 2, sotto riportata, in funzione della tensione minima di snervamento R_{eH} .

ReH (N/mm ²)	k
235	1
315	0,78
355	0,72
390	0,70

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 44
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Per valori intermedi di R_{eH} , K può essere ottenuto per interpolazione lineare, pertanto nel progetto per S275 si considera:

$$S275 \quad K = 0,89 = 1 - (1 - 0,78) \cdot (315 - 275) / (315 - 235)$$

Le tensioni ammissibili base di confronto per i progetto risultano pertanto:

coeff. sicurezza		h = 1,25		h = 1,33		h = 1,55	
ReH (N/mm ²)	k	σ_{amm} (N/mm ²)	τ_{amm} (N/mm ²)	σ_{amm} (N/mm ²)	τ_{amm} (N/mm ²)	σ_{amm} (N/mm ²)	τ_{amm} (N/mm ²)
275	0,89	216	125	203	117	174	100
355	0,72	267	154	251	145	215	124

TAB. 5.1 - TENSIONE AMMISSIBILE BASE IN ACCORDO A R.I.NA.

La tensione ammissibile deve risultare non inferiore alla tensione ideale calcolata con il criterio di von Mises in accordo alla seguente formula:

$$\sigma_{id} = \sqrt{0.5 \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 \right] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}$$

Poiché il criterio del R.I.Na. non tiene conto del decadimento delle caratteristiche del materiale in funzione dello spessore, il valore della σ_{amm} viene ridotto in proporzione al limite di snervamento riportato nel prospetto 7 della Norma UNI EN 10025-2:2005, che per i materiali di interesse, assumendo come riferimento le caratteristiche meccaniche dell'acciaio di qualità J0, indica:

Designazione acciaio	Carico unitario minimo di snervamento R_{eH} (N/mm ²) in funzione dello spessore nominale (mm)						
	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200
S275J0	275	265	255	245	235	225	215
S355J0	355	345	335	325	315	295	285

TAB. 5.2 - TENSIONE AMMISSIBILE IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DELL'ELEMENTO SECONDO UNI EN 10025-2:2005, PROSPETTO 7

Le tensioni ammissibili di confronto risultano quindi come indicato nella seguente tabella.

Tensioni ammissibili (N/mm ²) in funzione dello spessore nominale (mm)								
Acciaio	h	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200
S275	1,25	216	208	200	192	184	177	169
S355		267	259	252	244	237	222	214
S275	1,33	203	195	188	181	173	166	159
S355		251	244	237	229	222	208	201
S275	1,55	174	168	161	155	149	142	136
S355		215	209	203	197	191	179	173

TAB. 5.3 - TENSIONE AMMISSIBILE IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DELL'ELEMENTO

A titolo di esempio, la tensione ammissibile per la lamiera della paratoia longitudinale di acciaio S355 e spessore 30 mm, per h = 1,55, risulta da:

$$\begin{aligned}\sigma_{amm} &= (R_{eH[30\text{ mm}]} / R_{eH[16\text{ mm}]}) * 240 / (K * h) \\ &= (345 / 355) * 240 / (0,72 * 1,55) = 209 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

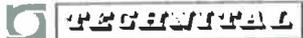
Tenendo conto degli spessori presenti nella paratoia, la tabella delle tensioni ammissibili utilizzate è:

Tensioni ammissibili (N/mm ²) per la paratoia di Lido San Nicolò in funzione dello spessore nominale (mm) e del tipo di acciaio					
Acciaio	h	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>150 ≤200
S275	1,25	216	208		
	1,33	203	195		
	1,55	174	168		
S355	1,25			252	214
	1,33			237	201
	1,55			203	173

TAB. 5.4 - TENSIONI AMMISSIBILI PER LE VERIFICHE DELLA PARATOIA DI SAN NICOLÒ

5.4. Unità di misura

Per le unità di misura si è adottato il Sistema Internazionale.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 46
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.5. Sistema di riferimento del modello

Il modello è descritto in un sistema di riferimento globale, nel quale sono riportate tutte le visualizzazioni insieme con la terna di riferimento globale.

Nelle figure seguenti è riportata la posizione del sistema di riferimento globale rispetto al quale sono forniti i risultati:

- asse X di simmetria trasversale delle paratoia
- asse Y longitudinale passante per il centro degli snodi
- asse Z verticale spiccato dall'intersezione di X con Y

I singoli elementi hanno il loro sistema di riferimento locale, che non è però utilizzato nella visualizzazione e nella restituzione dei risultati e che non viene pertanto descritto.

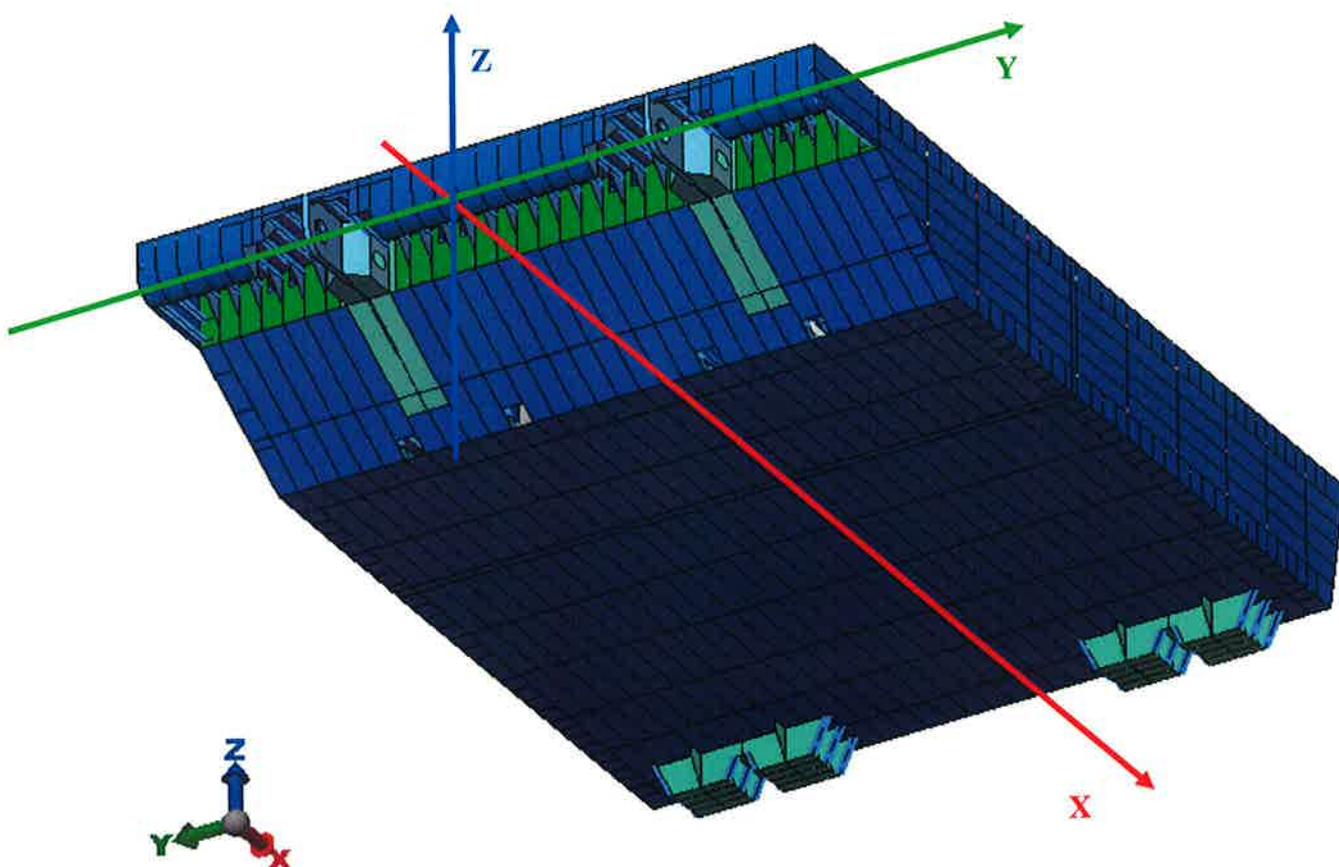


FIG. 5.1 – POSIZIONE SISTEMA DI RIFERIMENTO GLOBALE DEL MODELLO VISTA 3D

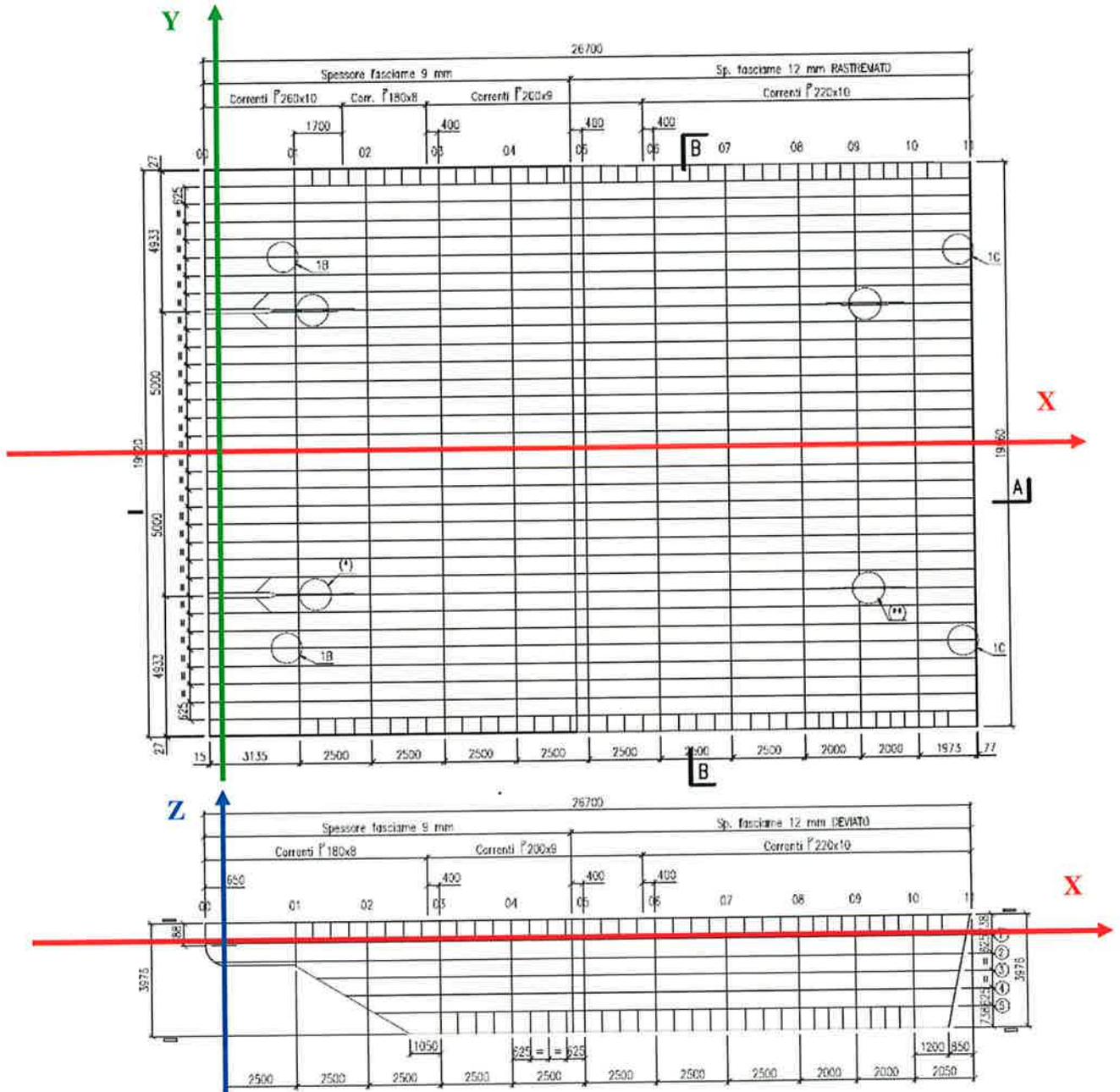


FIG. 5.2 – POSIZIONE SISTEMA DI RIFERIMENTO GLOBALE DEL MODELLO IN PIANTA E ALZATO

 REGISTRAL	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 48
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.6. Sovra-spessore di corrosione

Le verifiche strutturali vengono eseguite al netto dei seguenti sopra-spessori di corrosione, da applicare su ogni lato di esposizione dell'elemento strutturale, con riferimento ai criteri del Registro Italiano Navale (R.I.Na.) riportati nel "Regolamento per la classificazione delle navi":

- *esposizione lato esterno paratoia* = 0.5 mm
- *esposizione lato interno paratoia* = 1.0 mm

I sopra-spessori di corrosione sono stabiliti con riferimento a RINa 2000, Pt B, Ch 4, sec 2, Table 2.

Per ogni elemento:

- lato esterno 0,5 mm, assimilabile a "Altri locali, Mare ed aria esterni"
- lato interno 1,0 mm, assimilabile a "Cisterne di zavorra"

Pertanto, nelle situazioni ricorrenti si ha:

- per la lamiera del fasciame esterno si assume una riduzione di $0,5+1,0 = 1,5$ mm (una superficie esposta al mare una interna)
- per un piatto all'interno si assume una riduzione $1,0+1,0 = 2,0$ mm (le superfici sono entrambe all'interno)
- per i ferri a bulbo si assume una riduzione di $1,0+1,0 = 2,0$ mm (le superfici sono all'interno)
- per le lamiere della struttura di supporto parabordi si assume una riduzione di $0,5 + 0,5 = 1$ mm (le superfici sono esposte al mare su entrambi i lati)

Nel modello tutti gli elementi sono schematizzati al netto del sopra-spessore di corrosione, mentre le densità adottate per i materiali di ogni elemento sono calcolate tenendo conto anche del peso corrispondente allo spessore nominale. Si veda anche la tabella al successivo paragrafo.

Circa la rappresentazione dei sopra-spessori di corrosione, gli assi geometrici degli elementi netti (dedotti i sopra-spessori) sono disposti in corrispondenza degli allineamenti teorici della struttura, riportati nei disegni di progetto e nelle figure del paragrafo precedente.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 49
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7. Modellazione della paratoia

5.7.1. Generalità

Nel seguito si riporta per intero la descrizione del modello della paratoia, presente in tutte le relazioni, con ulteriori precisazioni nel testo e nelle immagini, per facilitare la “leggibilità” e riproducibilità” del modello.

Si ricorda che ogni relazione riporta anche dettagli specifici del modello, in quanto i modelli numerici non sono tutti uguali; in particolare non in tutti i modelli sono schematizzati gli ammortizzatori e i loro supporti e i vincoli variano in funzione delle condizioni esaminate.

La struttura è stata schematizzata con le seguenti tipologie di elemento:

- piastra o plate
- trave
- elemento 3D o brick

Non sono utilizzati elementi a comportamento membranale.

La modellazione adottata è intermedia tra il 2° e il 3° livello di schematizzazione definiti nella Guida R.I.Na. ai par. 1.3.3 e 1.3.4.

La schematizzazione con gli elementi piastra è stata eseguita utilizzando quadrilateri o triangoli facendo in modo di rispettare il più possibile i seguenti limiti geometrici:

- elementi quadrilateri

$$\frac{\text{Lato maggiore}}{\text{Lato minore}} \leq 2 \quad (\text{per un ridotto numero di elementi è consentito arrivare fino}$$

a 4)

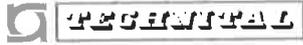
$$60^\circ \leq \text{angolo} \leq 120^\circ$$

- elementi triangolari

$$30^\circ \leq \text{angolo} \leq 120^\circ$$

Le dimensioni di ingombro della paratoia sono:

- lunghezza totale 26,70 mm

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 50
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

- larghezza 19,92 mm
- altezza 4,00mm

L'elemento piastra (plate) base ha, in genere, 4 nodi e forma quadrata con lato da 156,25 mm, che è un sottomultiplo degli interassi ricorrenti (ad esempio, essendo tipicamente 625 mm l'interasse tra i bulbi, il fasciame tra due bulbi contigui è modellato da 4 elementi piastra).

In situazioni particolari di raccordo fra vari elementi strutturali, per continuità nel modello a elementi finiti, tali dimensioni possono diminuire, oppure l'elemento può diventare triangolare o trapezio.

Gli elementi tridimensionali schematizzanti la lamiera da 60 mm hanno, in genere, 8 nodi e forma di parallelepipedo con base quadrata di lato pari ad un terzo dell'elemento piastra base e spessore 29 mm.

Gli elementi tridimensionali schematizzanti la lamiera da 180 mm hanno, in genere, 8 nodi e forma di parallelepipedo con base quadrata pari all'elemento piastra base e spessore 89 mm.

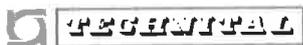
Le lamiere di grande spessore sono pertanto modellate con due elementi nello spessore, tenendo conto della riduzione dello spessore per corrosione.

Tutti gli elementi plate sono stati considerati aventi cerniere con asse nel piano dell'elemento in corrispondenza dell'unione con gli elementi brick, cioè non sono presenti incastri tra elementi plate e gli elementi brick.

Il modello base (senza supporti ammortizzatori) è composto da:

- 109.282 nodi
- 15.394 elementi trave
- 96.792 elementi piastra (plate)
- 11.420 elementi tridimensionali (brick)

Nella tabella seguente si riporta la sintesi degli elementi utilizzati per ogni componente della paratoia, indicando la funzione nel complesso strutturale, il tipo e lo spessore, mentre nei successivi paragrafi si riportano precisazioni sugli elementi e sulla schematizzazione adottata e i dettagli del modello per ogni tipologia di elemento in base alla sua funzione.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 51
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Funzione	posizione	tipo	elemento Algor	spessore nominale	riduzione per corrosione
Fasciami esterni	superiore	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	inferiore	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	laterale	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	posteriore	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	anteriore	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	ossatura 01	lamiera	piastra	9-12 mm	1,5 mm
	inferiore sotto pinna	lamiera	piastra	20 mm	1,5 mm
Fasciami interni (paratie longitudinali)	tipici (15 mm solo per irrigidimenti pinne)	lamiera	piastra	10-12-15 mm	2 mm
	irrigidimenti pinne	lamiera	piastra	20 mm	2 mm
	zone recessi twist lock	lamiera	piastra	30 mm	2 mm
	zone recessi twist lock	lamiera	brick	60 mm	2 mm
	pinna	lamiera	brick	180 mm	2 mm
Rinforzi ordinari	paratie longitudinali e diaframma telaio 08	piatti	piastra	11 mm	2 mm
	piatti fasciame posteriore	piatti	piastra	12-15 mm	1,5 mm
	fasciami esterni	ferri a bulbo - anima ferri a bulbo - bulbo	piastra trave	max Hp 280x11	2 mm
Telaio rinforzati	ossatura 02	lamiera piattabande	piastra trave	8-10 mm 12 mm	2 mm
	ossatura 03	lamiera piattabande	piastra trave	8-10 mm 12 mm	2 mm
	ossatura 04	lamiera piattabande	piastra trave	8-10 mm 12 mm	2 mm
	ossatura 05	lamiera piattabande	piastra trave	8-10 mm 12 mm	2 mm
	ossatura 06	lamiera piattabande	piastra trave	8-12 mm 14 mm	2 mm
	ossatura 07	lamiera piattabande	piastra trave	8-12 mm 14 mm	2 mm
	ossatura 08	lamiera piattabande	piastra trave	8-12 mm 14 mm	2 mm
	ossatura 09	lamiera piattabande	piastra trave	8-12 mm 14 mm	2 mm
	ossatura 10	lamiera piattabande	piastra trave	8-12 mm 14 mm	2 mm
	diaframma centrale	lamiera piattabande	piastra trave	10-12 mm 12-14 mm	2 mm
Squadre	spigoli	piatti	piastra	10 mm	2 mm
Piatti rinforzo fori	paratie longitudinali	piatti	trave	11 mm	2 mm
Telaio ammortizzatori	ossatura 10	lamiera	piastra	10 mm	1 mm
		piattabande	trave	10 mm	1 mm
		lamiera	piastra	20 mm	1 mm

TAB. 5.5 - ELEMENTI TIPICI, SPESSORI NOMINALI E RIDUZIONE PER CORROSIONE

 TECINTAL	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 52
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

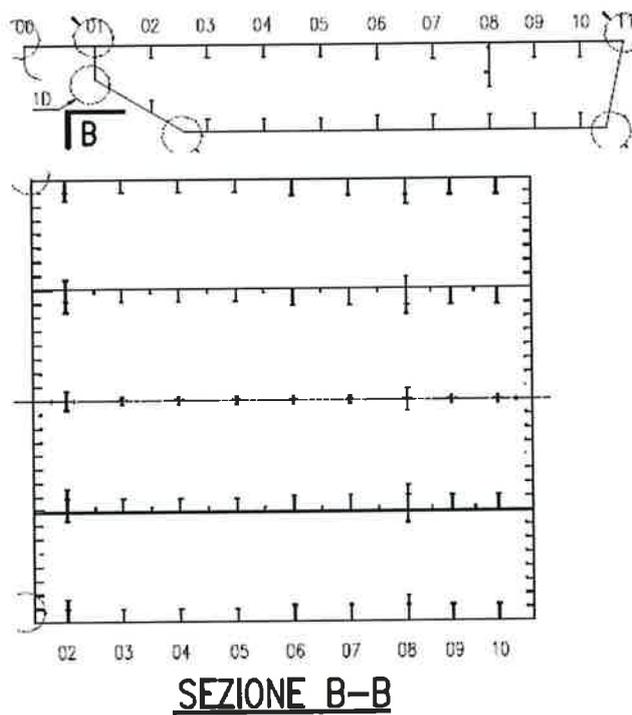
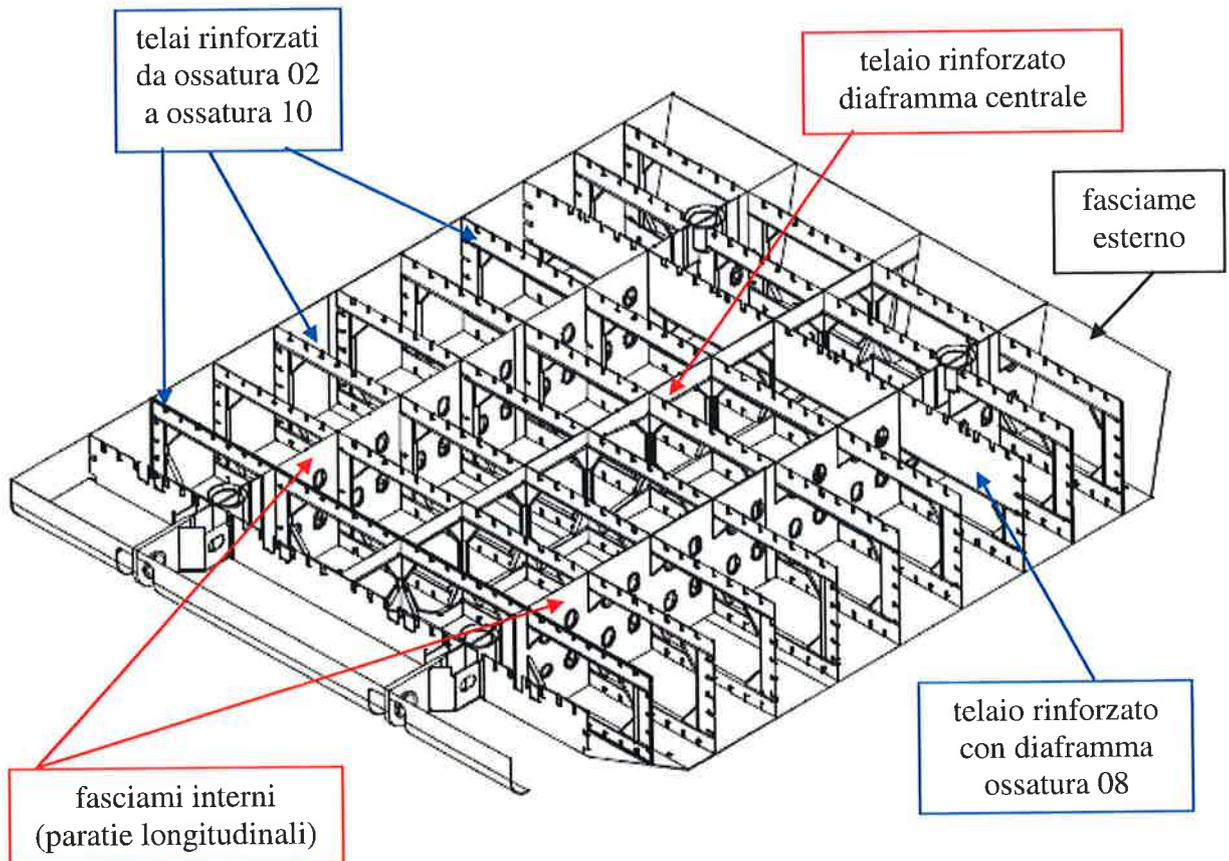


FIG. 5.3 - ELEMENTI PARATOIA E NUMERAZIONE OSSATURE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 53
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.2. Fasciami esterni

I fasciami esterni sono stati schematizzati con elementi piastra aventi uno spessore lordo di 9 mm o 12 mm (20 mm solo per due rinforzi locali), pari a quello indicato sui disegni deducendo 1.5 mm quale sovra-spessore di corrosione.

