

**Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Centro Settentrionale**

Porti di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta

**PROGETTO ESECUTIVO
PRIMO LOTTO FUNZIONALE OPERE STRATEGICHE (II stralcio):
BANCHINAMENTO DARSENA SERVIZI**

IL PRESIDENTE
Dott. Pino Musolino

**IL PROGETTISTA E COORDINATORE DELLA
PROGETTAZIONE**

Dott. Ing. Giuseppe Solinas

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Maurizio Marini

Collaboratori APC

geom. Vittorio Lauro
geom. Jacopo Turchetti
arch. Marco Vettrai
ing. Fabio Candido Poleggi