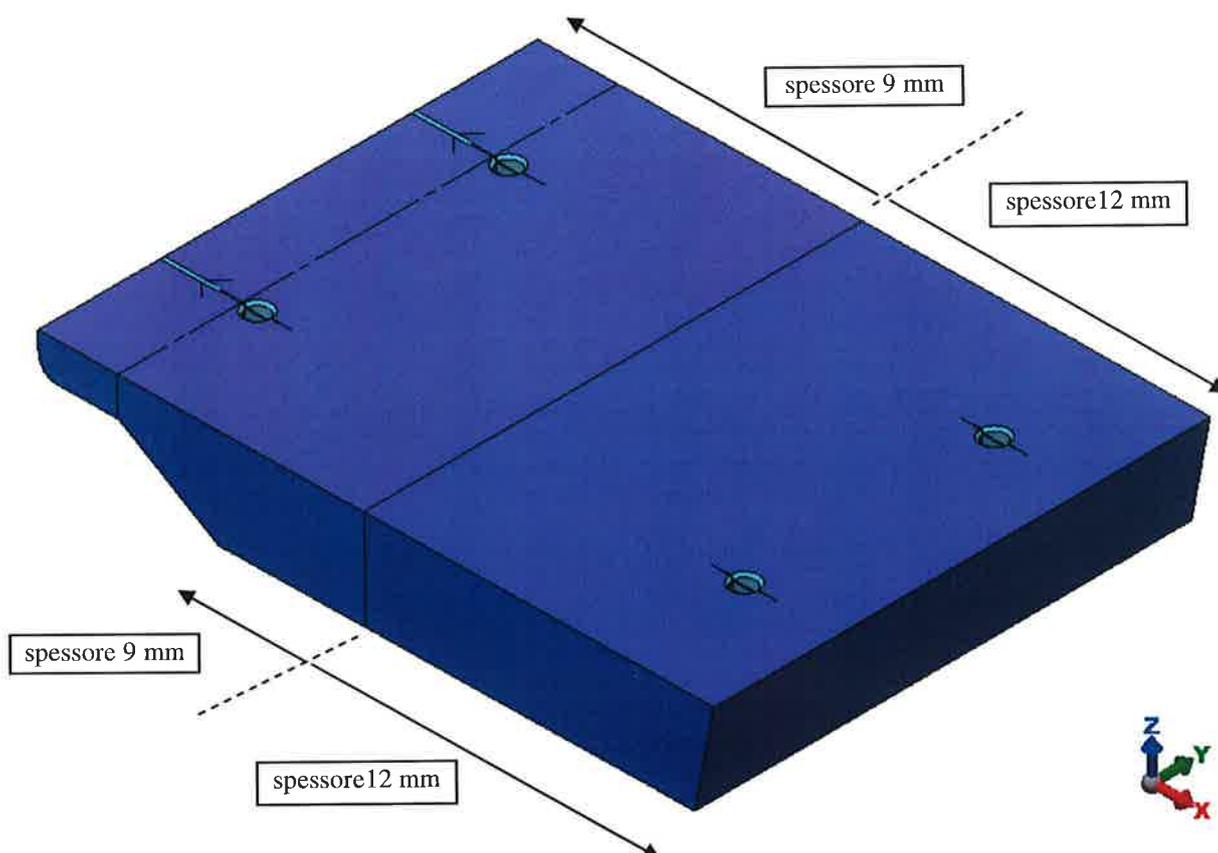
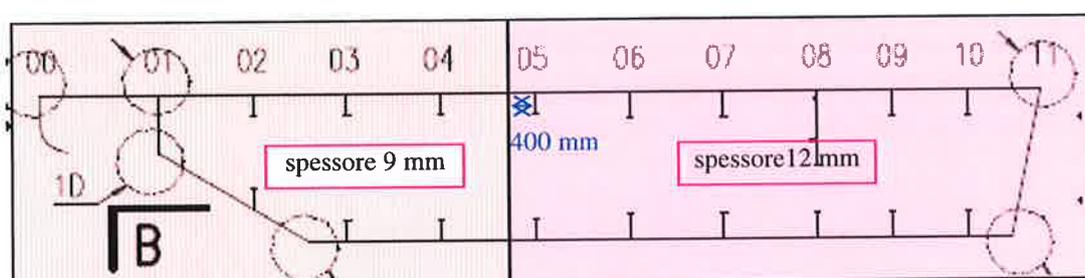


FIG. 5.4 – FASCIAMI ESTERNI: VISTA SUPERIORE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 54
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

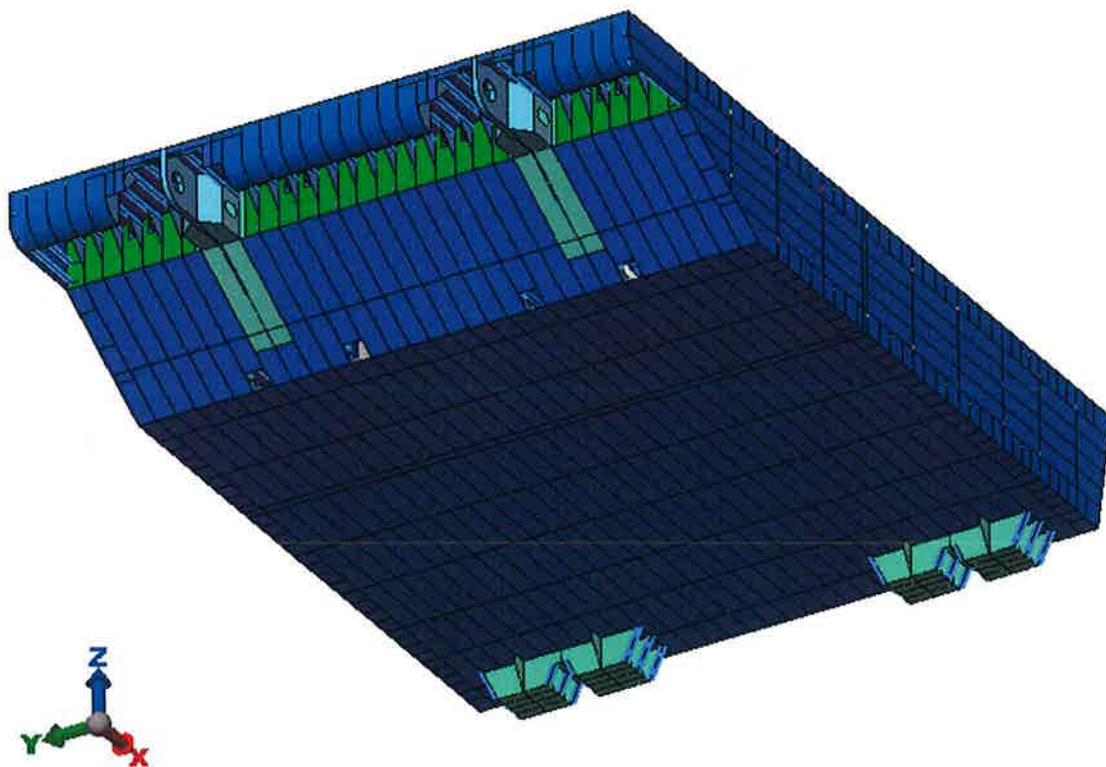
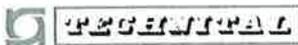


FIG. 5.5 – FASCIAMI ESTERNI: VISTA INFERIORE

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 55
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	



FIG. 5.6 – FASCIAMI ESTERNI: DETTAGLIO MESH

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 56
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

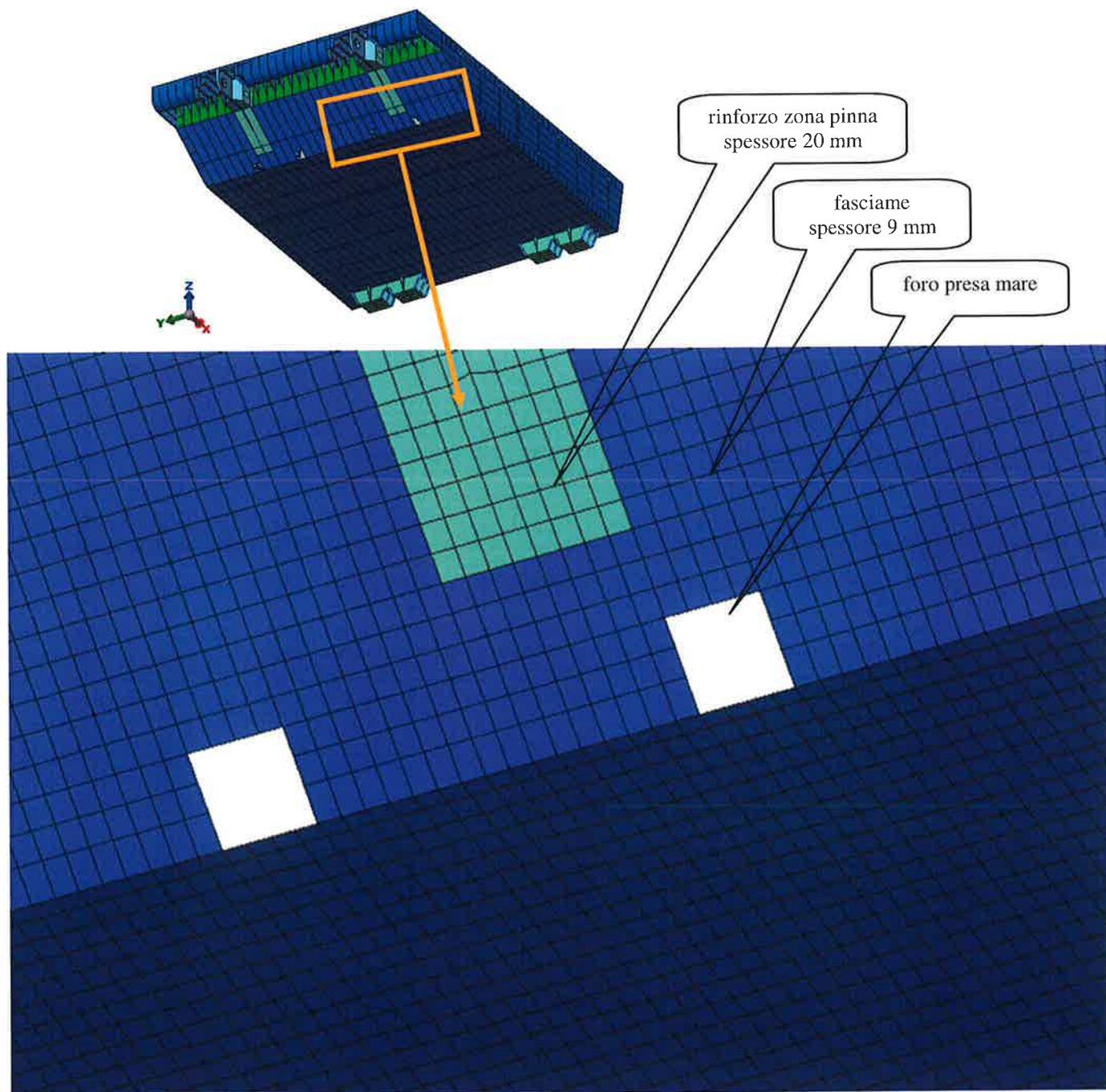


FIG. 5.7 – FASCIAMI ESTERNI: DETTAGLIO PRESE MARE VISTE DAL BASSO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 57
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

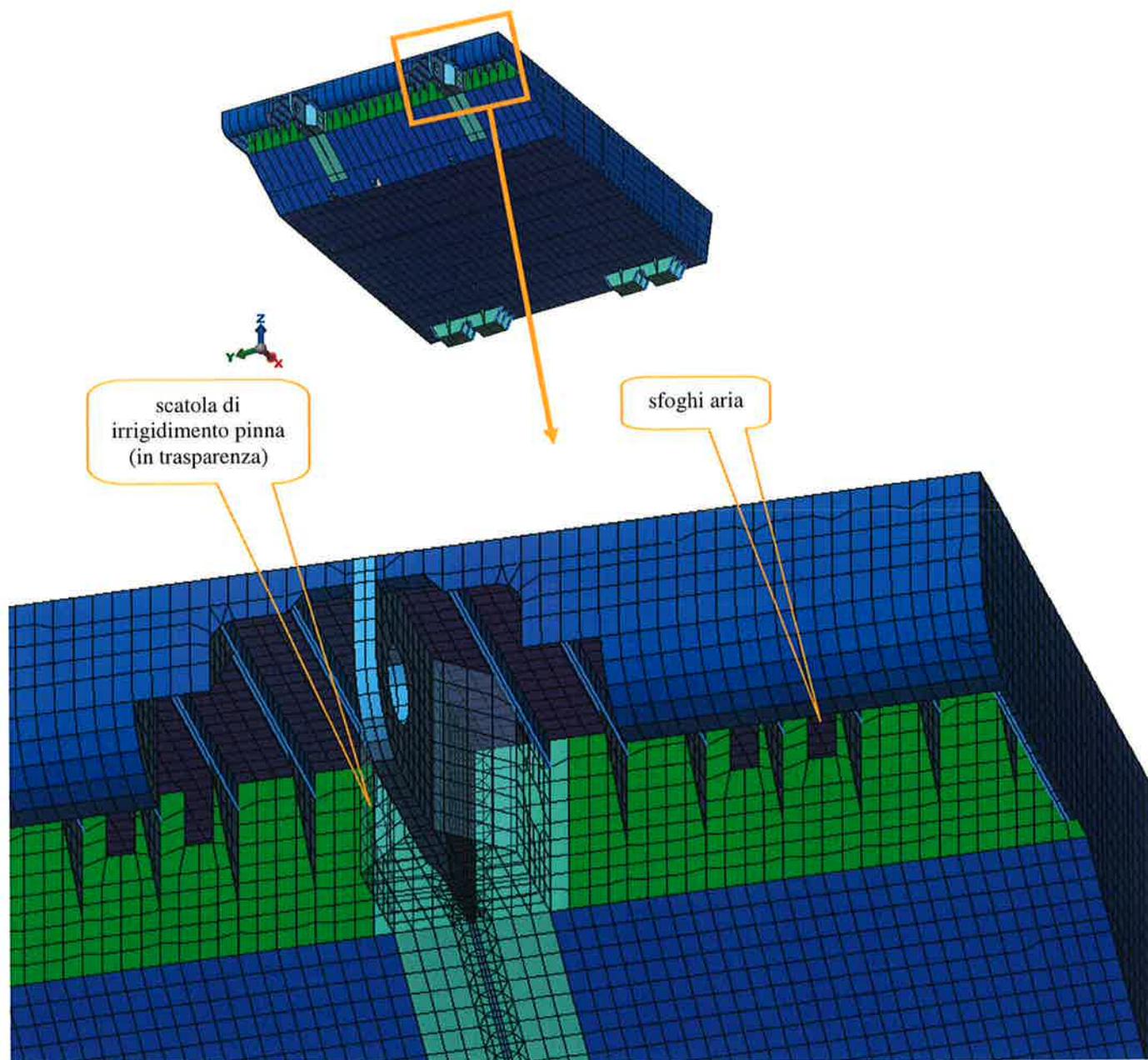


FIG. 5.8 – FASCIAMI ESTERNI: DETTAGLIO SFOGHI ARIA VISTI DAL BASSO

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 58
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

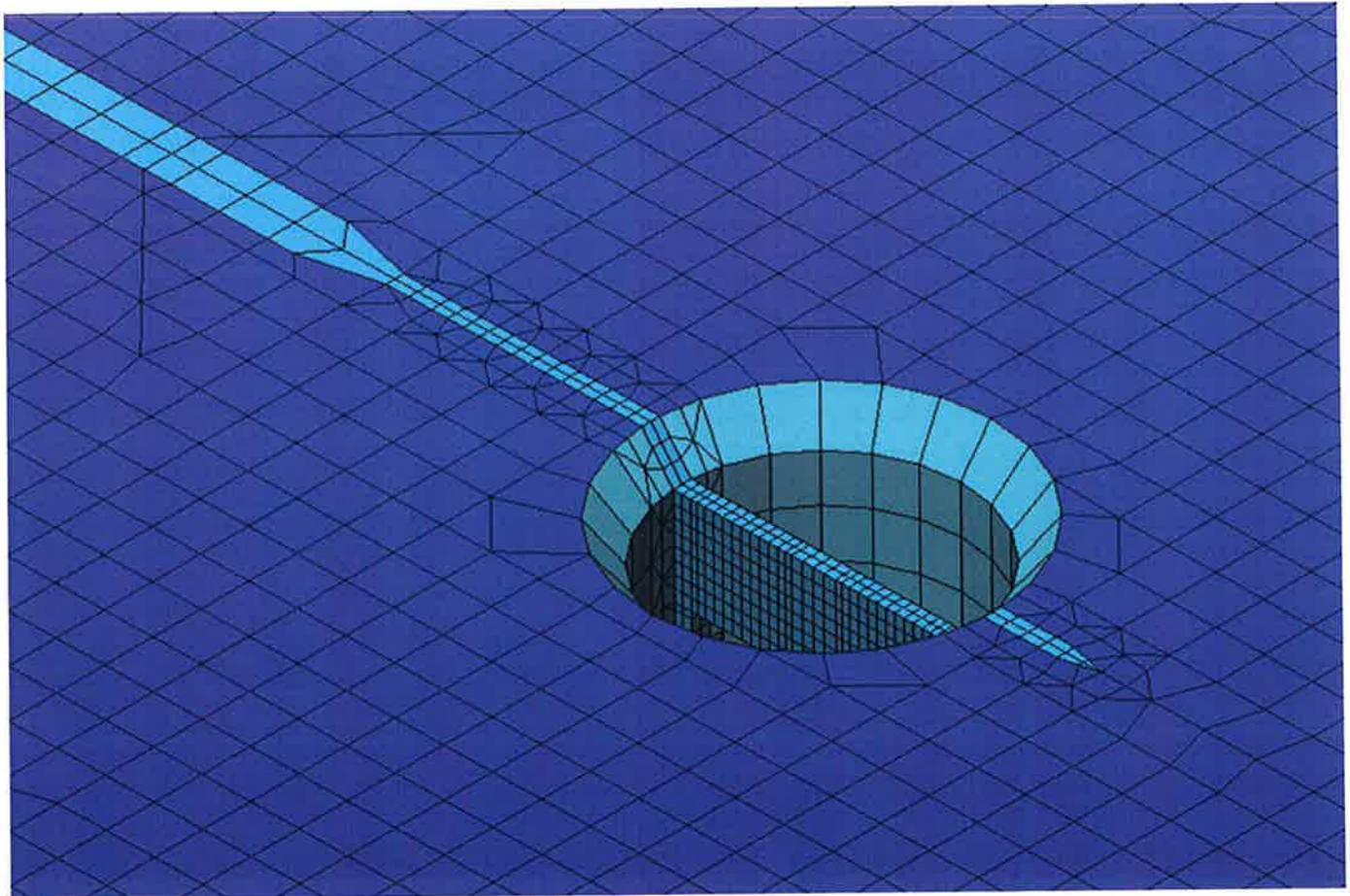
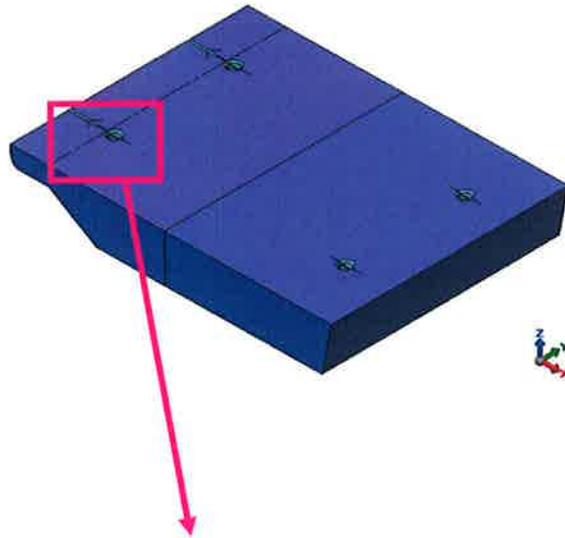
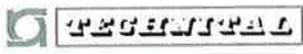


FIG. 5.9 – FASCIAMI ESTERNI: DETTAGLIO CAVA TWIST LOCK POSTERIORE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 59
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

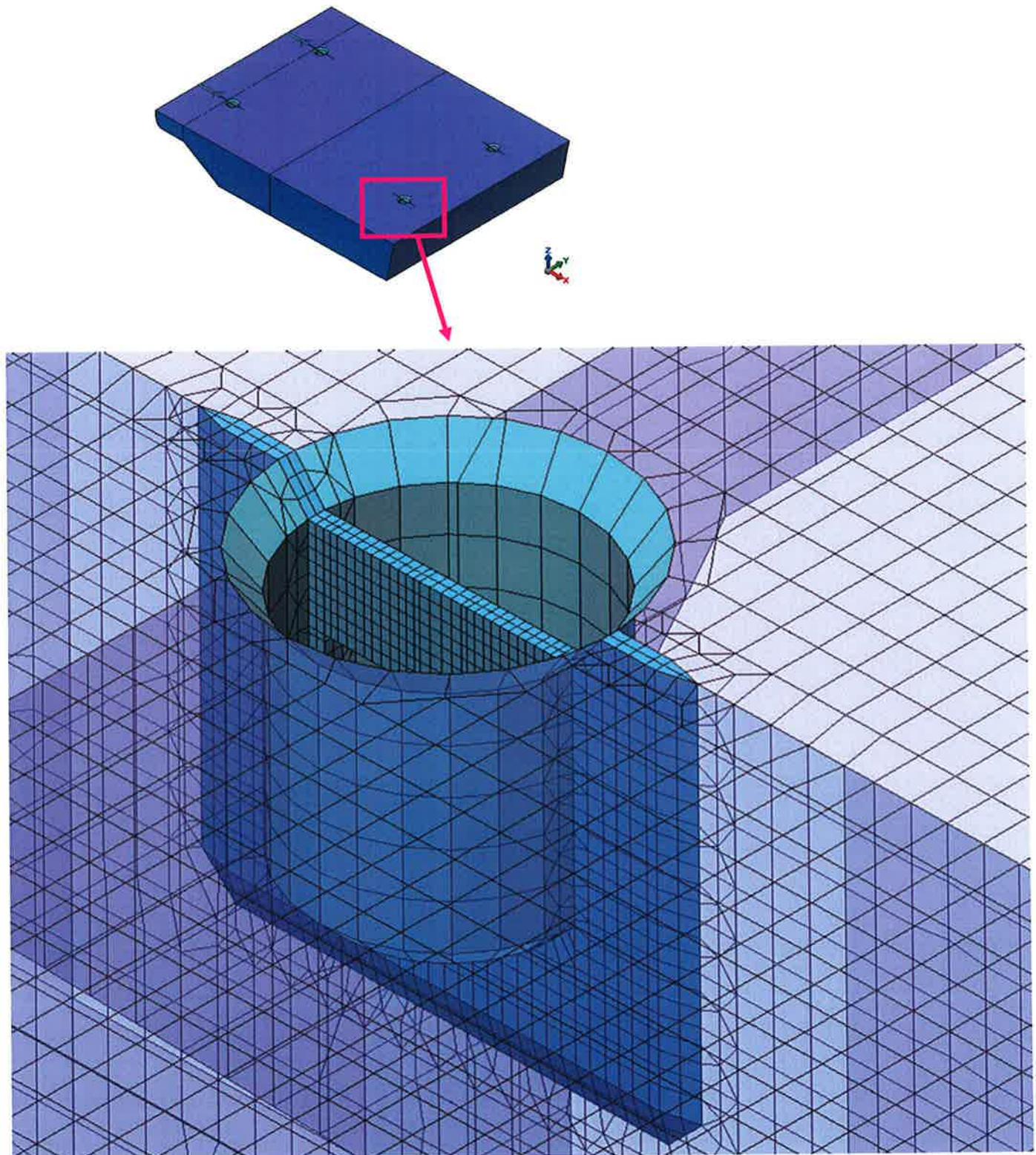


FIG. 5.10 – FASCIAMI ESTERNI: DETTAGLIO CAVA TWIST LOCK ANTERIORE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 60
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.3. Fasciami interni

I fasciami interni sono stati schematizzati con elementi piastra nelle zone in cui lo spessore è pari a 10, 12, 15, 20 e 30 mm (colore blu della figura seguente) e con elementi tridimensionali nelle zone in cui lo spessore è 60 e 180 mm (colore azzurro nella figura seguente), raccordati agli elementi piastra. Lo spessore degli elementi è pari a quello indicato sui disegni deducendo 2.0 mm quale sovrappessore di corrosione.

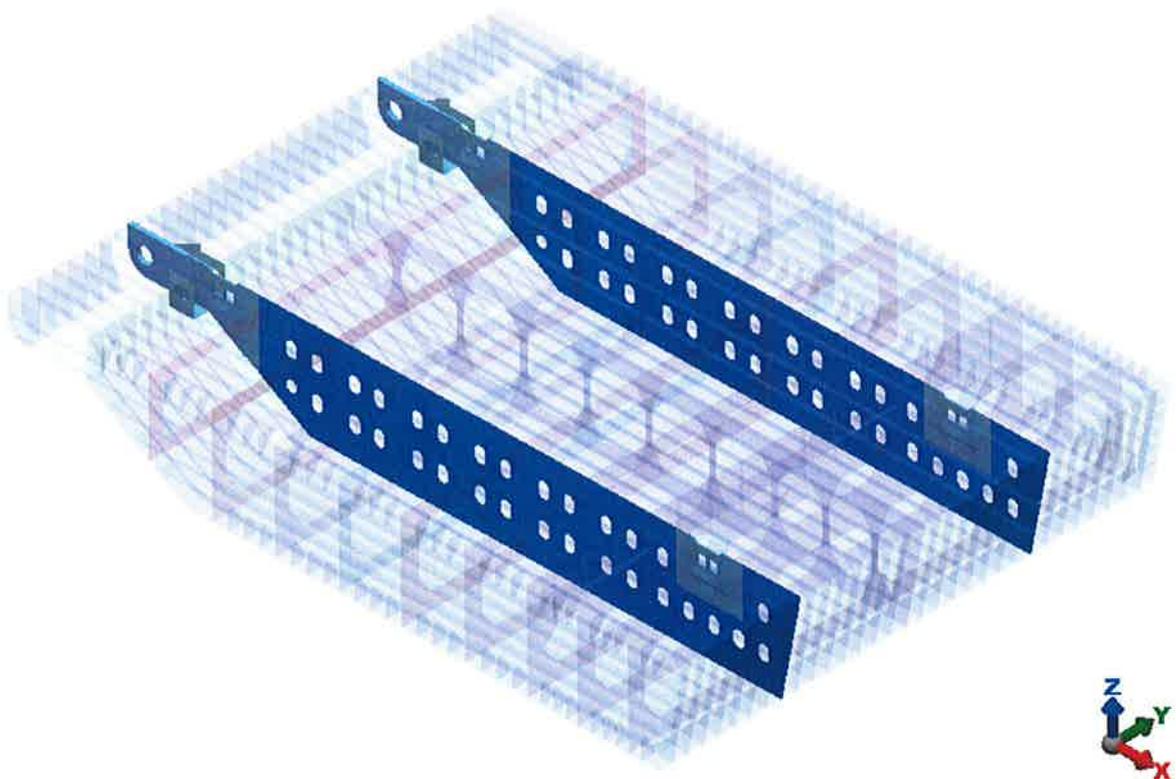


FIG. 5.11 – FASCIAMI INTERNI (PARATIE LONGITUDINALI)

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 61
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

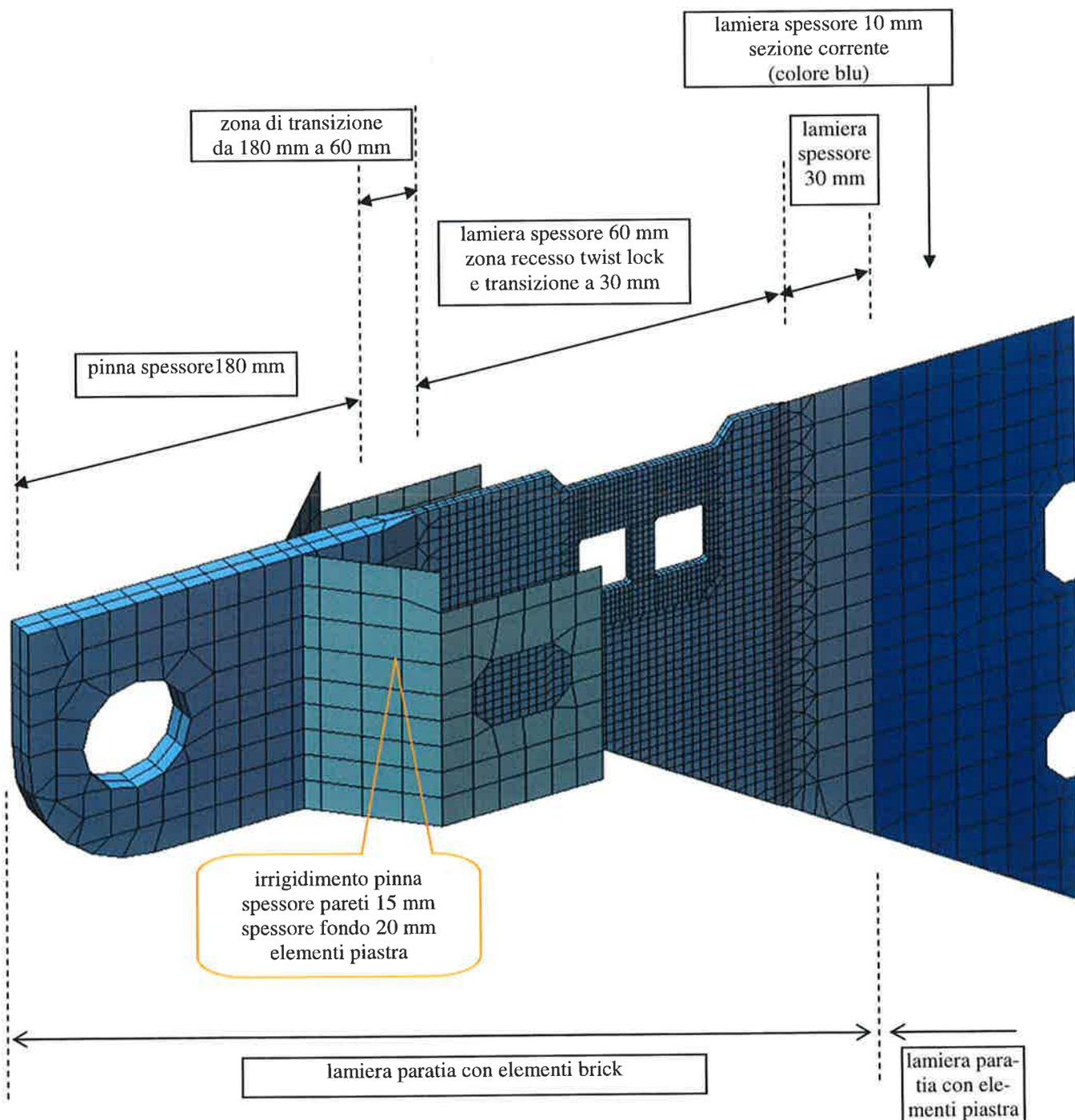


FIG. 5.12 – PARATIE LONGITUDINALI: DETTAGLIO PINNA E ZONA RECESSO TWIST LOCK POSTERIORE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 62
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

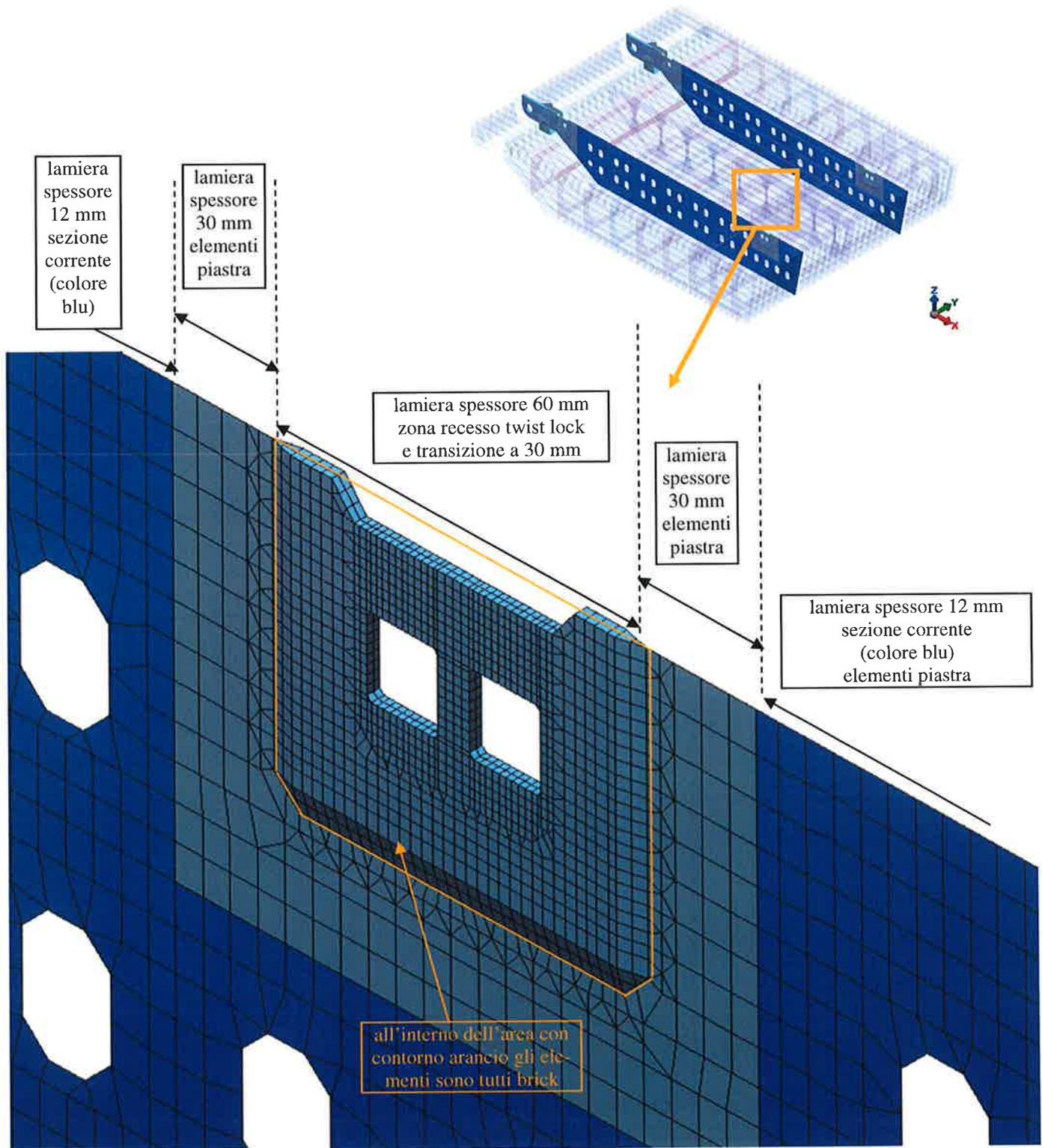
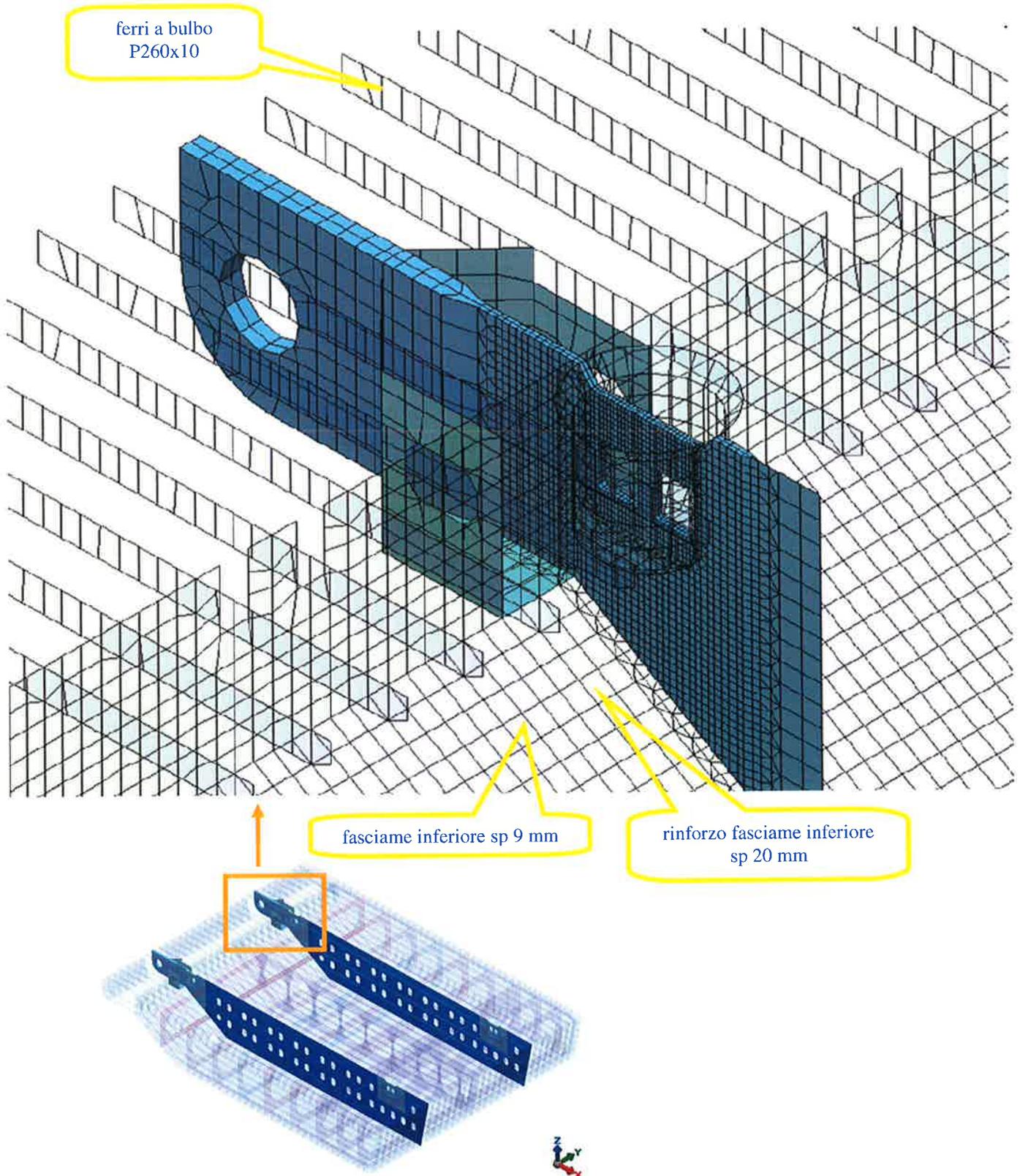


FIG. 5.13 – PARATIE LONGITUDINALI: DETTAGLIO ZONA RECESSI TWIST LOCK ANTERIORE



	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 64
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

FIG. 5.14 – FASCIAMI INTERNI: DETTAGLIO RINFORZI ZONA CERNIERE

5.7.4. Rinforzi ordinari – Piatti

I piatti di rinforzo dei diaframmi longitudinali e del diaframma verticale dell'ossatura 08 sono stati schematizzati con elementi piastra di altezza pari al piatto e spessore lordo 11 mm, pari a quello indicato sui disegni, ridotto di 2.0 mm quale sovra-spessore di corrosione.

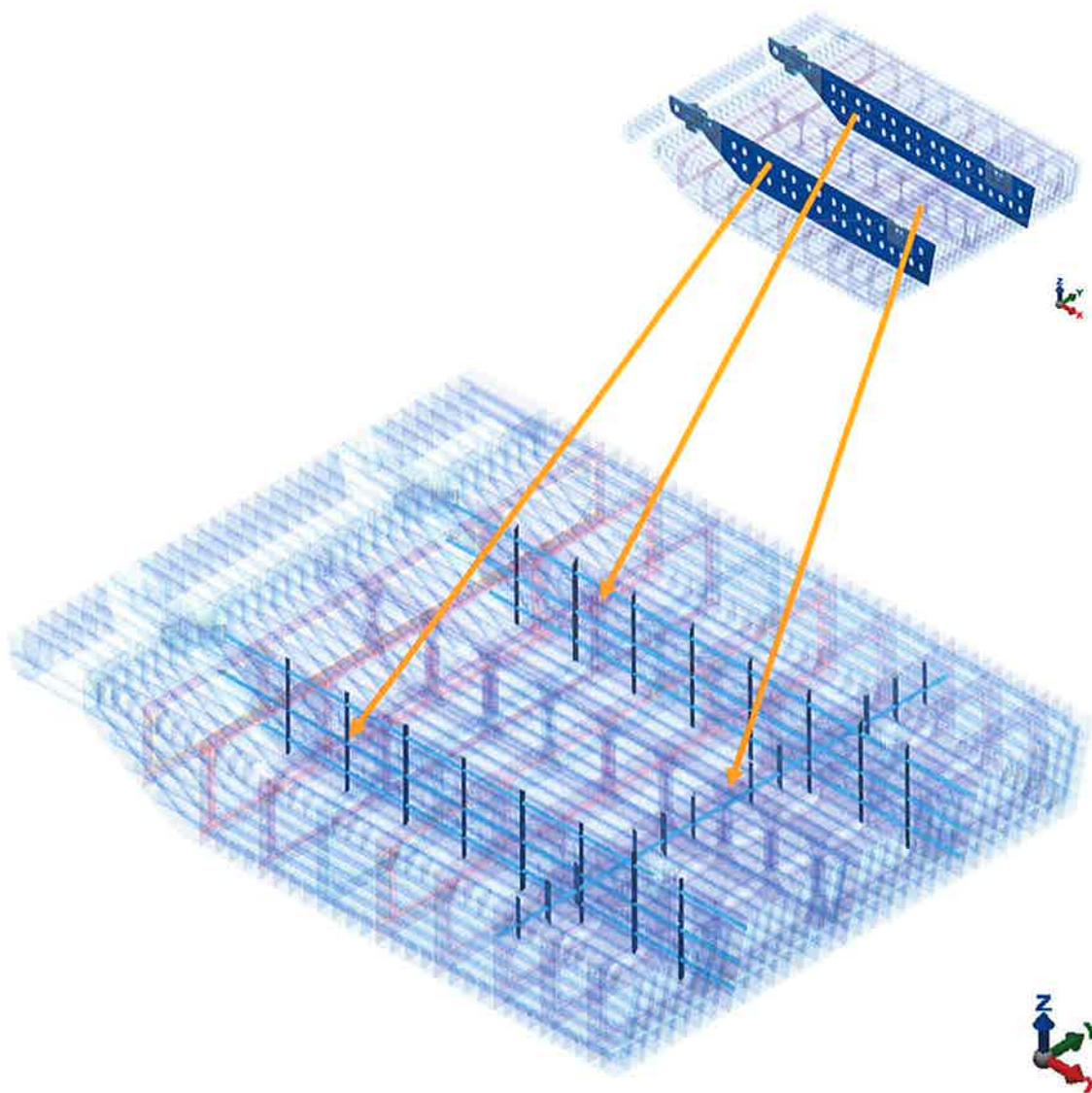


FIG. 5.15 – PIATTI DI RINFORZO SU PARATIE LONGITUDINALI E DIAFRAMMA OSS. 08

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 65
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

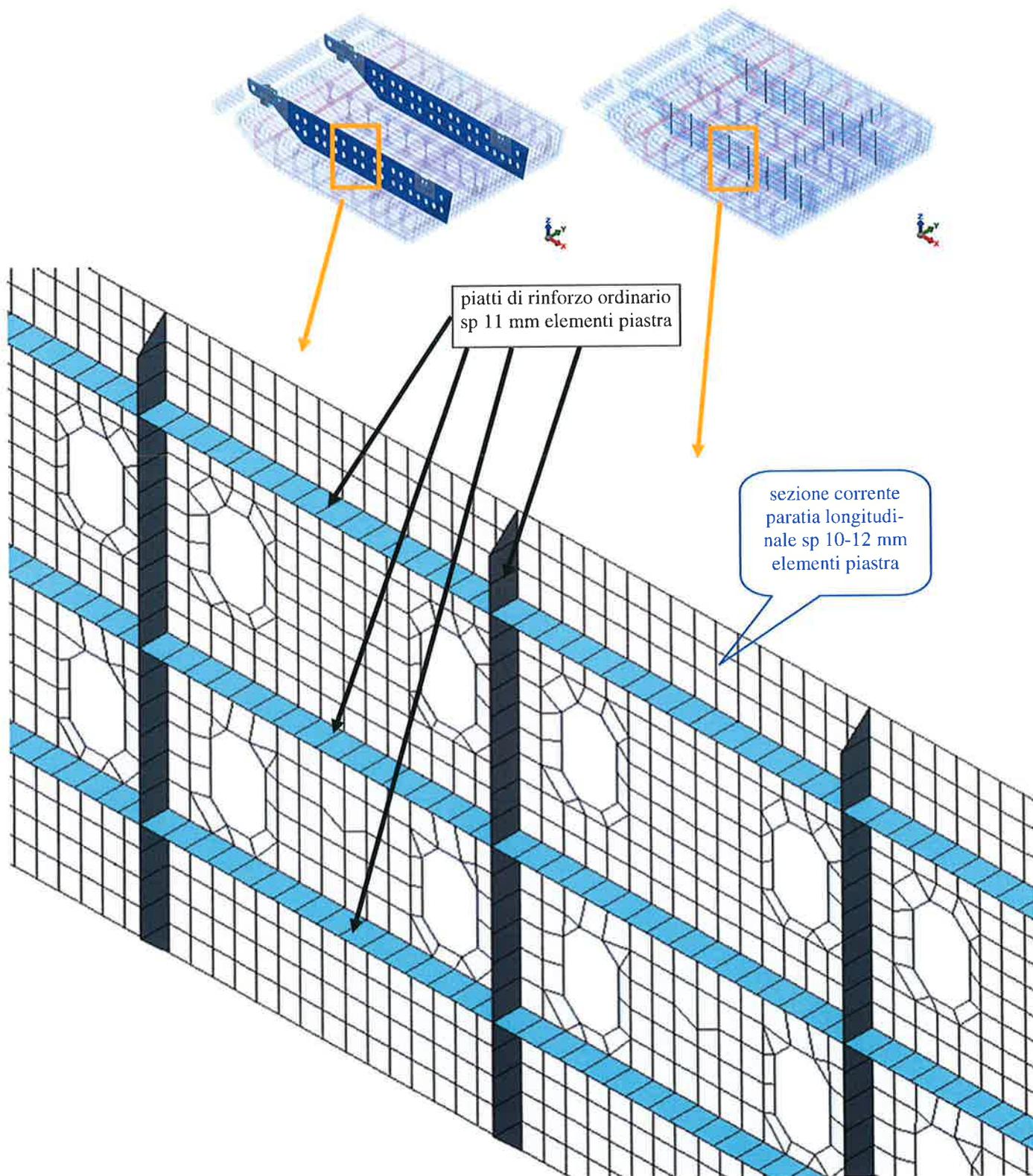


FIG. 5.16 – PIATTI DI RINFORZO: DETTAGLIO MESH SU PARATIE LONGITUDINALI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 66
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.5. Rinforzi ordinari – Ferri a bulbo

Le sezioni dei ferri a bulbo riportate sui disegni vengono trasformate, secondo un criterio di equivalenza R.I.Na., in angolari con spessori di anima e piattabanda ridotti di 2.0 mm quale sovra-spessore di corrosione.

L'angolare così ottenuto viene schematizzato attraverso un elemento piastra, simulante l'anima del ferro, ed un elemento trave, simulante il bulbo, attraverso la trasformazione riportata in figura.

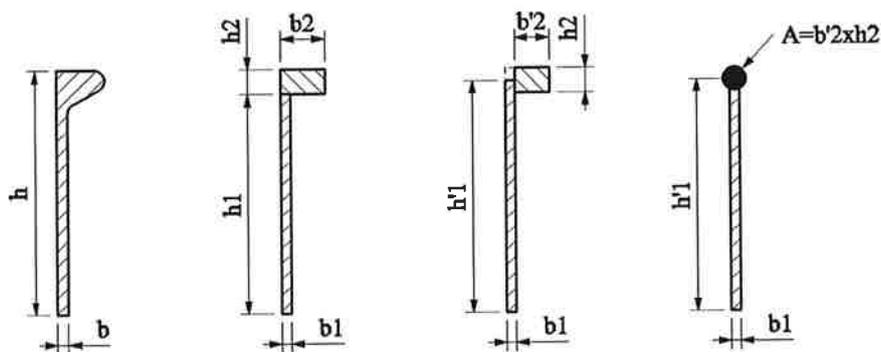


FIG. 5.17 – CONVERSIONE FERRI A BULBO

dove:

$h \times b$ = dimensioni bulbo.

Trasformazione secondo il metodo R.I.Na. (ref. Parte B, Capitolo 4, Sezione 3, Par. 3.2.1) con:

$$b1 = b - 2$$

$$h1 + h2 = h$$

Per avere il centro dell'elemento trave (ala del profilo) nella stessa posizione del suo baricentro reale, si esegue un'ulteriore trasformazione dell'angolare equivalente, aumentando l'altezza dell'anima e modificando la larghezza del bulbo in modo che l'area della sezione composta rimanga invariata. Tale ulteriore trasformazione permette una schematizzazione ad elementi finiti più simile alla realtà rispetto a quello che si otterrebbe considerando l'elemento trave in corrispondenza

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 67
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

del punto più alto (h1) dell'elemento plate costituente l'anima dell'angolare composto.

$$h'1 = h1 + \frac{h2}{2}$$

$$b'2 = b2 - \frac{b1}{2}$$

L'angolare così ottenuto viene schematizzato nel seguente modo:

- elemento piastra avente altezza pari ad h'1 e spessore b1;
- elemento trave con le caratteristiche geometriche di un rettangolo avente per lati b'2 e h2.

In Tab. 5.6 vengono riportati i dati dei ferri a bulbo considerati.

Bulbo	h1	b1	h2	b2	h'1	b'2
180x8	162.4	6.0	17.6	30.9	171.20	27.87
200x9	180.3	7.0	19.7	34.9	190.15	31.35
220x10	198.1	8.0	21.9	38.8	209.05	34.84
260x10	233.7	8.0	26.3	44.8	246.85	40.81
280x11	251.6	9.0	28.4	48.8	265.80	44.29

TAB. 5.6 – CONVERSIONE BULBI

I ferri a bulbo sono:

- P180x8 sui fasciami dall'ossatura 0 alla 3 circa, con la sola esclusione del fasciame superiore, che è rinforzato nella zona tra l'ossatura 0 e l'ossatura 2 circa con ferri P260x10, come indicato in figura;
- P200x9 sui fasciami dall'ossatura 3 circa all'ossatura 5 circa;
- P220x10 sui fasciami dall'ossatura 5 circa all'ossatura 11;
- P280x11 sul fasciame anteriore.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 68
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Bulbo	Densità equiv. spessore lordo (kg/m ³)
180x8	9030.11
200x9	8936.92
220x10	9137.97
260x10	9089.70
280x11	9143.62

TAB. 5.7 - BULBI – DENSITÀ EQUIVALENTI A SPESSORE LORDO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 69
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

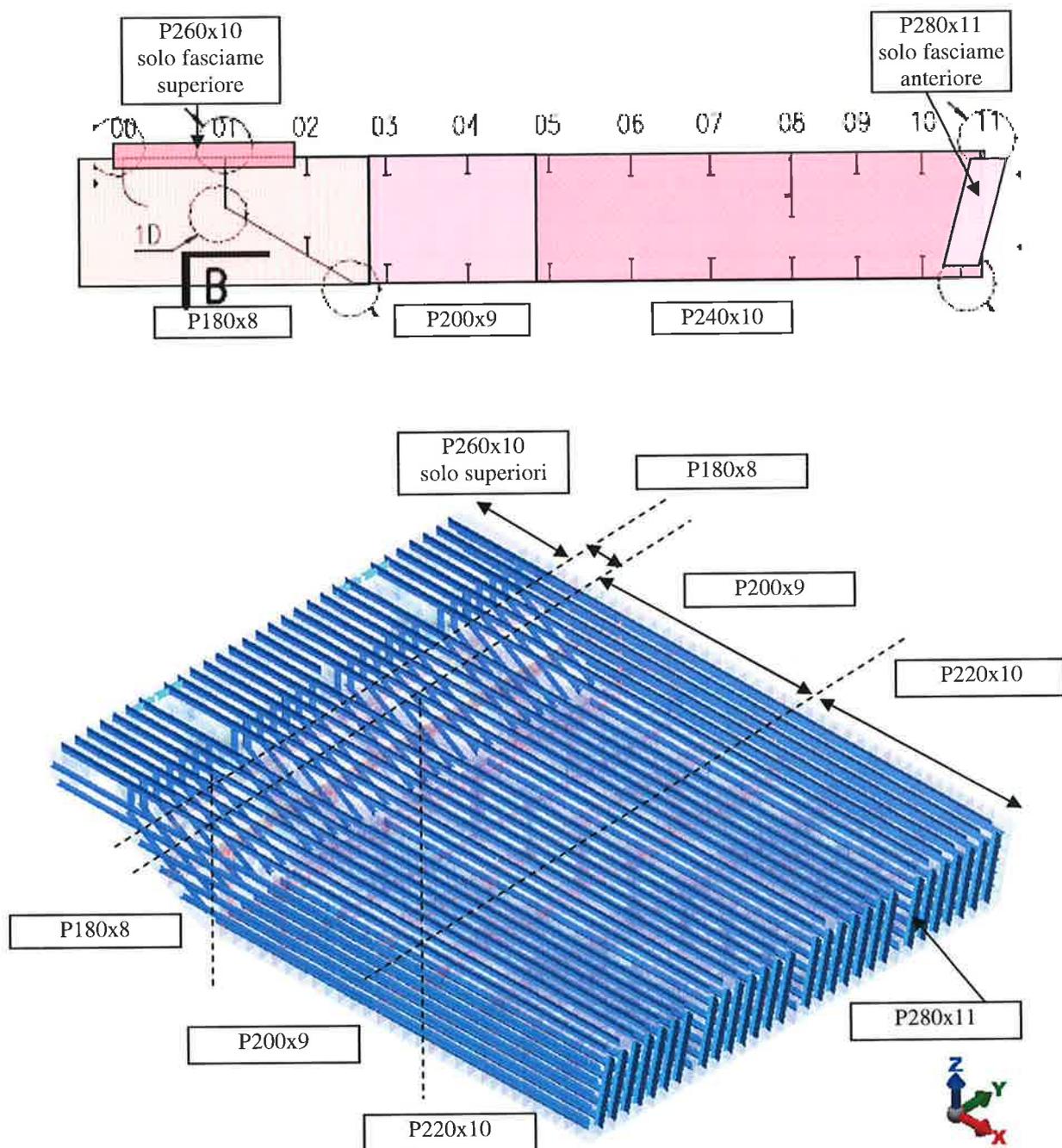


FIG. 5.18 – FERRI A BULBO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 70
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

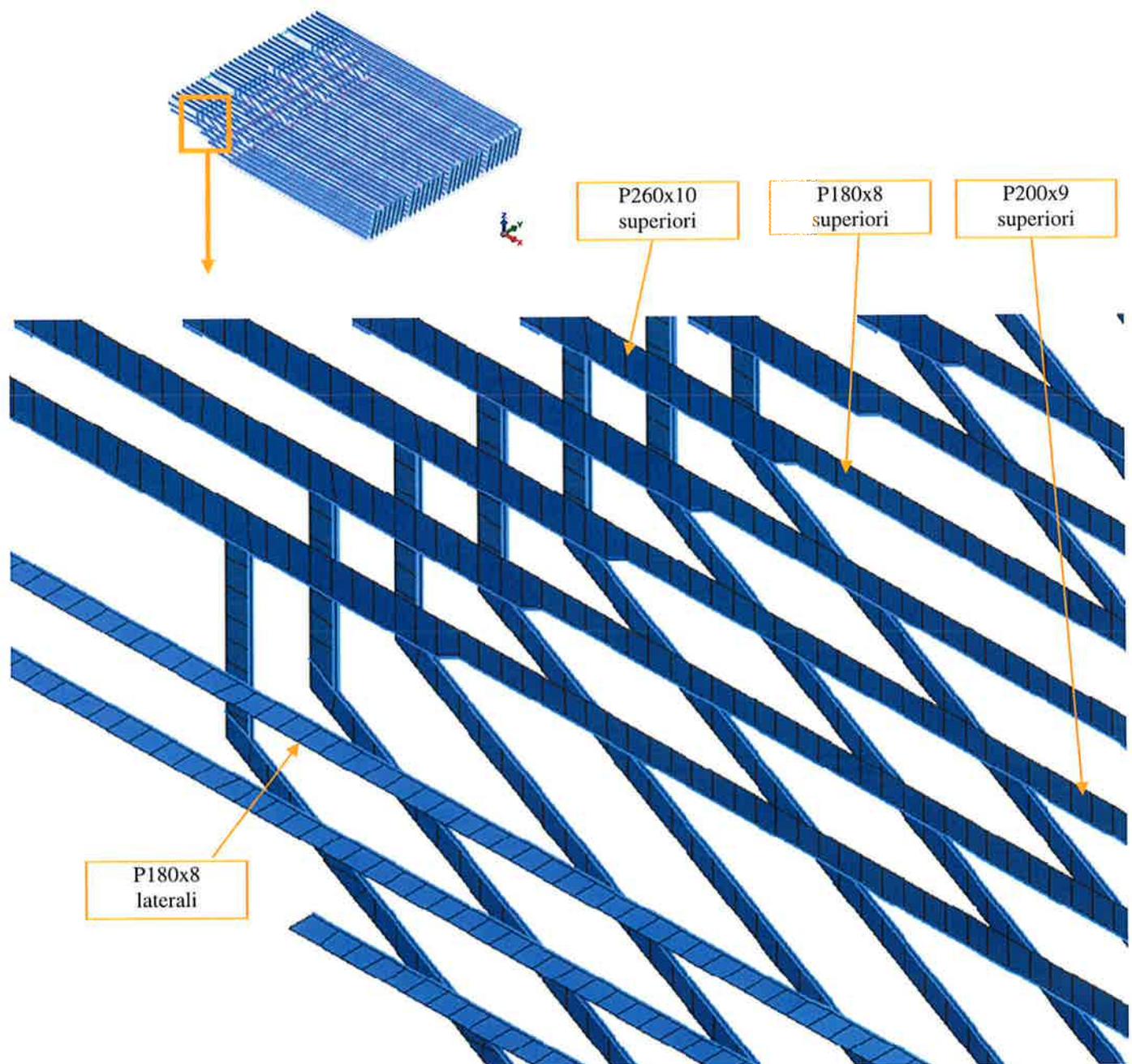
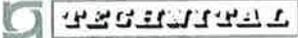


FIG. 5.19 – FERRI A BULBO: DETTAGLIO MESH (ZONA POSTERIORE ALTA)

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 71
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.6. Telai rinforzati

Le anime delle travi rinforzate vengono schematizzate con elementi piastra, in numero di almeno tre sull'altezza.

Le piattabande delle travi rinforzate vengono schematizzate come travi.

Per tener conto dei sovra-spessori di corrosione gli spessori delle anime e delle piattabande delle travi rinforzate, usati nelle verifiche, sono quelli a disegno diminuiti di 2.0 mm.

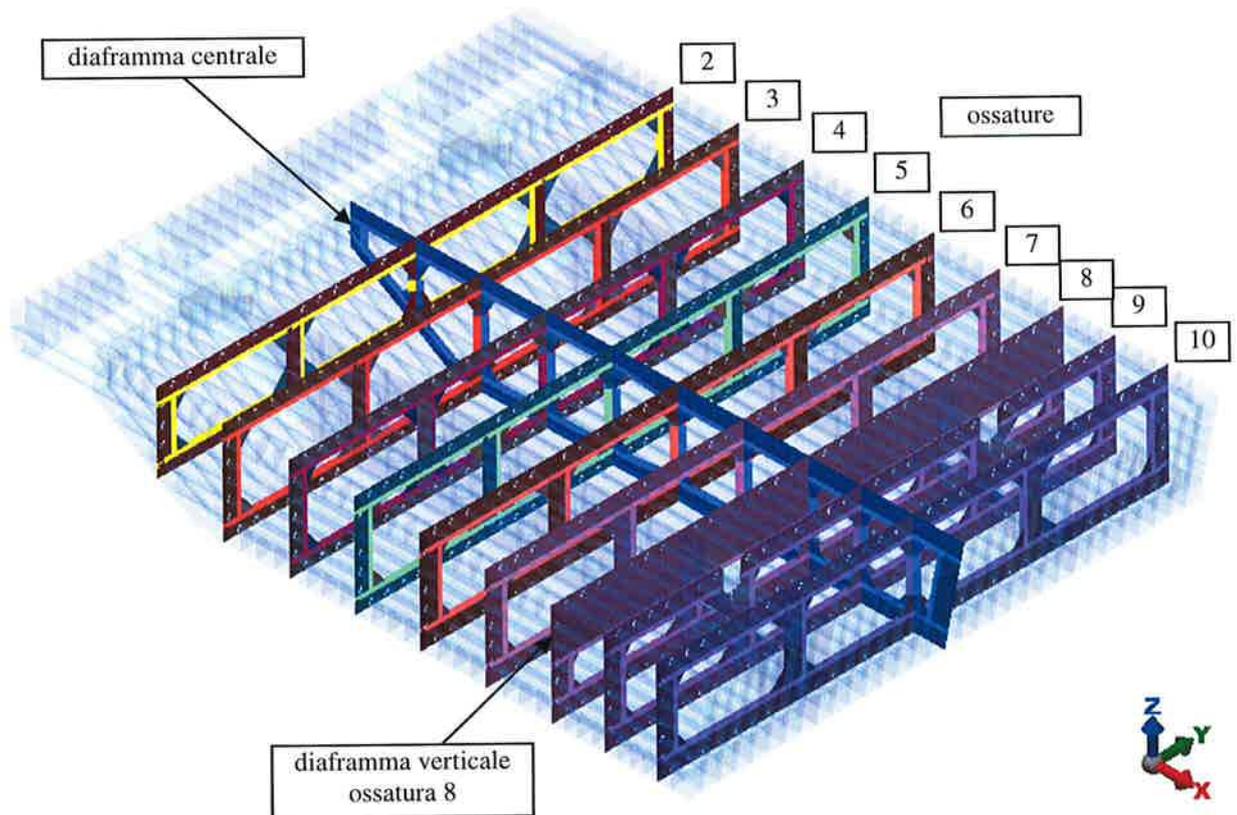


FIG. 5.20 – TELAI RINFORZATI

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 72
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

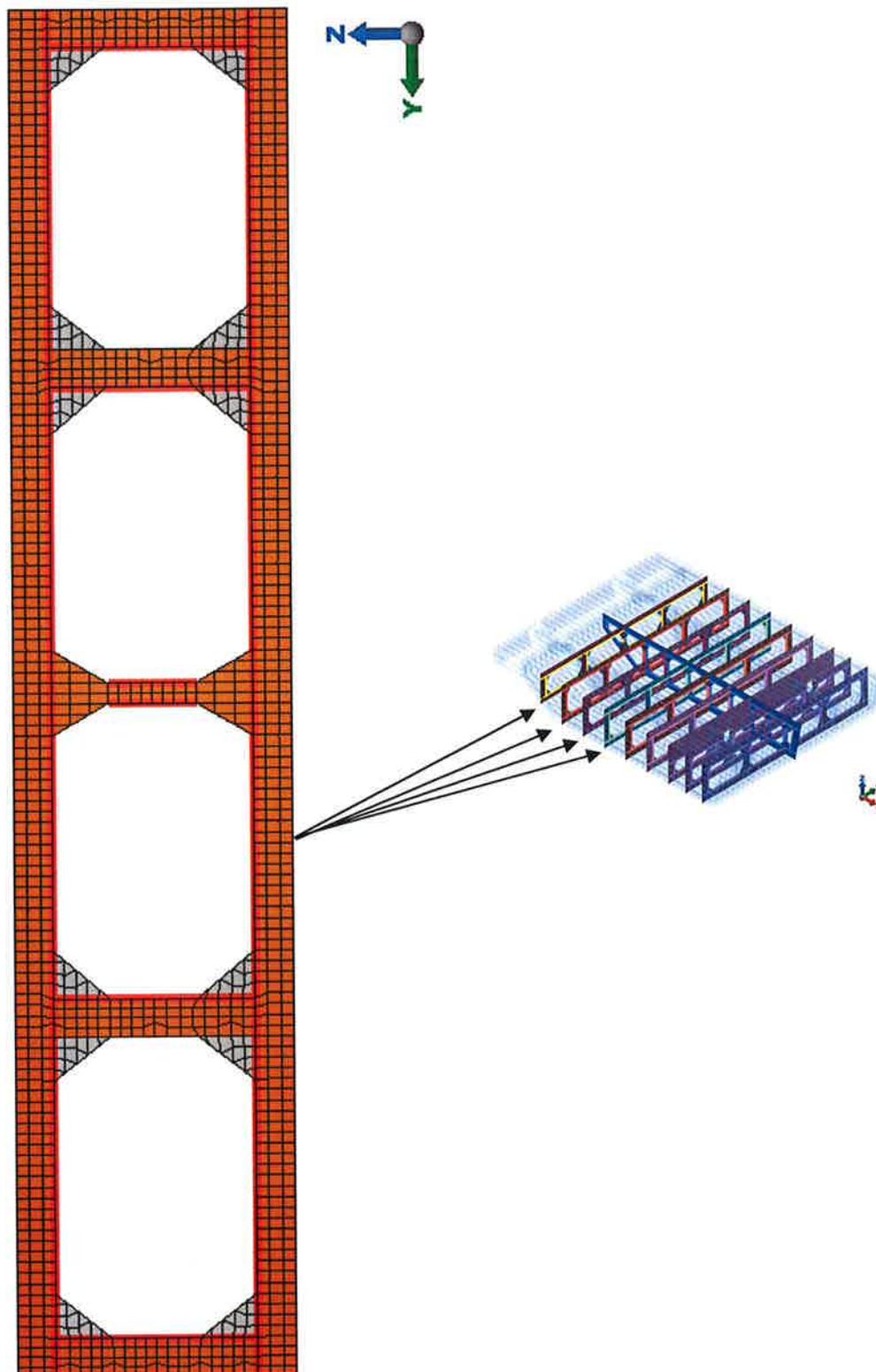


FIG. 5.21 – TELAI RINFORZATI 2, 3, 4, 5: ALTEZZA ANIME 550 MM

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 73
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

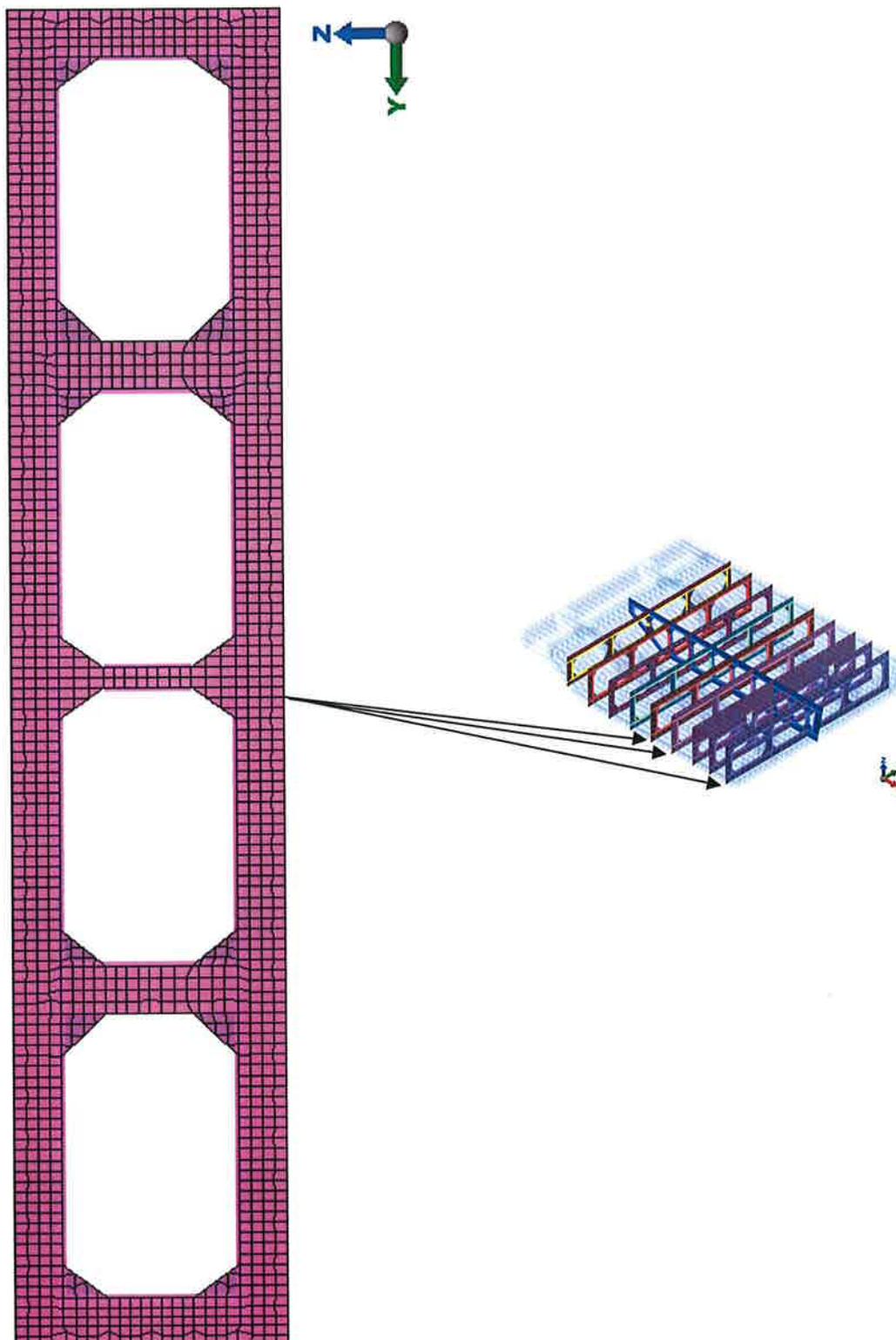
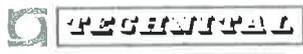


FIG. 5.22 – TELAI RINFORZATI 6, 7, 10: ALTEZZA ANIME 700 MM

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 74
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

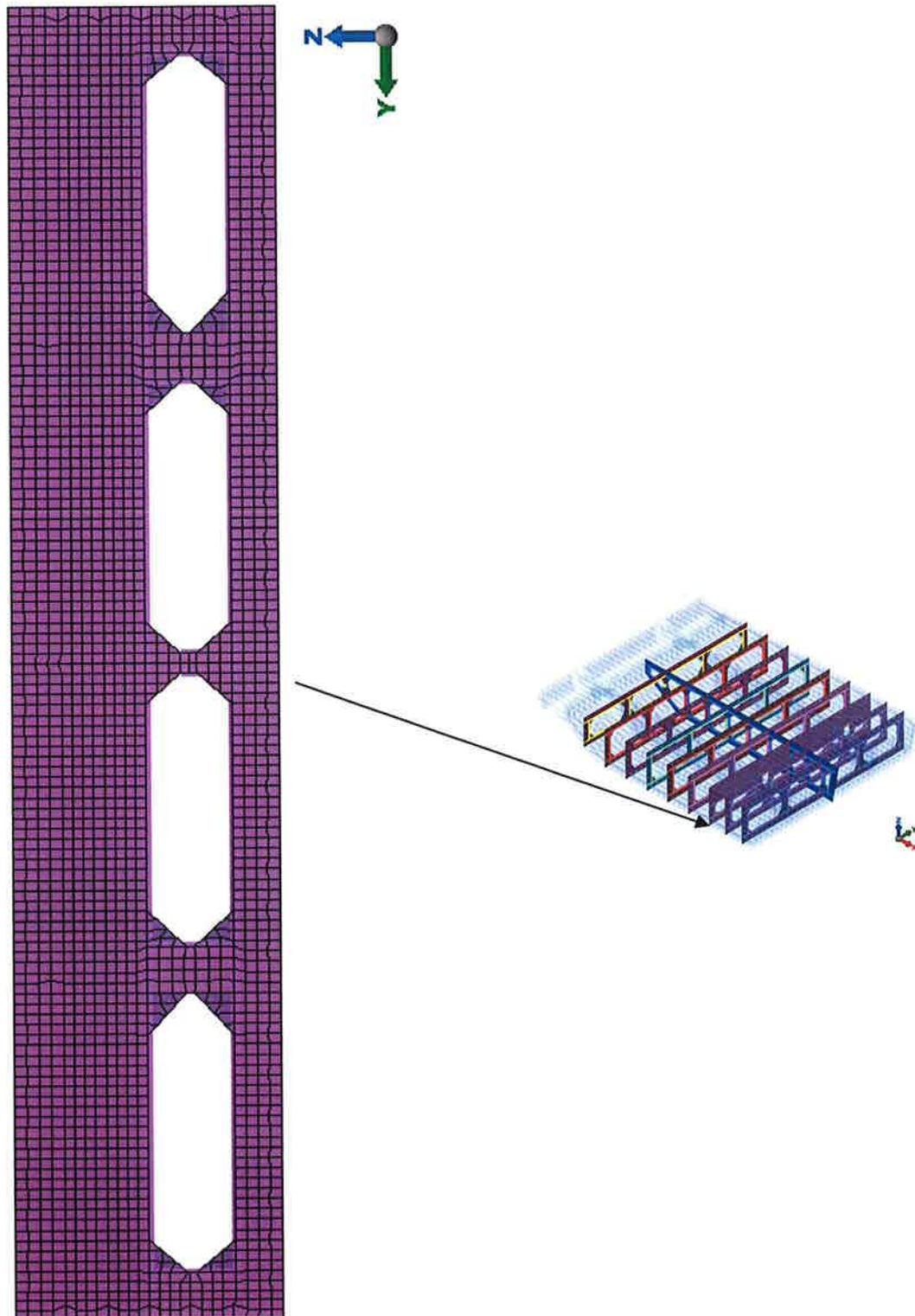


FIG. 5.23 – TELAIO RINFORZATO 8: DIAFRAMMA VERTICALE

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 75
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

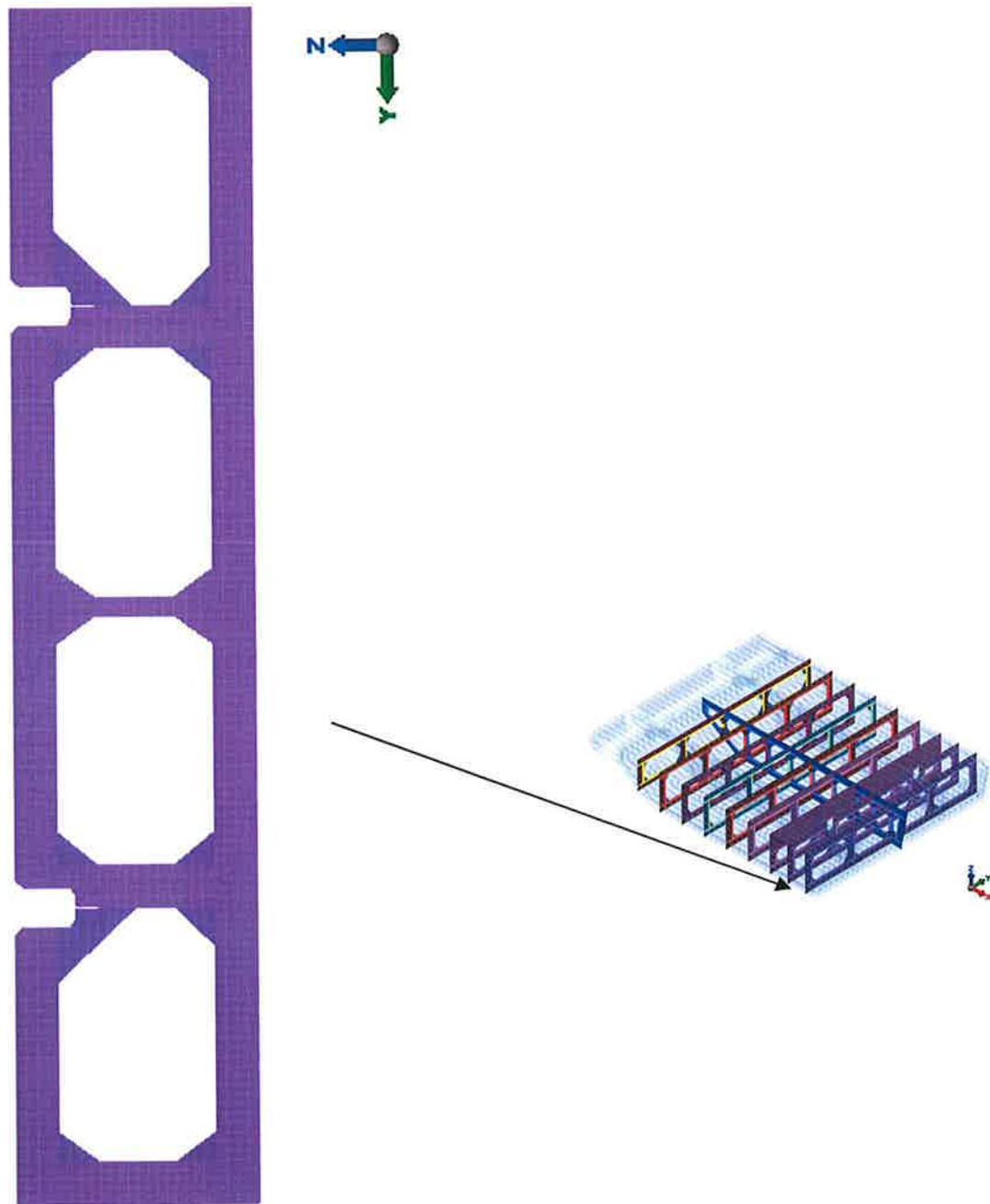


FIG. 5.24 – TELAIO RINFORZATO 9: DIAFRAMMA VERTICALE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 76
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

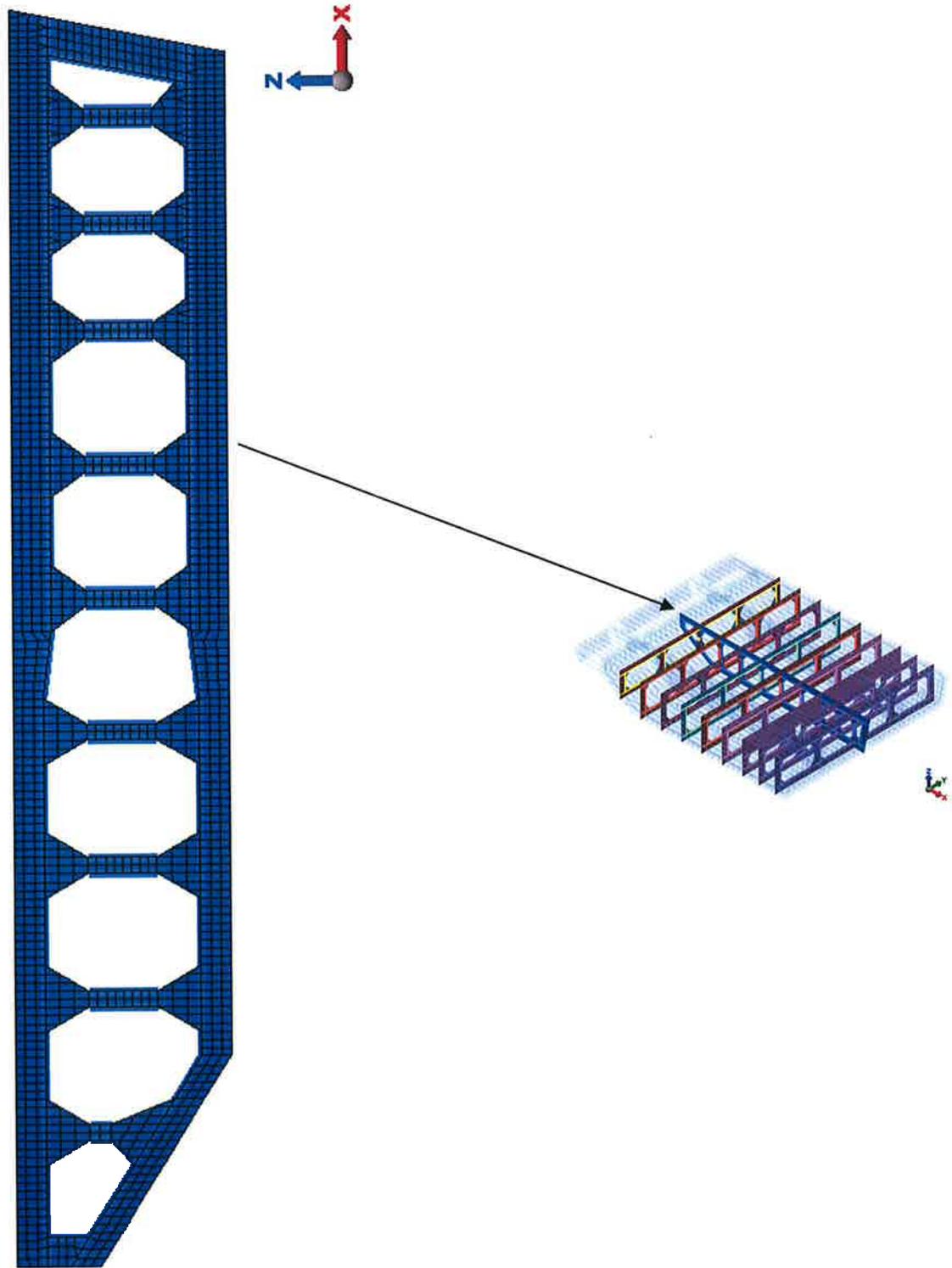


FIG. 5.25 – TELAI RINFORZATI: DIAFRAMMA CENTRALE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 77
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.7. Squadre

Le squadre sono state schematizzate con elementi piastra aventi spessore lordo pari a 10 mm, quello indicato sui disegni, deducendo 2.0 mm quale sovra-spessore di corrosione.

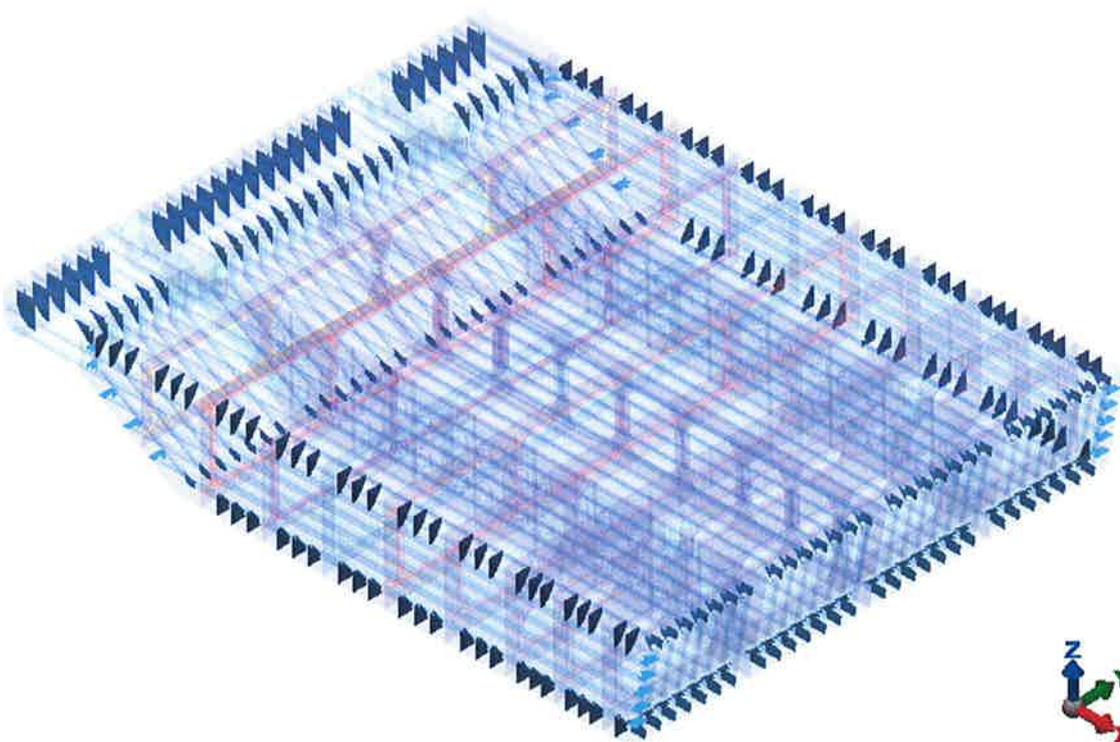
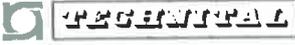


FIG. 5.26 – SQUADRE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 78
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

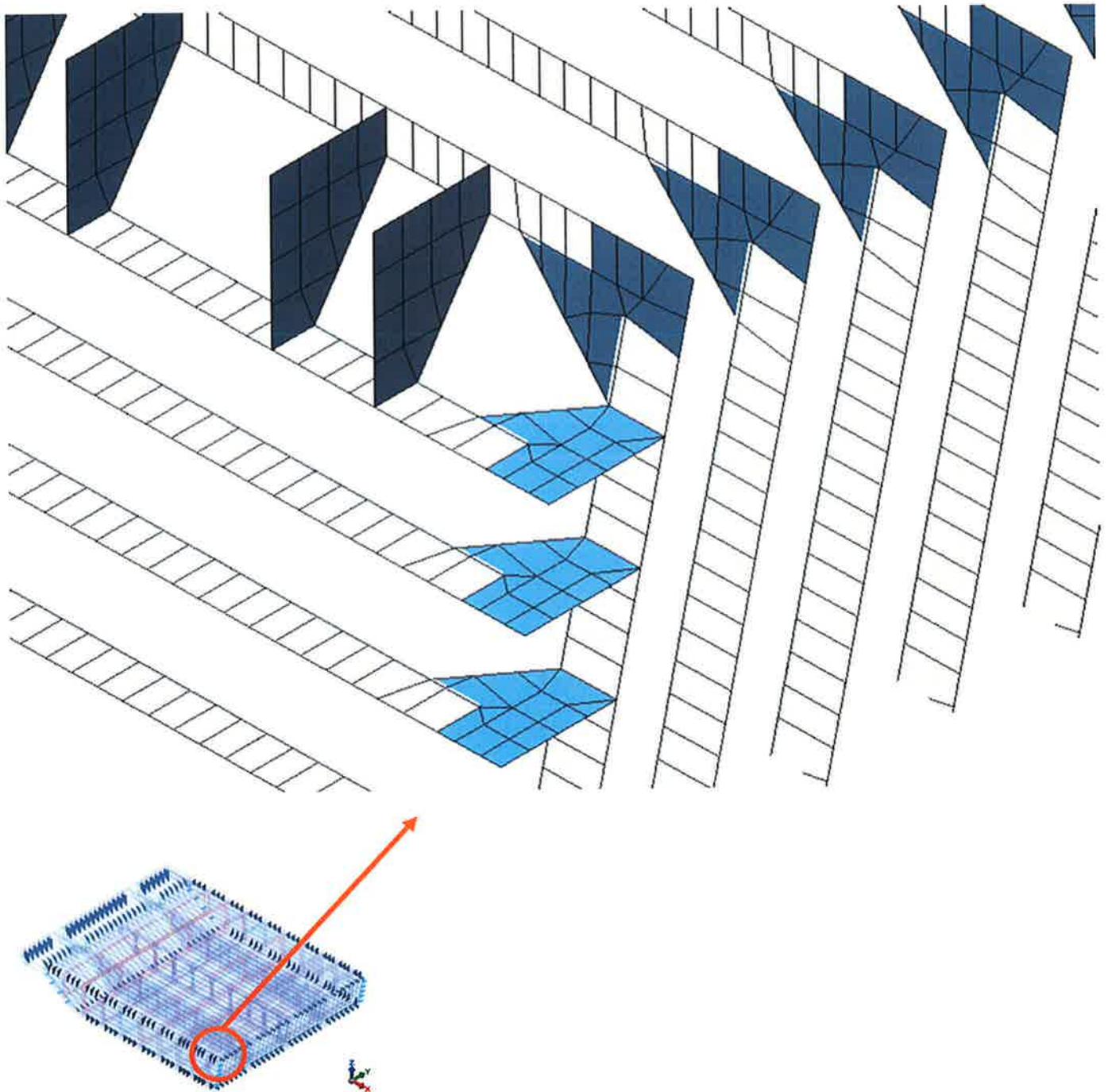
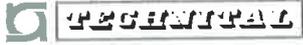


FIG. 5.27 – SQUADRE: DETTAGLIO MESH (ZONA ANTERIORE ALTA)

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 79
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.8. Piatti di rinforzo

I piatti di rinforzo dei fori dei diaframmi longitudinali sono stati schematizzati con elementi trave aventi la stessa larghezza del piatto indicato sul disegno, spessore lordo 11 mm, ridotto di 2.0 mm per tener conto dei sovra-spessori di corrosione.

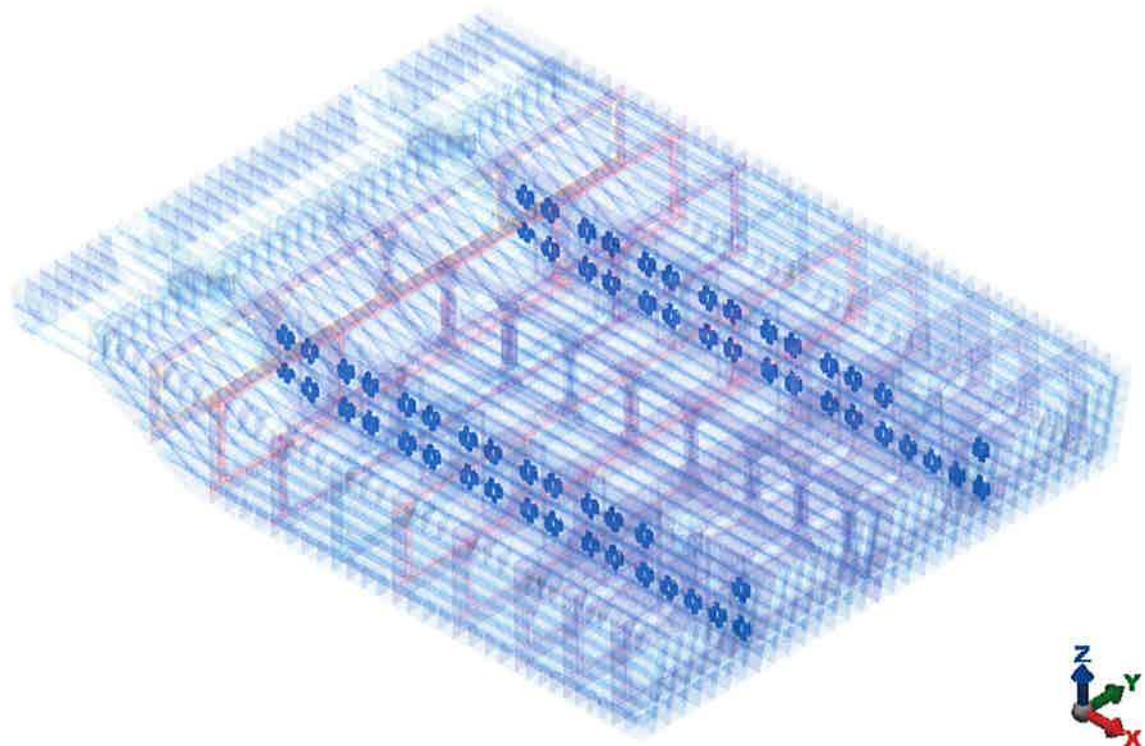
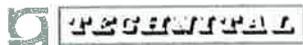


FIG. 5.28 – PIATTI RINFORZO FORI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 80
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

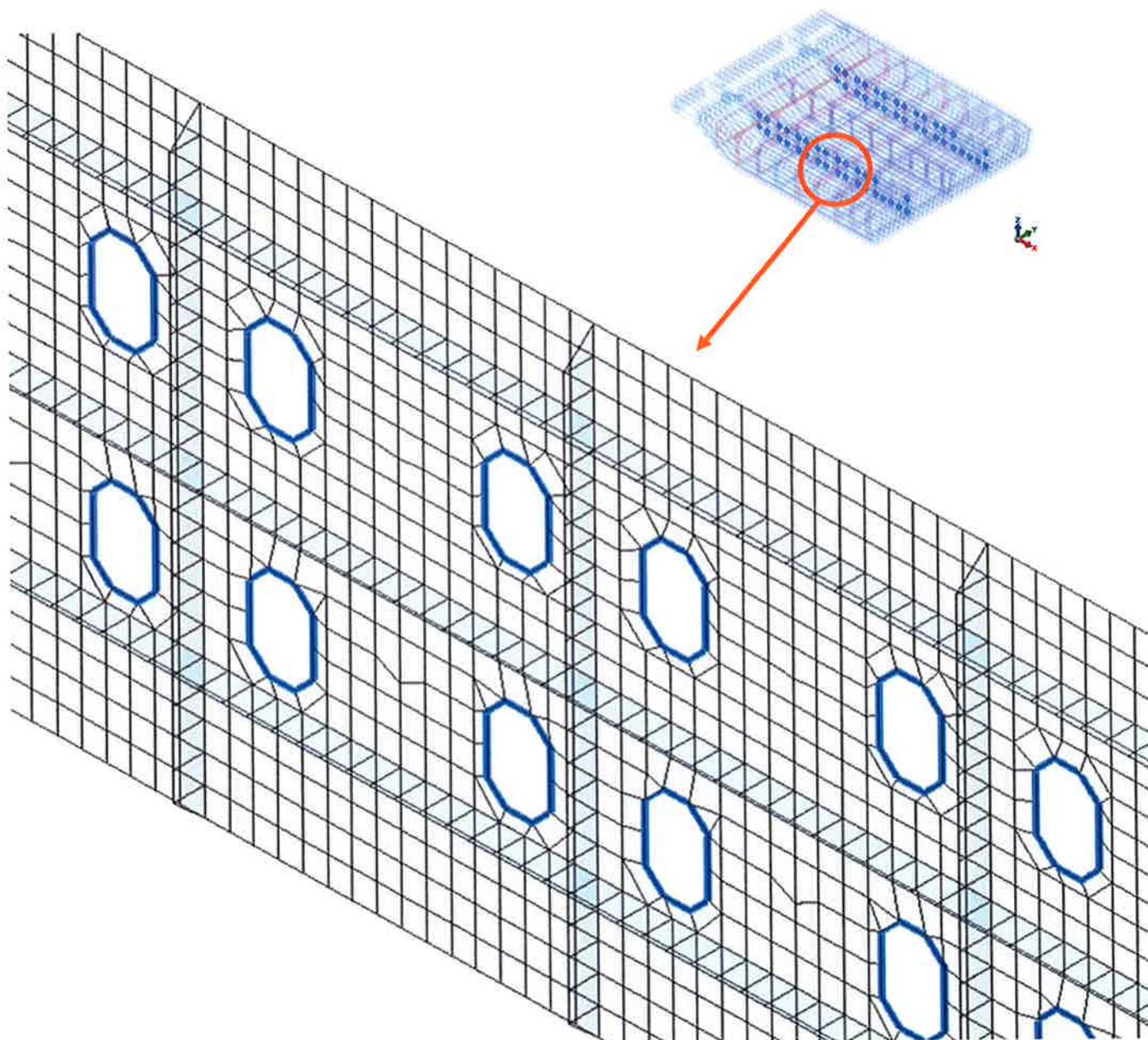
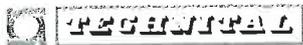


FIG. 5.29 – PIATTI RINFORZO FORI: DETTAGLI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 81
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.9. Supporti ammortizzatori

I telai che supportano gli ammortizzatori sono stati schematizzati con elementi piastra aventi spessore lordo 10 mm o 20 mm, pari a quello indicato sui disegni, ridotto di 1.0 mm quale sovra-spessore di corrosione.

Le piattabande di irrigidimento delle squadre dei supporti degli ammortizzatori sono state schematizzate con elementi trave aventi la stessa larghezza del piatto indicato sul disegno e spessore lordo 10 mm, ridotto di 1.0 mm per tener conto dei sovra-spessori di corrosione.

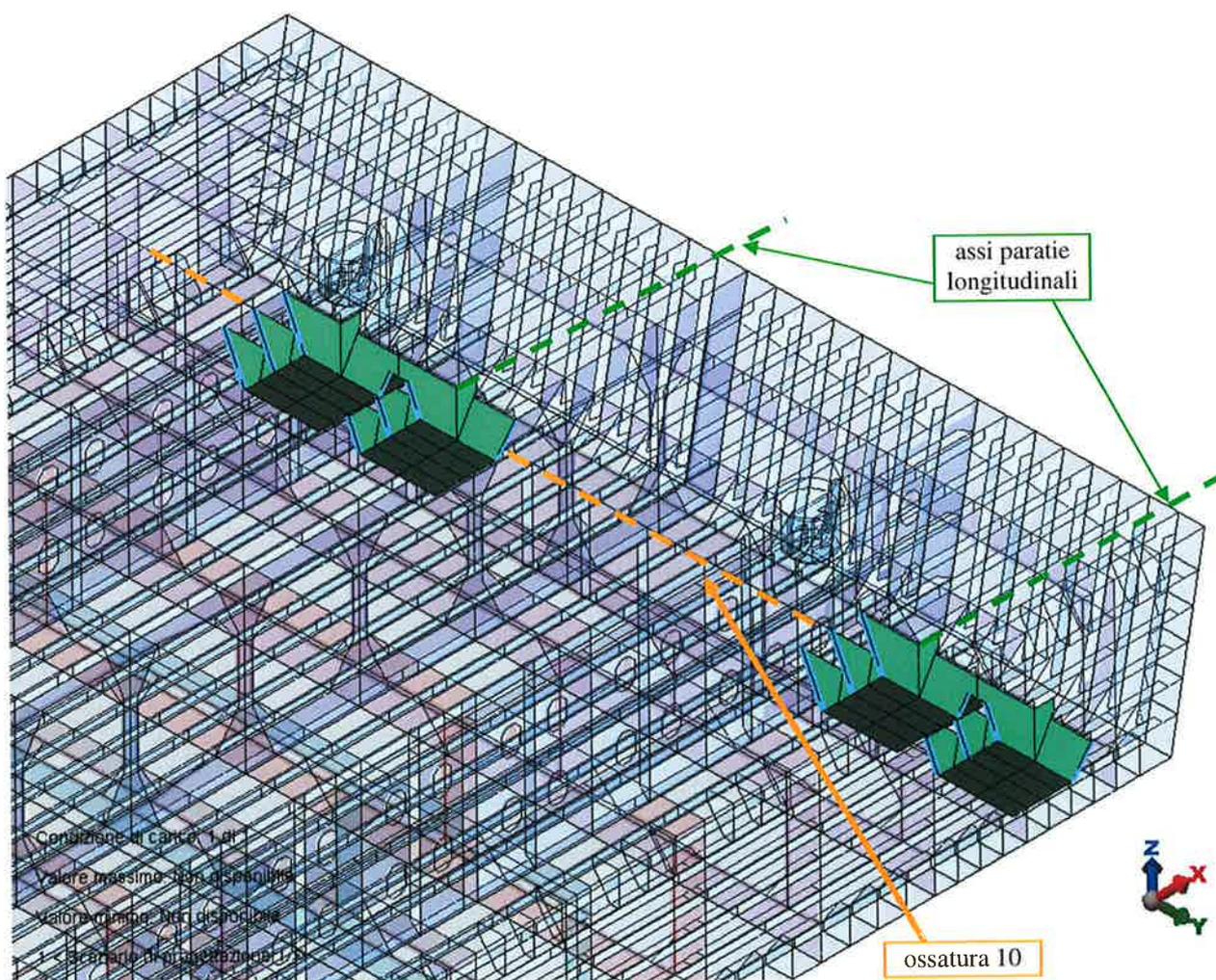


FIG. 5.30 - SUPPORTI AMMORTIZZATORI

 PROGETTA	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 82
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

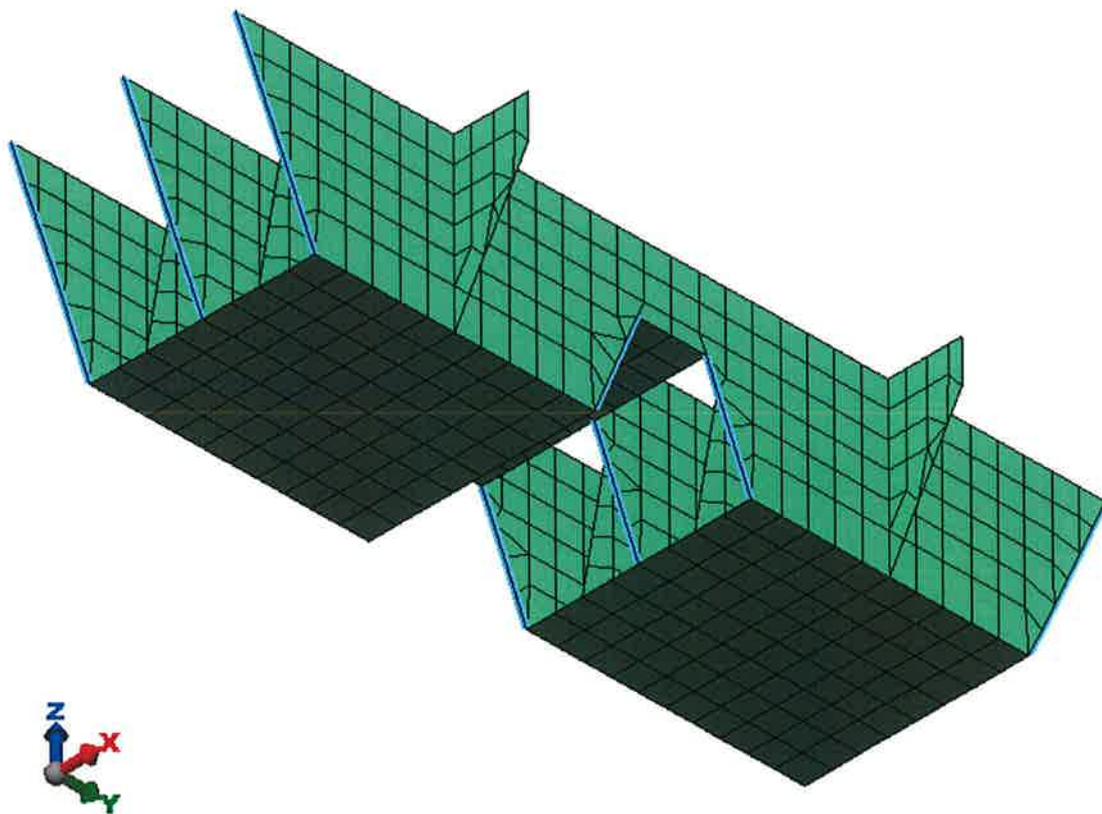


FIG. 5.31 - SUPPORTI AMMORTIZZATORI: DETTAGLI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 83
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

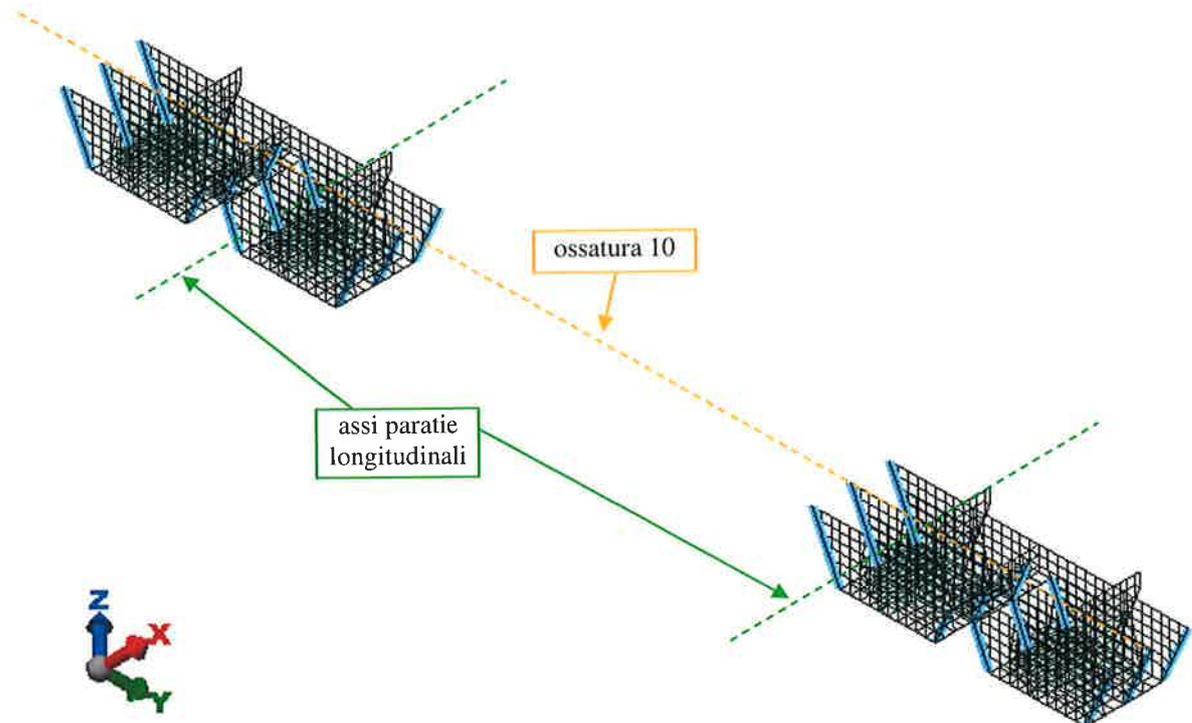


FIG. 5.32 - PIATTABANDE RINFORZO SQUADRE

I supporti ammortizzatori non sono modellati solo nella relazione MV082P-PE-NAR-2009 (urto natante), dove vengono introdotti come carichi localizzati nelle zone di competenza, in quanto non interessati da reazioni vincolari.

Non erano modellati nelle relazioni MV082P-PE-NAR-2002, 2003, 2004, 2005 (condizioni di esercizio operative), mentre lo sono nelle corrispondenti condizioni riportate in MV082P-PE-NAR-2019 relative alla paratoia con modifiche al fasciame posteriore.

Erano modellati parzialmente nella relazione MV082P-PE-NAR-2007 (sollevamento, trasporto e appoggio a terra), mentre lo sono per intero nella relazione integrativa MV082P-PE-NAR-2020, in cui essi sono utilizzati come punti di appoggio in schemi aggiuntivi di supportazione.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 84
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.7.10. Vincoli

Nel modello relativo alle verifiche in condizioni di esercizio operative e in condizioni di urto accidentale, per vincolare il modello, è stato schematizzato, in corrispondenza delle cerniere, un elemento tridimensionale simulante il perno. Questo elemento è stato vincolato alle estremità dell'asse alle traslazioni in X e Z. Inoltre il perno di una sola cerniera è stato bloccato anche alle traslazioni in Y.

Poiché il modello così vincolato risulta labile alle rotazioni intorno ad Y (tutti i vincoli sono lungo un asse), viene aggiunto un vincolo fittizio alla traslazione Z all'estremità anteriore del fondo della paratoia in corrispondenza del diaframma centrale. Questo vincolo, essendo i carichi equilibrati, ha una reazione circa nulla.

Si è poi valutata la reazione vincolare all'estremità anteriore per verificare che sia trascurabile ai fini del calcolo.

Nel modello per la verifica delle condizioni di esercizio a riposo, il vincolo fittizio anteriore in Z non è necessario, perché la paratoia appoggia sugli ammortizzatori ed è quindi in equilibrio stabile. Sono stati pertanto modellati i supporti degli ammortizzatori e, al loro intradosso, sono stati disposti vincoli alla traslazione Z (che risultano sempre compressi) nei nodi in corrispondenza degli attacchi degli ammortizzatori.

Con lo stesso modello si sono analizzate le condizioni di abbattimento della paratoia.

Per il modello relativo alle condizioni di sollevamento trasporto e appoggio a terra si veda la relazione integrativa MV082P-PE-NAR-2020.

 VEGENTRAL	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 85
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

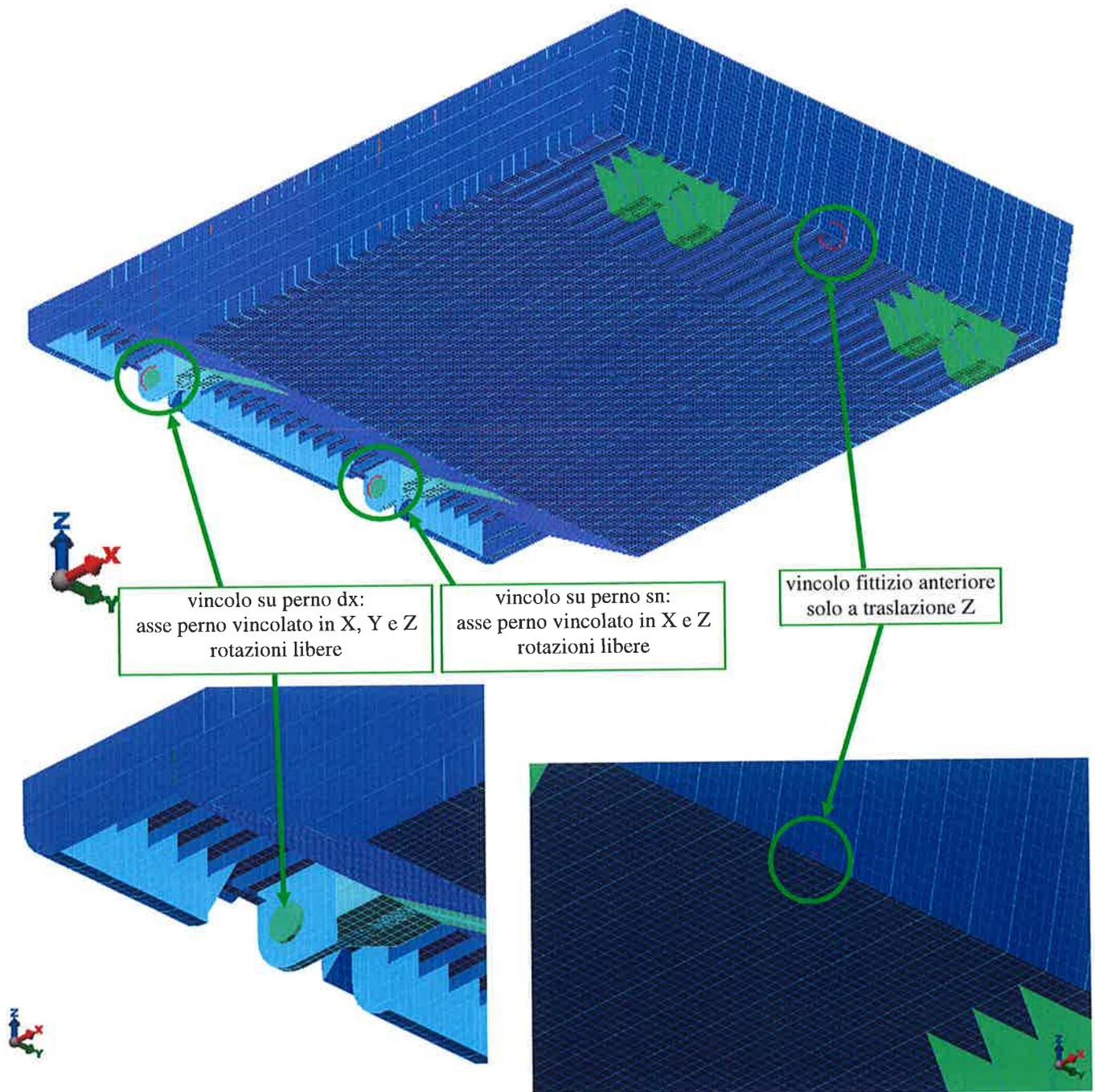


FIG. 5.33 – VINCOLI PARATOIA NELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO E DI URTO ACCIDENTALE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 86
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.8. Tabella riepilogativa dei carichi applicati e delle condizioni di verifica e di vincolo

Si aggiunge qui una tabella riepilogativa di tutti i casi analizzati, tenendo conto anche delle note integrative relative alle verifiche sulla paratoia con il fasciame posteriore modificato e alle condizioni di carico aggiunte.



Rev.

Data:

El.

MV082P-PE-NAR-2018-C0

Rev.: C0

Data: 28/03/2013

NOTE INTEGRATIVE
SULLE RELAZIONI DI CALCOLO

Pag. n. 87

CONDIZIONI DI CARICO	DESCRIZIONE	ref. doc.	CONDIZIONE DI VERIFICA	coeff di sicurezza h	Vincoli
OPERATIVE	Manovre normali				
	Condizione E.1a	MV082P-PE-NAR-2004 e 2019	carico combinato	1,25	
	Condizione E.1b	MV082P-PE-NAR-2002 e 2019	operativa	1,55	
	Condizione E.1c	MV082P-PE-NAR-2003 e 2019	carico combinato	1,25	Paratoia all'angolo di lavoro, vincolata ai connettori e a due vincoli fittizi (al solo scopo di eliminare la labilità e privi di reazioni significative)
	Condizione E.6b	MV082P-PE-NAR-2019	carico combinato	1,25	
	Condizione E.6c	MV082P-PE-NAR-2019	carico combinato	1,25	
CONDIZIONI DI ESERCIZIO	Errori di manovra				
	Condizione E.4	MV082P-PE-NAR-2005 e 2019	pressatura	1,33	
A RIPOSO	Paratoia a riposo				
	Condizione E.5	MV082P-PE-NAR-2006	operativa	1,55	Paratoia vincolata ai connettori e appoggiata sugli ammortizzatori



Rev.

Data:

El.

MV082P-PE-NAR-2018-C0

Pag. n. 88

Rev.: C0

Data: 28/03/2013

NOTE INTEGRATIVE
SULLE RELAZIONI DI CALCOLO

CONDIZIONI DI CARICO	DESCRIZIONE	ref. doc.	CONDIZIONE DI VERIFICA	coeff di sicurezza h	Vincoli
CONDIZIONI TEMPORANEE	Sollevamento a mezzo telaio pescatore jack-up				
	Condizione T.1.a (sollevamento bagnata)	MV082P-PE-NAR-2007 e 2020	carico combinato	1,25	Paratoia sospesa ai 4 punti di aggancio
	Condizione T1.b (sollevamento asciutta)	MV082P-PE-NAR-2020	base	1,55	Paratoia sospesa ai 4 punti di aggancio
	Condizioni T.2 (sollevamento e trasporto) 18 casi di carico	MV082P-PE-NAR-2007 e 2020	carico combinato	1,25	
CONDIZIONI TEMPORANEE	Appoggio su 4 punti a terra o su carrelloni				
	Condizioni T.3 3 casi di carico per 2 schemi di appoggio	MV082P-PE-NAR-2007 e 2020	operativa	1,55	Paratoia su 4 appoggi fissi
	Condizioni T.4 2 schemi di appoggio	MV082P-PE-NAR-2020	operativa	1,55	Paratoia su 3 appoggi fissi e 1 con cedimento
	Condizioni T.5 3 casi di carico per schema principale	MV082P-PE-NAR-2020	operativa	1,55	Paratoia su 4 appoggi fissi
	Condizioni T.6 2 casi di carico per schema principale	MV082P-PE-NAR-2020	operativa	1,55	Paratoia su 4 appoggi fissi
	Condizioni T.7 1 caso di carico per 2 schemi aggiuntivi	MV082P-PE-NAR-2020	operativa	1,55	Paratoia su 4 appoggi fissi
		Paratoia a terra su 4 taccate, soggetta a peso proprio e allestimenti, maschi connettori, fouling			

	Rev.	Data:	EI.	MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 89
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO		

CONDIZIONI DI CARICO	DESCRIZIONE	ref. doc.	CONDIZIONE DI VERIFICA	coeff di sicurezza h	Vincoli
CONDIZIONI TEMPORANEE	Ritorno a riposo della paratoia (Affondamento)				Paratoia vincolata ai connettori e a due vincoli fittizi (al solo scopo di eliminare la labilità e privi di reazioni significative)
	C. Carico 1	Analisi del moto della paratoia nella fase di abbattimento e analisi della paratoia soggetta alle azioni inerziali di massa paratoia, massa acqua all'interno e massa trascinata nel moto (massa aggiunta), con: Velocità Massima Rotazione $V_{MAX} = 3,25 \text{ deg/s}$	MV082P-PE-NAR-2011	1,25	Paratoia vincolata ai connettori e appoggiata agli ammortizzatori
	C. Carico 2	Accelerazione per Impatto effettivo $A_{IMP} = 3,76 \text{ deg/s}^2$	MV082P-PE-NAR-2012		
	C. Carico 3	Accel. per Impatto con Energia Max. $A_{MAX} = 14,06 \text{ deg/s}^2$			
CONDIZIONI ACCIDENTALI	Urto accidentale da natanti 100 t.s.l. 8 casi di carico				Paratoia vincolata ai connettori e a due vincoli fittizi (al solo scopo di eliminare la labilità e privi di reazioni significative)

TAB. 5.8 - SINTESI DELLE CONDIZIONI DI CARICO, CON I RELATIVI COEFFICIENTI DI SICUREZZA E CONDIZIONI DI VINCOLO

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 90
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.9. Verifiche tensionali

Per facilitare la lettura dei risultati riportati nelle singole relazioni, la tabella sottostante riporta le caratteristiche degli elementi strutturali per tipo indicando per ognuno le tensioni di confronto.

Si può notare che valori di confronto ridotti si hanno solo per i fasciami interni di acciaio S355 (spessori 60 mm e 180 mm sulle paratie longitudinali) e localmente per quelli esterni S275 (zona posteriore in corrispondenza delle pinne) e per alcune lamiere dei supporti ammortizzatori, di spessore 20 mm.

In tutte le relazioni dalla tabella (o tabelle) che raccoglie le massime sollecitazioni per ogni tipo di elemento si può verificare che tali sollecitazioni risultano in generale non superiori a quelle ammissibili dichiarate nel capitolo materiali di ogni relazione, tenuto conto delle caratteristiche dell'elemento (tipo di acciaio e spessore). In casi particolari si accettano localmente sovra-tensioni, in ragione della limitatezza dell'area e della particolare condizione di carico che la determina (in ogni caso mai per le combinazioni di carico base).

Le immagini a corredo delle relazioni permettono di individuare le zone di maggior sollecitazione e i componenti coinvolti.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 91
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Funzione	posizione/elemento	spessore nominale (mm)	riduzione per corrosione (mm)	materiale	σ_{amm} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
					h = 1,55	h = 1,33	h = 1,25
Fasciami esterni	superiore	9-12	1,5	S275	174	203	216
	inferiore	9-12	1,5	S275	174	203	216
	laterale	9-12	1,5	S275	174	203	216
	posteriore	9-12	1,5	S275	174	203	216
	anteriore	9-12	1,5	S275	174	203	216
	ossatura 01	9-12	1,5	S275	174	203	216
	inferiore sotto pinna	20	1,5	S275	168	195	208
Fasciami interni (paratie longitudinali)	tipici (15 mm solo per irrigidimenti pinne)	10-12-15	2	S275	174	203	216
	irrigidimenti pinne	20	2	S275	168	195	208
	zone recessi twist lock	30	2	S275	168	195	208
	zone recessi twist lock	60	2	S355	203	237	252
	pinna	180	2	S355	173	201	214
Rinforzi ordinari	piatti di paratie longitudinali, diaframma telaio 08, fasciame inferiore	11	2	S275	174	203	216
	piatti fasciame posteriore	12-15	2	S275	174	203	216
	ferri a bulbo di fasciami esterni	max 11	2	S275	174	203	216
Telaio rinforzati	ossatura 02	8-10-12	2	S275	174	203	216
	ossatura 03	8-10-12	2	S275	174	203	216
	ossatura 04	8-10-12	2	S275	174	203	216
	ossatura 05	8-10-12	2	S275	174	203	216
	ossatura 06	8-12-14	2	S275	174	203	216
	ossatura 07	8-12-14	2	S275	174	203	216
	ossatura 08	8-12-14	2	S275	174	203	216
	ossatura 09	8-12-14	2	S275	174	203	216
	ossatura 10	8-12-14	2	S275	174	203	216
	diaframma centrale	10-12-14	2	S275	174	203	216
Squadre	spigoli	10	2	S275	174	203	216
Piatti rinforzo fori	paratie longitudinali	11	2	S275	174	203	216
Telaio ammortizzatori	ossatura 10	10	1	S275	174	203	216
		20	1	S275	168	195	208

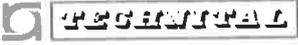
TAB. 5.9 - COMPONENTI STRUTTURALI E SOLLECITAZIONI AMMISSIBILI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 92
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

5.10. ERRATA CORRIGE sulle relazioni

Si riportano le correzioni agli errori individuati nelle relazioni.

Documento	Posizione	Errata	Corrige
Relazioni di calcolo	Capitolo "CARICHI APPLICATI", tabelle	peso specifico	densità o massa volumica
Relazioni di calcolo	Tabelle conversioni bulbi	contenuto tabella	Sostituire con Tab. 5.7
MV082P-PE-NAR-2011	tabella a pag. 45	momento di inerzia di massa	"momento di inerzia angolare o rotazionale" oppure "momento della forza dovuta all'inerzia rotazionale della struttura"
MV082P-PE-NAR-2012	Pag. 59, §6.2, titolo Tab. 6.3	Carico 1	Carico 2
MV082P-PE-NAR-2012	Pag. 61, §6.4, Tab. 6,5	Portata connettori ed R3	Portata connettori tipo 2 (combinazione C10) sono $F_h = 5010$ kN e $F_v = 2100$ kN, da cui $R_3 = 0,05$ e $0,40$

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 93
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

6. NOTE SULL'ANALISI DEL MOTO DI AFFONDAMENTO DELLA PARATOIA E RELATIVE VERIFICHE

6.1. Programma per l'analisi del moto di affondamento della paratoia

L'analisi del moto di affondamento è stata effettuata attraverso un programma in Visual Basic appositamente sviluppato da progettista.

La procedura di calcolo, le equazioni applicate, i dati di ingresso e i risultati parziali e finali sono riportati con riferimento a tutte le fasi del moto, sia in tabelle sia in grafici.

A ulteriore chiarimento si emette, contestualmente al presente, un nuovo documento:

- MV082P-PE-NAR-2017 Analisi del moto di affondamento della paratoia: metodo ed equazioni

che contiene la definizione del metodo e delle equazioni implementati dal programma implementato per l'analisi del moto di affondamento.

Una validazione attraverso calcoli semplificati è in questo caso poco percorribile e la complessità delle equazioni in gioco comporterebbe comunque l'utilizzo di strumenti di calcolo. Per la validazione del programma sono stati effettuati un esame critico dei risultati parziali e generali e un confronto con i risultati dei modelli sperimentali, riportato nel capitolo 9 della relazione MV082P-PE-NAR-2011.

L'analisi svolta è di tipo lineare e il comportamento dei parabordi (simulati da vincoli elastici bilateri) è assunto lineare.

L'analisi determina i parametri del moto della paratoia nelle diverse fasi di affondamento, tra i quali si selezionano quelli che definiscono le condizioni significative per l'analisi strutturale. I parametri di interesse sono sostanzialmente le velocità, che determinano forze centrifughe, e le accelerazioni, che determinano forze inerziali rotazionali.

Con il programma di analisi strutturale si applica poi alle masse la velocità o l'accelerazione selezionate e si calcola lo stato di sforzo e deformazione dovuto a tali azioni.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 94
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

6.2. Valori della velocità e dell'accelerazione per le condizioni di carico

Per le analisi strutturali si considerano:

Condizione di Carico 1: forze centrifughe a velocità massima

- la velocità massima si riscontra durante la fase di affondamento
- $V_{MAX} = 3,25 \text{ deg/s}$ è la velocità massima durante il moto di affondamento, raggiunta dalla paratoia quando la sua inclinazione è di $8,6^\circ$,
- a tale velocità corrisponde l'energia cinetica massima E_{MAX} di 1034,2 kJ; [ref. tabella pag. 48 di MV082P-PE-NAR-2011];
- tale valore di energia (che è il massimo di tutto il processo di abbattimento) è stato assunto per il dimensionamento dei parabordi.

Condizione di Carico 2: forze inerziali per accelerazione angolare massima

- l'accelerazione massima si riscontra alla fine della fase di moto ammortizzato
- la velocità al momento dell'impatto (inizio del moto ammortizzato) è $V_{IMP} = 0,87 \text{ deg/s}$ [ref. tabella pag. 57 di MV082P-PE-NAR-2011]
- alla velocità di impatto corrisponde l'energia di impatto E_{IMP} di 73,8 kJ, infatti:

$$1034,2 / (V_{MAX}^2 / V_{IMP}^2) \cong 74 \text{ kJ}$$
- alla fine del moto ammortizzato la velocità è nulla (arresto della paratoia) e l'accelerazione è massima:
 $A_{IMP} = 3,76 \text{ deg/s}^2$ è l'accelerazione angolare massima finale
- si nota che i risultati del calcolo del moto della paratoia frenata dagli appoggi elastici dipendono linearmente dalla velocità angolare iniziale di impatto, nell'ipotesi conservativa che il parabordo risponda linearmente [ref. par. 8.2 di MV082P-PE-NAR-2011]

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 95
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Condizione di Carico 3: forze inerziali derivanti dall'accelerazione che corrisponde all'energia di dimensionamento dei parabordi

- la condizione non corrisponde ad una effettiva condizione del moto durante l'abbattimento, ma è un'assunzione conservativa per la valutazione globale del comportamento del sistema paratoia e parabordi;
- tenendo conto che i risultati del calcolo del moto della paratoia frenata dagli appoggi elastici dipendono linearmente dalla velocità angolare iniziale di impatto, nell'ipotesi conservativa che il parabordo risponda linearmente [ref. par. 8.2 di MV082P-PE-NAR-2011], se la velocità angolare iniziale di 0,87 deg/s determina una accelerazione massima di 3,76 deg/s², ne consegue che assumendo una velocità angolare iniziale di 3,25 deg/s (velocità cui corrisponde la massima energia durante l'intero processo di abbattimento) l'accelerazione finale del moto ammortizzato sarebbe:

$$A^*_{MAX} = (A_{IMP} / V_{IMP}) \times V_{MAX} = (3,76 / 0,87) * 3,25 \cong 14 \text{ deg/s}^2$$
- tale valore di accelerazione è stato applicato per il calcolo delle forze di inerzia.

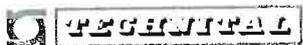
6.3. Masse strutturali

Nel modello sono definite le masse strutturali, in modo da consentire la valutazione di forze inerziali anche diverse da quelle derivanti dalla gravità. Nel caso specifico si valutano infatti gli effetti di velocità e accelerazioni, cui è soggetta la paratoia.

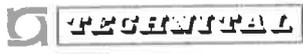
I carichi applicati sono:

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 96
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Descrizione Peso Proprio Paratoia (calcolato) ref. MV082P-PE-NAR-2012	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)
Struttura			
Acciaio a spessore lordo	2.312.765	13,843	-0,941
Supporti ammortizzatori	55.125	23,992	-3,809
sub totale	2.367.890	14,079	-1,008
Saldature 2%	47.358	14,079	-1,008
Margine 5%	120.762	14,079	-1,008
TOTALE STRUTTURA	2.536.010	14,079	-1,008
Allestimenti			
Tubature, supporti e altri allestimenti	70.818	13,607	-1,318
Anodi e loro supporti	27.286	15,182	-0,867
Pittura	16.189	14,043	-1,053
Appoggi elastici (ammortizzatori)	42.330	23,975	-4,457
Tenute parziali (alette gomma)	29.106	0,674	0,658
Strumentazione	5.101	5,000	-1,000
sub totale	190.830	13,966	-1,617
Margine 5%	9.542	13,966	-1,617
TOTALE ALLESTIMENTI	200.372	13,966	-1,617
TOTALE PESO PROPRIO PARATOIA (calcolato)	2.736.382	14,071	-1,052
TOTALE PESO PROPRIO PARATOIA (da modello)	2.625.217	13,841	-0,990
differenza calcolato vs modello	-4,06%		
differenza assoluta calcolato-modello	-111.165		
altri pesi uniformemente distribuiti (calcolati)			
fouling	422.000	12,919	-0,276
acqua contenuta e massa aggiunta	17.554.186	14,071	-1,052
altri pesi (calcolati)	17.976.186	14,044	-1,034
TOTALE PESO PARATOIA (calcolato)	20.712.568	14,048	-1,036
TOTALE PESO PARATOIA (da modello)	20.949.057	14,083	-1,015
differenza calcolato vs modello	1,14%		
differenza assoluta calcolato-modello	236.489		

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 97
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Descrizione Peso Proprio Paratoia (calcolato) ref. MV082P-PE-NAR-2012	pesi uniformemente distribuiti			pesi concentrati		
	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)
Struttura						
Acciaio a spessore lordo	2.312.765	13,843	-0,941			
Supporti ammortizzatori				55.125	23,992	-3,809
sub totale	2.312.765	13,843	-0,941	55.125	23,992	-3,809
Saldature 2%	46.255	13,843	-0,941	1.103	23,992	-3,809
Margine 5%	117.951	13,843	-0,941	2.811	23,992	-3,809
TOTALE STRUTTURA	2.476.971	13,843	-0,941	59.039	23,992	-3,809
Allestimenti						
Tubature, supporti e altri allestimenti				70.818	13,607	-1,318
Anodi e loro supporti	27.286	15,182	-0,867			
Pittura	16.189	14,043	-1,053			
Appoggi elastici (ammortizzatori)				42.330	23,975	-4,457
Tenute parziali (alette gomma)				29.106	0,674	0,658
Strumentazione	5.101	5,000	-1,000			
sub totale	48.576	13,733	-0,943	142.254	14,046	-1,848
Margine 5%	2.429	13,733	-0,943	7.113	14,046	-1,848
TOTALE ALLESTIMENTI	51.005	13,733	-0,943	149.367	14,046	-1,848
TOTALE PESO PROPRIO PARATOIA (calcolato)	2.527.976	13,841	-0,941	208.406	16,864	-2,403
TOTALE PESO PROPRIO PARATOIA (da modello)	2.468.381	13,828	-0,936	156.836	14,046	-1,848
differenza calcolato vs modello	-2,36%			-24,74%		
differenza assoluta calcolato-modello	-59.595			-51.570		
altri pesi uniformemente distribuiti (calcolati)						
fouling	422.000	12,919	-0,276			
acqua contenuta e massa aggiunta	17.554.186	14,071	-1,052			
altri pesi (calcolati)	17.976.186	14,044	-1,034			
TOTALE PESO PARATOIA (calcolato)	20.504.162	14,019	-1,022	208.406	16,864	-2,403
TOTALE PESO PARATOIA (da modello)	20.792.221	14,083	-1,009	156.836	14,046	-1,848
differenza calcolato vs modello	1,40%			-24,74%		
differenza assoluta calcolato-modello	288.059			-51.570		

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 98
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Tutti i pesi uniformemente distribuiti sono ricondotti a masse equivalenti degli elementi strutturali, mentre i carichi concentrati in specifiche zone sono applicati come masse aggiuntive nelle sole zone di competenza.

Le masse strutturali sono dunque derivate dai pesi uniformemente distribuiti, che comprendono:

- peso struttura acciaio
- anodi e loro supporti
- pittura
- strumentazione
- fouling
- acqua contenuta nella paratoia e massa aggiunta

I pesi strutturali riportati in tabella sono calcolati a disegno sulla base dello spessore nominale degli elementi, cioè incluso il sovra-spessore di corrosione.

Relativamente agli anodi, si tratta di 278 elementi sulle superfici interne + 24 elementi sulle esterne, disposti in modo circa uniforme e con un peso modesto (in totale circa 1% rispetto al peso della paratoia): tenuto conto della loro disposizione (distribuiti su tutte le superfici della paratoia) e dell'entità del loro peso (anche singolarmente), il loro carico è stato uniformemente distribuito.

La pittura riveste una superficie totale di circa 5500 m², cui si applica un peso unitario di vernice di 3 N/m² su tutti gli elementi strutturali.

La strumentazione è un carico modestissimo, dovuto a pochi elementi distribuiti all'interno della paratoia, che viene considerato uniformemente ripartito.

Il peso totale del fouling considerato per una paratoia è pari a circa 422 kN ed è assegnato solo ai componenti del fasciame esterno.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 99
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

SUPERFICIE	Peso unitario (kN/m ²)	area (m ²)	Peso fouling (kN)
estradosso	0,5	541,0	270,50
intradosso	0,2	382,0	76,40
fronte	0,1	81,0	8,10
fianchi	0,1	184,0	18,40
retro	0,1	356,0	35,60
supporti ammortizzatori	0,1	126,0	12,60
TOTALE		1670,0	421,60

Il peso dell'acqua contenuta nella paratoia e della massa aggiunta sono derivati dai dati per l'analisi del moto di affondamento della paratoia, in modo da ottenere un'inerzia rotazionale complessiva per l'intera paratoia corrispondente a quella calcolata di $6,428 \cdot 10^8 \text{ kg}_M \text{ m}^2$.

Questi pesi sono stati inseriti nel modello modificando il peso specifico degli elementi in modo da poter tenere conto di quanto segue:

- gli elementi usati nel modello sono al netto dei sovra-spessori di corrosione;
- i ferri a bulbo sono stati convertiti in angolari;
- il peso della struttura corrisponde al peso degli elementi a spessore lordo (nominale) e include le saldature e il margine;
- il peso dell'allestimento include il margine.

Le masse equivalenti degli elementi strutturali sono calcolate in fasi successive per permettere controlli intermedi sui risultati ottenuti..

Nella prima fase si valutano le masse strutturali relative ai pesi uniformemente distribuiti della struttura e dell'allestimento:

- si assegna ai singoli elementi la densità corrispondente allo spessore nominale dell'elemento (in pratica per le lamiere si moltiplica la densità dell'acciaio di 7850 kg/m^3 per il rapporto tra lo spessore lordo e lo spessore netto);
- si moltiplica la densità ottenuta per ogni elemento per il rapporto tra il totale dei carichi considerati uniformemente distribuiti e il peso della sola struttura con spessori nominali.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 100
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Nella tabella in cui si riportano le densità specifiche si distingue pertanto la densità assegnata in funzione del sopra-spessore di corrosione

Sovra-spessore (mm)	Spessore lordo (mm)	Spessore netto (mm)	Densità equiv. spessore lordo (kg/m ³)	Peso lamiera / Peso totale	Densità applicata struttura e allestimenti (kg/m ³)
1,5	9	7,5	9.420,00	1,09171	10.283,89
1,5	12	10,5	8.971,43	1,09171	9.794,19
2	9	7	10.092,86	1,09171	11.018,46
2	10	8	9.812,50	1,09171	10.712,39
2	11	9	9.594,44	1,09171	10.474,34
2	12	10	9.420,00	1,09171	10.283,89
2	14	12	9.158,33	1,09171	9.998,23
2	15	13	9.057,69	1,09171	9.888,36
2	20	18	8.722,22	1,09171	9.522,12
2	30	28	8.410,71	1,09171	9.182,05
2	60	58	8.120,69	1,09171	8.865,43
2	180	178	7.938,20	1,09171	8.666,20

TAB. 6.1 - CALCOLO DELLE DENSITÀ CORRISPONDENTI A PESO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO PER LE LAMIERE (ESCLUSE ACQUA E MASSA AGGIUNTA)

A titolo di esempio si consideri una lamiera da 15 mm di spessore lordo e 13 mm di spessore netto (sovra-spessore di corrosione 15 mm - 13 mm = 2 mm).

La densità equivalente per l'elemento a spessore ridotto è:

$$7850 * 15/13 = 9057,69 \text{ kg/m}^3$$

La densità totale applicata è:

$$9057,69 * 1,0917 = 9888,36$$

dove il termine 1,0917 è il rapporto tra i pesi strutturali uniformemente distribuiti lordi (escluse saldature e margini) e i pesi uniformemente distribuiti totali da applicare.

Infatti è pari a circa:

$$2.576.976 / 2.312.765 = 1,093$$

con una differenza dovuta al fatto che i bulbi sono computati a parte e agli arrotondamenti.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 101
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Nella successiva tabella vengono riportati i valori delle densità per gli elementi trave rappresentanti i bulbi dei rinforzi ordinari, calcolate in modo analogo, tenendo conto del sovra-spessore di corrosione di 2 mm.

Bulbo (trave)	Densità applicata per struttura e allestimenti (kg/m ³)
180x8	9.030,11
200x9	8.936,92
220x10	9.137,97
260x10	9.089,70
280x11	9.143,62

TAB. 6.2 – DENSITÀ ELEMENTI TRAVE DEI BULBI (ESCLUSE ACQUA E MASSA AGGIUNTA)

Applicando tali densità, il totale dei pesi distribuiti uniformemente distribuiti risultante da modello rispetto a quello calcolato è:

Peso struttura paratoia e allestimenti	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)
Totale calcolato (pesi uniformemente distribuiti)	2.527.976	13,841	-0,941
Totale modello (pesi uniformemente distribuiti)	2.468.381	13,828	-0,936

TAB. 6.3 – PESO DISTRIBUITO UNIFORMEMENTE STRUTURA E ALLESTIMENTI

La differenza tra i due pesi calcolati è poco più del 2%.

Si procede quindi in modo analogo per assegnare agli elementi una densità tale da comprendere anche i contributi del fouling, dell'acqua contenuta nella paratoia e della massa aggiunta.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 102
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Sovra- spessore (mm)	Spessore lordo (mm)	Spessore netto (mm)	Densità equiv. spessore lordo (kg/m ³)	Peso lamiere / Peso totale	Densità applicata struttura e allestimenti (kg/m ³)	Peso equiv struttura e allestimenti / Peso totale	Densità applicata totale (kg/m ³)
1,5	9	7,5	9.420,00	1,091708	10.283,89	8,13446	83.653,90
1,5	12	10,5	8.971,43	1,091709	9.794,19	8,13445	79.670,38
1,5	20	18,5	8.486,49	1,091708	9.264,77	8,13446	75.363,87
2	9	7	10.092,86	1,091708	11.018,46	8,13446	89.629,17
2	10	8	9.812,50	1,091709	10.712,39	8,13446	87.139,47
2	11	9	9.594,44	1,091709	10.474,34	8,13445	85.203,04
2	12	10	9.420,00	1,091708	10.283,89	8,13446	83.653,90
2	14	12	9.158,33	1,091709	9.998,23	8,13446	81.330,18
2	15	13	9.057,69	1,091709	9.888,36	8,13446	80.436,44
2	20	18	8.722,22	1,091708	9.522,12	8,13446	77.457,31
2	30	28	8.410,71	1,091709	9.182,05	8,13446	74.690,98
2	60	58	8.120,69	1,091709	8.865,43	8,13445	72.115,43
2	180	178	7.938,20	1,091708	8.666,20	8,13446	70.494,86

TAB. 6.4 - CALCOLO DELLE DENSITÀ CORRISPONDENTI A PESO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO PER LE LAMIERE (INCLUSE ACQUA E MASSA AGGIUNTA)

Le densità equivalenti per ottenere i carichi uniformemente ripartiti totali sono incrementate con il fattore 8,134, pari al rapporto tra i carichi uniformi totali e i carichi uniformi per struttura e allestimenti, che vale (a meno delle differenze per arrotondamento e per il calcolo a parte dei bulbi):

$$2.576.976 / 20.504.162 = 8,111$$

Nella successiva tabella vengono riportati i valori delle densità totali per gli elementi trave rappresentanti i bulbi dei rinforzi ordinari, calcolate in modo analogo.

Il fattore moltiplicativo è lo stesso.

Bulbo (trave)	Densità applicata struttura e allesti- menti (kg/m ³)	Peso equiv struttu- ra e allestimen- ti/Peso totale	Densità applicata totale (kg/m ³)
180x8	9.030,11	8,13445	73.455,00
200x9	8.936,92	8,13445	72.696,95
220x10	9.137,97	8,13446	74.332,46
260x10	9.089,70	8,13445	73.939,76
280x11	9.143,62	8,13445	74.378,35

TAB. 6.5 – DENSITÀ ELEMENTI TRAVE DEI BULBI (INCLUSE ACQUA E MASSA AGGIUNTA)

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 103
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Applicando tali densità totali, il totale dei pesi distribuiti uniformemente distribuiti risultante da modello rispetto a quello calcolato è:

Peso paratoia + fouling + acqua interna + massa aggiunta	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)
Totale calcolato (pesi uniformemente distribuiti)	20.504.162	14,019	-1,022
Totale modello (pesi uniformemente distribuiti)	20.792.221	14,083	-1,009

TAB. 6.6 – PESO DISTRIBUITO UNIFORMEMENTE TOTALE

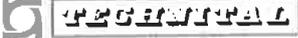
La differenza tra i due pesi calcolati è poco più dell'1%.

In totale le densità assegnate e le masse equivalenti ai carichi concentrati in alcune zone, applicando l'accelerazione di gravità, riproducono il peso totale della paratoia con uno scostamento tra calcolato e reale dell'1% circa e ottima approssimazione del baricentro.

Peso paratoia allestita + fouling + acqua interna + massa aggiunta	Peso (N)	LCG (m)	VCG (m)
Totale calcolato	20.712.568	14,048	-1,036
Totale modello	20.949.057	14,083	-1,015

TAB. 6.7 – PESO TOTALE

Nelle analisi strutturali per il moto di affondamento, alle masse calcolate sono applicate la velocità (condizione di carico 1) o l'accelerazione di progetto (condizioni di carico 2 e 3).

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 104
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

6.4. Verifiche tensionali e spostamenti

I risultati del calcolo del moto della paratoia frenata dagli ammortizzatori dipendono linearmente dalla velocità angolare iniziale, nell'ipotesi conservativa (si massimizza la reazione) che i parabordi rispondano linearmente: il calcolo è lineare e si ritiene pertanto applicabile il coefficiente di amplificazione.

I risultati sono congruenti con la rigidità assunta, infatti, per la condizione di carico 2:

$R = 404 \text{ kN}$ reazione su un parabordo (ref. Tab. 6.3)

$z = 80,7 \text{ mm}$ compressione del parabordo (ref. Tab. 6.4)

da cui si ottiene la costante elastica k assunta (ref. par. 4.9)

$k = R/z = 407 / 0,0807 = 5043 \cong 5000 \text{ kN/m}$

per la condizione di carico 3, la compressione risulta:

$z = 3,74 * 80,7 = 302 \text{ mm}$

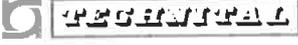
L'energia di progetto per i parabordi, pari circa all'energia cinetica massima che la paratoia sviluppa durante il moto di affondamento, è 1040 kJ ed è fornita da 4 parabordi, ciascuno con energia nominale 290 kNm (che tiene conto di un fattore di prestazione del 10%). Infatti:

$E_{\text{parabordi}} = 4 * 290 * 0,9 = 1044 \text{ kNm}$

Si nota che un parabordo in grado di fornire l'energia richiesta ha un'altezza di circa 800 mm e che la sua *rated deflection* è in genere circa il 52% dell'altezza: la deformazione raggiungibile in esercizio è quindi circa 416 mm, superiore a quella calcolata per la condizione 3, che è quindi ben compatibile.

Per i rapporti di utilizzo a pag. 61, non si fa riferimento ad alcuna normativa specifica:

- per le tensioni è il rapporto tra la tensione calcolata e quella ammissibile, per la quale si rimanda ai criteri applicati, di cui al paragrafo 3;

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 105
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

- per le reazioni dei connettori è il rapporto tra la reazione calcolata e i carichi di progetto (condizione C10) non fattorizzati (ref. anche Errata Corrige al paragrafo 5.10).

Tali rapporti intendono fornire semplicemente una quantificazione dell'impegno richiesto all'acciaio e ai connettori.

Le tensioni sono modestissime (vedi Tab. 6.1) e di conseguenza anche le deformate non sono apprezzabili, pertanto sono state riportate poche illustrazioni dello stato tensionale e deformativi, a differenza che nelle altre relazioni.

Circa le conclusioni, occorre precisare che le sollecitazioni ricavate sono da intendersi aggiuntive a quelle presenti nella paratoia nelle successive fasi di affondamento; tali sollecitazioni sono inferiori a quelle calcolate per la paratoia in esercizio, ma di difficile determinazione, in quanto durante il moto, le condizioni di equilibrio tra pressioni interne ed esterne variano continuamente in modo che non è possibile determinare attraverso analisi matematiche affidabili.

I risultati indicano che le sollecitazioni derivanti dalle forze inerziali non costituiscono elemento critico: i risultati per la condizione 1 e 2 sono irrilevanti.

Si sottolinea che i risultati per la condizione 3 non corrispondono ad una condizione reale (per la quale valgono quelli della condizione 2) e sono volti a verificare gli ammortizzatori e i loro supporti per l'energia considerata per la scelta degli ammortizzatori, valutando contestualmente il comportamento globale della paratoia. In ogni caso, anche per questa condizione, pur considerando concomitanti le sollecitazioni a riposo (condizione finale della paratoia), non si riscontrano sollecitazioni eccessive.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 106
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

7. NOTE SULLA RELAZIONE MV082P-PE-NAR-2009 “Verifiche strutturali – Urto natante e oggetti alla deriva”

7.1. Scelta del natante

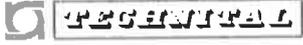
Per la scelta del natante, si considera che la navigazione è interdetta per tutto il periodo di sollevamento della barriera, per un periodo di preavviso antecedente l’apertura e per un periodo susseguente la chiusura. Non si ha quindi movimento di natanti né nei canali di laguna per l’accesso alle bocche, né all’esterno in prossimità delle stesse. Il caso di urto è stato tuttavia considerato e limitato però a piccoli pescherecci e imbarcazioni da diporto o di appoggio, che potrebbero sfuggire al controllo, proprio per le limitate dimensioni.

Si è ritenuto rappresentativo di tali natanti un mezzo con stazza lorda non superiore a 100 t e dislocamento 240 t (vedi tabella seguente).

La probabilità dell’evento è trascurabile in presenza di un adeguato sistema di sorveglianza, quale previsto per la gestione delle barriere.

tipo di mezzo (nome)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Altezza (m)	tsl (t)	dislocamento (t)
pontone con gru	32	12	3,5	n.a.	200
pontone con gru	27	9	1,9	109	100 (a vuoto)
pontone (Jesus)	24	7,5	1,5	60	n.a.
motopontone (Goffredo)	30	8	1,8	96,5	240
rimorchiatore (Gatto)	25	7,2	n.a.	107	n.a.
rimorchiatore (Ecoelba)	20,7	18,8	2,8	80	n.a.
rimorchiatore (Città di Ortona)	18,3	6,7	n.a.	73	
yacht (Nina J)	42	8	n.a.	n.a.	200
yacht (Mesufish Patron IV)	34	7	n.a.	209	200
pescherecci	6-12	n.a.	n.a.	<10 (oltre 80% della flotta italiana)	n.a.
	15-20	n.a.	n.a.	10-50	n.a.

TAB. 7.1 - NATANTI RAPPRESENTATIVI DEL MEZZO DI STAZZA LORDA NON SUPERIORE A 100 T, ADOTTATO NELLE VERIFICHE PER URTO NATANTE DELLE PARATOIE

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 107
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

7.2. Parametri di progetto

Per il calcolo delle strutture di accosto è usuale far riferimento all'energia sviluppata nell'urto in accordo alle leggi della meccanica. Nel caso specifico, trattandosi di un urto contro un elemento non fisso quale la paratoia, si è tenuto conto del comportamento del sistema, in cui la paratoia, per effetto dell'urto, modifica la sua inclinazione. La reazione sviluppata corrisponde alla forza per la quale il lavoro della paratoia eguaglia l'energia sviluppata nell'urto (come illustrato al paragrafo 5.5).

Per la velocità del natante non sono stati individuati riferimenti specifici: le velocità adottate di 1,5 nodi (0,75 m/s) a barriera chiusa e di 2,5 nodi (1,25 m/s) con barriera in chiusura intendono essere rappresentative dell'evento (un natante di piccole dimensioni, all'interno di un canale, che avvista un ostacolo).

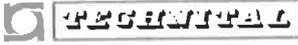
7.3. Risultati

La forza d'urto è applicata come forza concentrata in corrispondenza di tre rinforzi ordinari. L'analisi condotta è lineare.

Il caso esaminato e rappresentato in dettaglio è quello relativo alla massima forza normale sul fasciame, condizione più severa per la zona interessata all'urto. Come indicato al paragrafo 6.1 e al capitolo 7, si riportano infatti i risultati della verifica ad elementi finiti solo per i due casi in cui si ha la massima forza normale sul fasciame (urto dal mare in condizione di equivello, in posizione centrale e in posizione laterale).

Si conferma, come riportato in relazione, che:

- si è trascurata l'energia assorbita dal natante durante la diminuzione di velocità fino a fermarsi,
- si è trascurata l'energia assorbita per deformazione dello scafo,
- si è trascurato il fatto che lo scafo tende a scivolare sulla paratoia,
- la massima sollecitazione si estende su una zona limitata,
- la condizione di carico è eccezionale.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 108
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Riteniamo pertanto che i risultati, con sollecitazioni prossime alla tensione di snervamento solo nei tre bulbi interessati dall'urto (mentre il fasciame si mantiene nei limiti ammissibili), possano essere considerati accettabili; inoltre, qualora si verificasse l'urto, la paratoia sarebbe sottoposta a manutenzione e la zona interessata dal danneggiamento sarebbe integralmente sostituita.

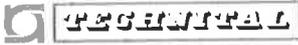
Le deformazioni sono riportate solo nelle immagini e non sono significative per il corpo della paratoia, salvo che localmente nella zona d'urto, che va in ogni caso riparata.

Le reazioni vincolari sono riportate per tutte le condizioni nelle tabelle al paragrafo 6.2: esse sono in tutti i casi inferiori a quelle dimensionanti (relative all'esercizio della barriera).

Nelle stesse tabelle sono riportate le reazioni sui vincoli fittizi: esse sono trascurabili (tra -5 e 7 kN), a conferma che la condizione imposta è di equilibrio.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 109
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

8. APPENDICE 1 - MANUALE ALGOR – CALCOLO STRESS E CONVENZIONI

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 110
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Linear Results Menu

None

Selecting this option will remove any results contour from the model and will use the default colors for the shading and the mesh lines.

Displacement

Rotational Displacement

Stress

How ALGOR Calculates Stresses:

Various analytical techniques are available to assist you in determining the suitability of your model. The Results environment provides access to many of these techniques by providing both the raw stresses in local coordinates and many quantities derived from these raw stresses. Derived quantities include von Mises and Tresca criteria, maximum and minimum principal stresses, and element specific output. Since the accuracy of the analytical results depends on the construction of the mesh and the application of FEA parameters, the Results environment provides a precision estimate at shared nodes. This precision value can assist you in determining the suitability of your model.

ALGOR uses the stress-to-nodes method for calculating stress estimations. Using an extrapolation scheme, calculations using nodal stresses usually provide greater accuracy than calculations derived from the stresses inside the elements. Displaying stresses at nodes produces a more realistic and convenient representation of a model under load, because stress values at nodes are more useful than stress values calculated for whole elements.

Stresses calculated for elements produce stress information at Gaussian points. Gaussian points are the numerical integration points at which the finite element solution and the theoretical solution are most similar. The older technique averaged these stresses to center or faces of 2-D elements and the centroid of 3-D elements, and can show relatively large differences between adjoining elements. Because finite element solutions are approximations of a continuous function, the results from these locations may be too coarse to provide accurate pictures of how a model behaves under stress.

Calculating stresses at individual nodes corrects this problem. Using the 'local-least-squares' method, stresses are extrapolated from Gaussian points to associated nodes. Accurate assessments of stresses at nodes are especially important when nodes are on the surface or edges of the part being analyzed, since these nodes generally coincide with critical areas of the model. Accuracy information is also available where nodes are shared between different elements.

When displaying the surface of a model, the intensity or stress at each point in each element of the mesh that defines the surface, is calculated, and an appropriate displaying value is assigned to that point. Next, the scale used to display the surface is examined, and the appropriate colors and shades for each point are selected, based on the value calculated at that point. The model is then redrawn with its surface shaded according to the displaying technique used. The Results environment provides visualization options, such as smoothing, to let you control the way your model is displayed. This lets you visualize your model in the way that is most significant to you.

"von Mises":

This command sets the results display to be the equivalent von Mises stress for a display or data output. The von Mises stress can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks).

The equation used is:

$$\sqrt{0.5[(S_x - S_y)^2 + (S_y - S_z)^2 + (S_x - S_z)^2] + 3(S_{xy}^2 + S_{yz}^2 + S_{xz}^2)}$$

where S_x , S_y , and S_z are the axial stresses in the global directions, and S_{xy} , S_{yz} , and S_{xz} are the shear stresses. In terms of the principal stresses S_1 , S_2 and S_3 :

$$\sqrt{0.5[(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_1)^2]}$$

Note by the equations that the von Mises value is always positive.

"Tresca*2":

The Tresca*2 stress can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks). This method extracts the maximum shear stress from the following stress tensor. The Tresca equation is:

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 111
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

$$0.5 \times \text{MAX}[\text{abs}(S1-S2), \text{abs}(S2-S3), \text{abs}(S3-S1)]$$

where S1, S2, and S3 are the principal stresses. The value reported is twice the maximum shear stress. Thus yielding would occur when the reported Tresca*2 value reaches the yield stress. Note that by definitions, the Tresca stress is always positive. See [Mohr's Circle](#) for an illustration of this. Tresca*2 is also known as the stress intensity.

"Minimum Principal":

This command sets the results display to calculate the minimum principal stress (S3) for displaying or data output. The principal stress can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks). Positive (+) indicates tension, and negative (-) indicates compression. See [Mohr's circle](#) for an illustration of this.

"Minimum Principal Direction":

This command will display a vector plot of the direction of the minimum principal stress in each element. The tensors at each node of the element are averaged and the minimum principal direction of this average tensor is plotted at the element centroid. If you select an element and select the **"Inquire: Results"** command, the components of this vector will be displayed.

"Intermediate Principal":

This command sets the results display to calculate the intermediate principal stress (S2) for displaying or data output. This is the stress in the direction normal to the minimum and maximum principal stresses. The principal stress can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks). Positive (+) indicates tension, and negative (-) indicates compression.

"Intermediate Principal Direction":

This command will display a vector plot of the direction of the intermediate principal stress in each element. The tensors at each node of the element are averaged and the intermediate principal direction of this average tensor is plotted at the element centroid. If you select an element and select the **"Inquire: Results"** command, the components of this vector will be displayed.

"Maximum Principal":

This command sets the results display to calculate the maximum principal stress (S1) for displaying or data output. The principal stress can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks). Positive (+) indicates tension, and negative (-) indicates compression. See [Mohr's circle](#) for an illustration of this.

"Maximum Principal Direction":

This command will display a vector plot of the direction of the maximum principal stress in each element. The tensors at each node of the element are averaged and the maximum principal direction of this average tensor is plotted at the element centroid. If you select an element and select the **"Inquire: Results"** command, the components of this vector will be displayed.

"Stress Tensor":

This command displays the component of the stress in the chosen direction. Technically, it uses the double dot product with the stress tensor or local stress components. The stress tensor can be displayed for element types with area (2-D, plates, and so on) and volume (bricks).

If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is not active, you will be able to select between the following global stresses. If this option is active, the following choices will display the local stress tensors mentioned in the individual descriptions.

For elements with local axes, smoothing (averaging) the stresses may not be meaningful, especially if the orientation of the local axes varies between adjacent elements. The smoothed stress tensor values are meaningful only if the local axes are in a consistent direction from one element to the next element.

- **"1) XX":** Stress tensor component showing the normal stress in the global X direction. Positive (+) indicates tension; negative (-) indicates compression. If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 1-1 stress tensor will be displayed.
- **"2) YY":** Stress tensor component showing the normal stress in the global Y direction. Positive (+) indicates tension; negative (-) indicates compression. If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 2-2 stress tensor will be displayed.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 112
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

- **"3) ZZ"**: Stress tensor component showing the normal stress in the global Z direction. Positive (+) indicates tension; negative (-) indicates compression. If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 3-3 stress tensor will be displayed.
- **"4) XY"**: Stress tensor component showing the shear stress in the global XY direction. (X indicates the direction normal to the face, and Y indicates the direction of the shear stress.) If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 1-2 stress tensor will be displayed.
- **"5) YZ"**: Stress tensor component showing the shear stress in the global YZ direction. (Y indicates the direction normal to the face, and Z indicates the direction of the shear stress.) If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 2-3 stress tensor will be displayed.
- **"6) ZX"**: Stress tensor component showing the shear stress in the global ZX direction. (Z indicates the direction normal to the face, and X indicates the direction of the shear stress.) If the **"Show Element-Local Results"** option in the RESULTS OPTIONS pull-down menu is active, the local 3-1 stress tensor will be displayed.

"Beam and Truss":

This command will show the stresses for linear and nonlinear truss elements, linear and nonlinear beam elements, and nonlinear pipe elements. The results available are the following:



Caution

For nonlinear analyses with beam elements that experience plasticity, the results shown by these commands are only partially corrected by the yield strength. Each of the stresses – axial stress, bending stress in local 2, and bending stress in local 3 – are "capped" or limited to the yield stress if necessary. The worst stress then adds the three results together.

For a more accurate stress result, activate the **"Binary stress and strain output"** option on the beam's Element Definition before running the analysis. Then use the **"Inquire: Detailed Beam Stress"** and **"Inquire: Detailed Beam Strain"** menu in the Results environment to review the results.

- **"Axial Stress (Local 1 Direction)"**: Displays the axial stress. This is calculated by dividing the axial force by the cross sectional area. A positive value indicates tensile stress, and a negative value indicates compressive stress.
- **"Bending Stress in Local 2 Direction"**: Displays the bending stress in beam elements due to bending moment about the local 2 axis. This is calculated by dividing the bending moment about axis 2 by the section modulus about local axis 2. The local 2 axis passes through the k-node and is perpendicular to the beam. (Since truss elements have no bending capability, this menu item does not apply to truss elements.)
- **"Bending Stress in Local 3 Direction"**: Displays the bending stress in beam elements due to bending moment about the local 3 axis. This is calculated by dividing the bending moment about axis 3 by the section modulus about local axis 3. The local 3 axis is the cross product of the local 1 and local 2 axes. (Since truss elements have no bending capability, this menu item does not apply to truss elements.)
- **"Worst"**: At one corner, the combination of axial stress, bending stress about axis 2, and bending stress about axis 3 produces the largest absolute value. This is the worst stress in the beam. For Linear Stress, positive (+) indicates the beam is in tension axial tension, and negative (-) indicates the beam is in axial compression. Mathematically,

$$\text{Worst} = (\text{sign of } P/A)(\text{ABS}(P/A) + \text{ABS}(M2/S2) + \text{ABS}(M3/S3))$$

Note that a stress analysis (both linear and nonlinear) assumes the cross section is symmetric (due to only one input or calculated value for S2 and S3). Therefore, the worst stress could mathematically occur at a nonexistent location in a nonsymmetrical beam, such as in the lower-left or upper-left corner of Figure 1.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 113
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

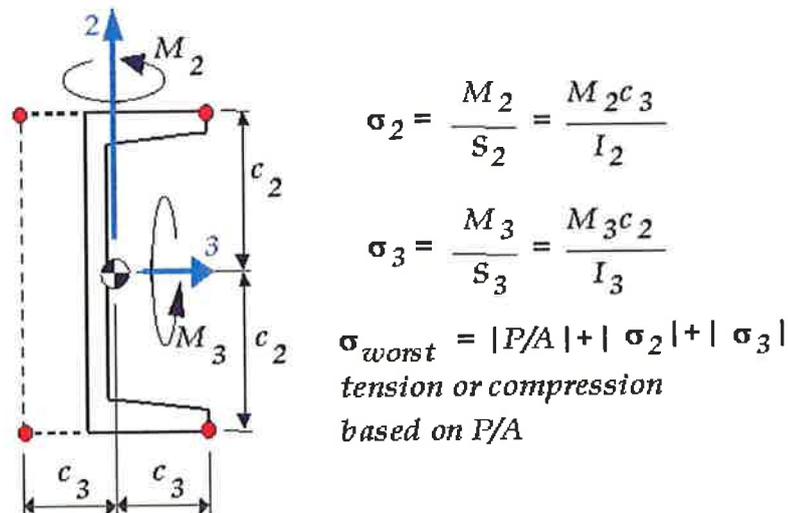


Figure 1: Stress Results in a Nonsymmetrical Beam

Because C2 and C3 are assumed to be equal (based on only one input for S3 and S2), the worst stress can be reported at a nonexistent location.

Use the "**Display Options: Show Orientation Marks: Element Orientations**" command to display the local 1, 2, or 3 axes for the beam elements.

"Composite":

"Failure Index":

This command will display the results corresponding to the in-plane composite failure criteria set in the "**Element Definition**" dialog (Tsai-Wu, Maximum Stress or Maximum Strain).

It is recommended that smoothing ("**Results Options: Smooth Results**") be turned off in order to see the actual failure criteria value in each element (instead of the smoothed or averaged value between adjacent elements).

You can control the lamina for which you are viewing the results using the "**Results Options: Composite Options...**" command. You can also choose to view the "**Worst**" results using this command.

For the maximum stress and maximum strain criteria, first consider the following factors of safety, based on the top and bottom surface of the laminae:

Maximum Stress — Factors of Safety:

$$\frac{X_c}{|\sigma_1|} \cdot \frac{X_t}{\sigma_1} \cdot \frac{Y_c}{|\sigma_2|} \cdot \frac{Y_t}{\sigma_2} \text{ , and } \frac{S}{|\tau_{12}|}$$

where σ is the calculated normal stress in direction 1 or 2, X and Y are the allowable stresses in direction 1 and 2 (compression or tension matched to the calculated stress), τ_{12} is the calculated shear stress, and S is the allowable shear stress.

Maximum Strain — Factors of Safety:

$$\frac{T_{1c}}{|\epsilon_1|} \cdot \frac{T_{1t}}{\epsilon_1} \cdot \frac{T_{2c}}{|\epsilon_2|} \cdot \frac{T_{2t}}{\epsilon_2} \text{ , and } \frac{S}{|\gamma_{12}|}$$

where ϵ is the calculated normal strain in direction 1 or 2, T is the appropriate allowable strain in direction 1 and 2 (compression or tension matched to the calculated strain), γ_{12} is the calculated shear strain, and S is the allowable shear strain.

Then, the results displayed are as follows:

Failure Index for Maximum Stress and Maximum Strain

Linear Stress	Nonlinear Stress
Calculate values of 1/Factor of Safety	Calculate values of Factor of Safety
Plot largest value	Plot smallest value
Values >1 represent failure	Values <1 represent failure

For the Tsai-Wu failure criteria, first consider the value F:

$$F = F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2$$

where

$$F_1 = \left(\frac{1}{X_t}\right) - \left(\frac{1}{X_c}\right)$$

$$F_2 = \left(\frac{1}{Y_t}\right) - \left(\frac{1}{Y_c}\right)$$

$$F_{11} = \frac{1}{(X_t \cdot X_c)}$$

$$F_{22} = \frac{1}{(Y_c \cdot Y_t)}$$

$$F_{66} = \frac{1}{(S \cdot S)}$$

σ and τ are calculated normal and shear stresses, and all other values are material inputs.

Then, the results displayed are as follows:

Failure Index for Tsai-Wu

Linear Stress	Nonlinear Stress
Plot the value F	Plot the value 1/F
Values >1 represent failure	Values <1 represent failure

"Out-of-Plane Failure Index":

If you are using thick composite elements with the maximum stress failure criteria, this option will be available to view the failure criteria results through the thickness (out-of-plane direction) of the core lamina. The results plotted are the largest value of the following:

$$\frac{\sigma_{core}}{Z_c}, \quad \frac{|\tau_{13}|}{S_{13}}, \quad \text{and} \quad \frac{|\tau_{23}|}{S_{23}}$$

where σ_{core} is the calculated normal stress in the core (in direction 3), Z_c is the allowable core crushing stress, τ is the calculated shear stress, and S is the allowable transverse shear stress.

A value greater than 1 represents failure.

Strain
Strain Energy Density
Element Forces and Moments
Element Displacements
Power Spectrum Density
Reactions Vector
Beam Code Checking
Precision of von Mises Stress
Applied Loads
Element Properties

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 115
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

9. APPENDICE 2 - MANUALE ALGOR – ELEMENTI PLATE E BRICK

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 116
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

DAL MANUALE ALGOR

Plate Elements

Ref: http://download.autodesk.com/us/algpr/userguides/mergedProjects/setting_up_the_analysis/whskin_ho_mepage.htm

What is a Plate Element?

Plate elements are three- or four-node elements formulated in three-dimensional space. These elements are used to model and analyze objects such as pressure vessels, or structures such as automobile body parts.

The out-of-plane rotational DOF is not considered for plate elements. You can apply the other rotational DOFs and all of the translational DOFs as needed.

Nodal forces, nodal moments (except when about an axis normal to the element face), pressures (normal to the element face), acceleration/gravity, centrifugal and thermal loads are supported.

Surface-based loads (pressure, surface force, etc. but not constraints) and element properties (thickness, element normal coordinate, etc.) are applied to an entire plate element. Since these items are based on the surface number of the lines forming the element, and since each element could be composed of lines on four different surface numbers, how these items are applied depend on whether the mesh is created automatically (by either the mesher from a CAD model or the 2D mesh generation), or whether the mesh is created by hand. The surface number of the individual lines that form an element are combined as indicated in Table 1 to create a "surface number" for the whole element. Loads and properties are then applied to the entire element based on the element's "surface number".

How Mesh Was Created	Definition of "Surface Number" of Element
Midplane Mesh from CAD Model	All elements coincident with the collapsed surface of the CAD model will be on the CAD's "surface number" regardless of the surface number of the lines.
Plate/Shell Mesh from CAD Model	All elements coincident with the surface of the CAD model will be on the CAD's "surface number" regardless of the surface number of the lines.
2D Mesh from Sketches	All elements are assigned to surface number 1 regardless of the surface number of the lines.
Hand-built Mesh and Modified Automatic Meshes	The highest surface number of any line on the element determines the "Surface Number" of the entire element. This is the "voting rule".

Table 1: Definition of Plate Element "Surface Number"



Note

An automatic mesh that is later modified is treated as a hand-built mesh. Thus, some loads or element properties may change based on the surface number of the lines.

Plate Element Parameters

To enter the element parameters, select the "**Element Definition**" entry in the tree view for the plate element part or parts, right-click, and choose "**Modify Element Definition...**". Alternatively, select the part or parts in the display area or tree view, right-click, and choose "**Modify: Element Data...**".

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 117
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	



The Element Definition for multiple parts can be modified simultaneously only if all of the parts are mid-plane meshed or all of the parts are hand-built. You cannot modify a mix at the same time.

The Element Definition includes the following input:

Material Model: Specify the material model for this part in the "Material Model" drop-down box. If the material properties in all directions are identical, select the "Isotropic" option. If the material properties vary along two orthogonal axes, select the "Orthotropic" option. (The orientation of the orthotropic axes are then defined using the "Nodal Order Method" option. See below.)

Element Formulation: Specify what type of element formulation will be used for this part in the "Element Formulation" drop-down box. The "Veubeke" option uses the theory by B. Fraeijls de Veubeke for plate formulation for displaced and equilibrium models. This option is recommended for plate elements that have little or no warpage. The "Reduced Shear" option uses the constant linear strain triangle (CLST) with reduced shear integration and Hsieh, Clough and Tocher (HCT) plate bending element theories. This option is recommended for plate elements that contain significant warpage. The "Linear Strain" option uses the CLST without reduced shear integration and HCT plate bending element theories. The "Constant Strain" option uses the constant strain triangle (CST) and HCT plate bending element theories.

Temperature Method: There are three options for performing a thermal stress analysis with plate elements. These are selected in the "Temperature Method" drop-down box. If the "Stress Free" option is selected, the thermal strain (ϵ) will be calculated as the product of the difference of the nodal temperatures (T_{node}) applied to the model and the "Stress Free Reference Temperature" (T_{ref}), and the thermal coefficient of expansion (α): $\epsilon = (T_{node} - T_{ref}) \cdot \alpha$. The "Stress Free Reference Temperature" is entered in the appropriate field of the Element Definition dialog. If the "Mean" option is selected, the thermal strain will be calculated as the product of the "Mean Temperature Difference" (entered in the spreadsheet) and the thermal coefficient of expansion: $\epsilon = (\text{Mean Temperature Difference}) \cdot \alpha$. If the "Nodal dT" option is selected, the thermal strain will be calculated as the product of the difference of the nodal temperatures applied to the model and 0 degrees and the thermal coefficient of expansion: $\epsilon = (T_{node} - 0) \cdot \alpha$. (Also see "delta T thru thickness" below.)

Twisting coefficient ratio: The undefined rotational degree of freedom (the direction perpendicular to the element) for a plate element is assigned an artificial stiffness to help stabilize the solution. The magnitude of the artificial stiffness equals the "Twisting coefficient ratio" times the smallest bending stiffness of the element.

The linear plate element is a combination of planar plate and membrane elements. The rotational degree of freedom perpendicular to the plate element is undefined on a local basis. When combined with other plate elements at an angle, the global rotational degree of freedom is defined. (Visualize this as the in-plane rotation in one element having a component in the out-of-plane direction for the adjacent element.) In order to avoid a singularity (unknown solution) in the solution of the global stiffness matrix, the twisting coefficient is used to create an artificial stiffness on a local basis. This local stiffness is added to the global stiffness matrix. If this artificial stiffness is too large, the solution behaves as if the model is partially tied down in the twisting direction.

Values for the twisting coefficient ratio that are too large may cause a significant artificial constraint, especially where plates meet at an angle. Values that are too small can increase the maximum/minimum stiffness ratio. A large maximum/minimum stiffness ratio may cause a warning and can make the matrix harder to solve, increasing the chance of an inaccurate solution. (The warning is output during the assembly of the stiffness matrix and before the

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 118
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

solving operation. It may be followed by solution warnings which are a much more serious indicator of problems.)

Note that the maximum/minimum stiffness ratio is not always independent of the units. If the maximum and minimum stiffnesses were due to tension, then the units of each (such as N/mm) would cancel. With plate elements, the maximum stiffness is often a tension (units of force/length) and the minimum stiffness is often the out-of-plane rotation (units like force*length/radian), so the maximum stiffness divided by the minimum stiffness does have units. The "Twisting coefficient ratio" may need to be adjusted depending on the units in use.



Caution

If the "Twisting coefficient ratio" is too large, some of the applied load is transferred to the ground through the artificial stiffness. In a linear static stress analysis, one way to check if the ratio is affecting the results is to check the reaction forces and moments. If the reactions are less than the applied loads, then some of the load is "disappearing" through the artificial stiffness. In this case, use a smaller twisting coefficient and re-run the analysis.

Properties: The majority of the Element Definition input is entered in a spreadsheet. The specifics of the input depend on the selection in the "Properties" drop-down box and the "Use mid-plane mesh thickness" checkbox. The options are as follows:

- "Properties" set to "Part-based". All of the elements in the part use the same properties regardless of the element's "surface number". One row is shown in the spreadsheet.
- "Properties" set to "Surface-based". All of the properties in the spreadsheet are entered based on the element's "surface number". One row appears in the spreadsheet for each surface number in the part. Note that some rows may appear because lines exist with the surface number even though no elements have that surface number. The input for such conditions would have no affect on the model. (See Table 1 in the above section "What is a Plate Element" for the definition of the element's surface number.)
- "Use mid-plane mesh thickness" is activated. This option is available when the part was created from a CAD model by the automatic midplane mesher. When activated, the thickness of the elements is determined by the midplane mesher, so the "Thickness" and "Design Variable" columns are not shown in the spreadsheet.
- "Use mid-plane mesh thickness" is not activated or disabled. When not activated, the thickness of the elements is entered by the user. The "Thickness" and "Design Variable" columns are shown in the spreadsheet.



Note

If multiple parts are selected and the Element Definition is modified, the "Properties" will be set to "Part-based". If the user changes it, then all of the surface numbers that appear in all of the selected parts will be listed in the spreadsheet. Obviously, some surface numbers may not appear in all parts. The user should be familiar with the model when entering data for multiple parts.

The complete list of columns that appear in the spreadsheet is as follows:

- "Surface". The surface number of the element. Because of the mesh generation and voting rule (see Table 1 in "What is a Plate Element" above), some surface numbers may appear in the lines of the mesh but not the "surface number" of the element. Thus, some surface numbers listed in the spreadsheet (that is, some rows) may have no affect on the part. This column is hidden when the "Properties" is set to "Part-based".
- "Design Variable". If the checkbox is activated, then the thickness of the corresponding elements will be a variable for design optimization. This column is hidden when "Use mid-plane mesh thickness" is activated.
- "Thickness". Enter the thickness of the element. The element is considered to be drawn at the midplane of the plate element. Therefore, half of the entered value for thickness will be considered on top of the element while the other half will below the midplane. See Figure 1. You must enter a value for the thickness to run the analysis. This column is hidden when "Use mid-plane mesh thickness" is activated.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 119
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

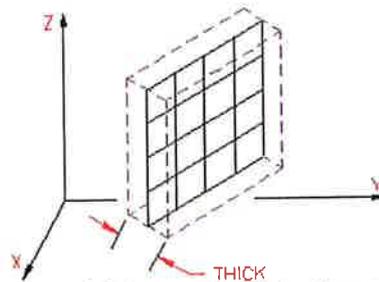


Figure 1: Thickness of a Plate Element

- **"Normal Point (X)", "Normal Point (Y)", and "Normal Point (Z)".** A point in space is used to control the orientation of the element's normal axis (+3 axis), or which side of the element is the top side (+3 side) and the bottom side (-3 side). The normal direction is determined by specifying a point in space using the **"Normal Point (X)", "Normal Point (Y)"** and **"Normal Point (Z)"** columns. See Figure 2. A positive normal pressure will be applied normal to the plate elements in the direction of the +3 axis and thus will point away from the element normal point.



Tip

The normal point does not need to be "over" the element as implied by Figure 2. Mathematically, the side of the plate element that "faces" the element normal coordinate is the bottom of the element.

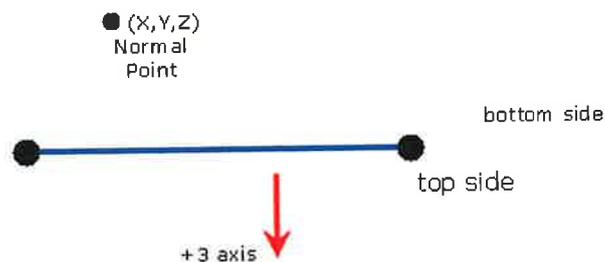


Figure 2: Determining the Element Normal

The edge-on view of the plate element is shown.

- **"Nodal Order Method".** For a general FEA analysis, you can ignore the element's in-plane orientation (axis 1 and 2). The ability to orient elements is useful for elements with orthotropic material models and for easily interpreting stresses in local element coordinate systems. Which method is used to control the in-plane orientation is done with the **"Nodal Order Method"** drop-down box. If the **"Default"** option is selected, the edge of an element with the highest surface number will be chosen as the ij side. If the **"Orient I Node"** option is selected, the node on an element that is closest to the "Nodal Point" (see next item) will be designated as the i node. The j node will be the next node on the element following the right-hand rule about the element's normal axis (+3 axis). If the **"Orient IJ Side"** option is selected, the side of an element that is closest to the "Nodal Point" will be designated as the ij side. The i and j nodes will be assigned so that the j node can be reached by following the right-hand rule about the element's normal axis (+3 axis) along the element from the i node. Once the i and j nodes and axis 3 are defined, the element's local 1 and 2 axes are determined. See Figure 3.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 120
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

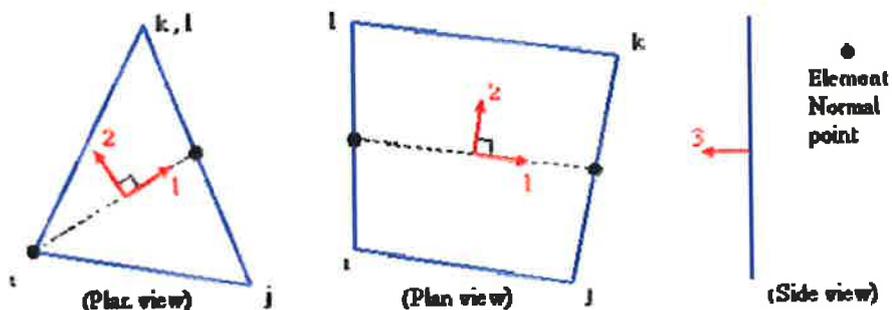


Figure 3: Local 1 and 2 axes for Plate Elements

The dots along the side of the element are at the midpoint of the side.

- **"Nodal Point (X)", "Nodal Point (Y)", and "Nodal Point (Z)".** If the "Nodal Order Method" for in-plane orientation is set to "Orient I Node" or "Orient IJ Side", then use these three columns to enter a coordinate to define the element's in-plane orientation (see previous item).
- **"delta T thru thickness".** Regardless of the method selected in the "Temperature Method" drop-down box, you can specify the temperature gradient in local 3 direction in the **"delta T thru thickness"** column. This is equal to the change in temperature across the plate divided by its thickness: $\text{delta T thru thickness} = (T_{\text{top}} - T_{\text{bottom}}) / \text{thickness}$. See Figure 4. A temperature gradient causes the plate to bend but not to grow or shrink.

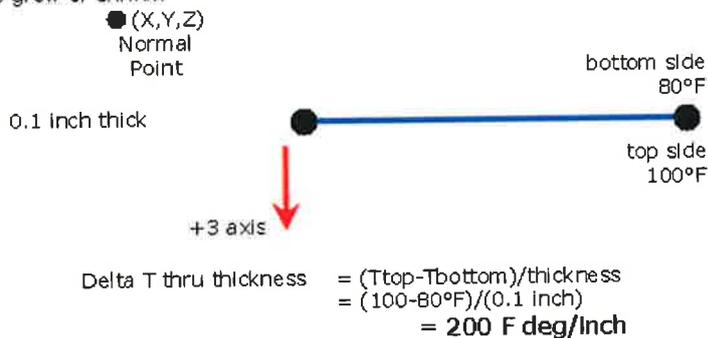
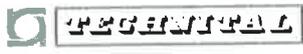


Figure 4: Temperature Gradient Through a Plate Element



Tip

The input can be copied from one row and pasted into other rows. Right-click on the row to be copied and choose **"Copy Row"**. Then highlight the destination row or multiple rows, right-click, and choose **"Paste Row(s)"**.

	Rev.	Data:	El. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 121
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Brick Elements

Ref: http://download.autodesk.com/us/algqr/userguides/mergedProjects/setting_up_the_analysis/whskin_ho_mepage.htm

What is a Brick Element?

Brick elements are four-, five-, six- or eight-node elements formulated in three-dimensional space. Brick elements are used to model and analyze objects such as wheels, flanges, and turbine blades. Brick elements have the ability to incorporate midside nodes (producing 21-node elements) and several material models.

When applying loads to a surface number of a brick part, be aware that some models may not have all of the lines on the face to be loaded on the same surface number. What happens in this situation? If the model originated from a CAD solid model, all faces coincident with the surface of the CAD model will receive the load regardless of the surface number of the lines. In hand-built models and on CAD parts that are altered so that the part is no longer associated with the CAD part, the surface number that is common in any three of the four lines that define a face (four-node region) or two of the three lines (three-node region) determines the surface number of that face.

Brick elements, by definition, cannot have rotational degrees of freedom (DOFs). You can apply translational DOFs as needed.

Several geometries of the brick element are available for structural analysis. These element versions have 4, 5, 6, 7 and 8 nodes available.

These 4- to 8-node elements are formulated in 3-D space, and have only three degrees-of-freedom defined per node: the X translation, the Y translation and the Z translation. Incompatible displacement modes are available only for 8-node elements. Pressure, thermal and inertial loads in three directions are the allowable element based loadings. You may also use centrifugal and nodal loads.

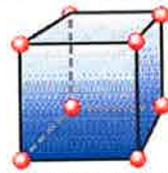


Figure 1: 3-D Brick Element, 8-node

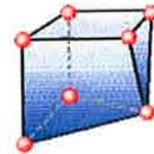


Figure 2: 3-D Brick Element, 7-node

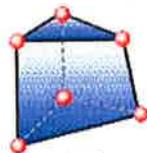


Figure 3: 3-D Brick Element, 6-node

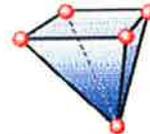


Figure 4: 3-D Brick Element, 5-node

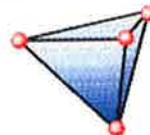


Figure 5: 3-D Brick Element, 4-node

The elements with less than 8 nodes are known as hybrid elements. They serve as transition elements between 8-node bricks and other elements such as tetrahedrons.

	Rev.	Data:	EI. MV082P-PE-NAR-2018-C0	Pag. n. 122
	Rev.: C0	Data: 28/03/2013	NOTE INTEGRATIVE SULLE RELAZIONI DI CALCOLO	

Brick Element Parameters

When using brick elements, you must specify the material model for this part in the "**Material Model**" drop-down box. If the material properties in all directions are identical, select the "**Isotropic**" option. If the material properties vary along three orthogonal axes, select the "**Orthotropic**" option. If the material properties vary with temperature, select either the "**Temperature Dependent Isotropic**" or "**Temperature Dependent Orthotropic**" option. If you are performing a voltage induced stress analysis, select either the "**Piezoelectric**" or "**General Piezoelectric**" option. If you want to define the material properties by specifying the stiffness matrix, select the "**Anisotropic**" option.

The next parameter that can be defined is the compatibility. This is done in the "**Compatibility**" drop-down box. See [Incompatible Displacement Modes](#) for more information.

- If the "**Not Enforced**" option is selected, gaps or overlaps will be allowed along inter-element boundaries. These elements are formulated using an assumed linear stress field. These elements are most effective as low aspect ratio rectangles. The "Compatibility: Not Enforced" only applies to 8-node elements. The other configurations (6-, 5-, and 4-node elements) are always "Compatibility: Enforced".
- If the "**Enforced**" option is selected, overlaps or discontinuities will not be allowed along inter-element boundaries. These elements are formulated using an assumed linear displacement field. These elements can overestimate the stiffness of the structure. In general, a greater mesh density in the direction of the strain gradient is required to achieve the same level of accuracy as elements for which the "**Not Enforced**" option is selected.

If you want the brick elements in this part to have the midside nodes activated, select the "**Included**" option in the "**Midside Nodes**" drop-down box. If this option is selected, the brick elements will have additional nodes defined at the midpoints of each edge. (For meshes of CAD solid models, the midside nodes follow the original curvature of the CAD surface, depending on the option selected before creating the mesh. For hand-built models and CAD model meshes that are altered, the midside node is located at the midpoint between the corner nodes.) This will change a 8-node brick element into a 20-node brick element. An element with midside nodes will result in more accurately calculated gradients. This is especially useful when trying to model bending behavior with few elements across the bending plane. Elements with midside nodes increase processing time. If the mesh is sufficiently small, then midside nodes may not provide any significant increase in accuracy.



Tip

The displacement at midside nodes are always output. The stress and strain at midside nodes are output only if the user activates the option to output these results before running the analysis. The option is located under the "**Analysis: Parameters...**" dialog. (The location under the Analysis Parameters varies from analysis type to analysis type.)

Next, select the integration order that will be used for the brick elements in this part in the "**Integration Order**" drop-down box. For rectangular shaped elements, select the "**2nd Order**" option. For moderately distorted elements, select the "**3rd Order**" option. For extremely distorted elements, select the "**4th Order**" option. The computation time for element stiffness formulation increases as the third power of the integration order. Consequently, the lowest integration order which produces acceptable results should be used to reduce processing time.

If you are performing a thermal stress analysis on this part, specify the temperature at which the elements in this part will experience no thermally induced stresses in the "**Stress Free Reference Temperature**" field. Element based loads associated with constraint of thermal growth are calculated using the average of the temperatures specified on the nodal point data lines. The reference temperature is used to calculate the temperature change. Thermal loading may be used to achieve other types of member loadings. For these cases, an equivalent temperature change (ΔT) is used.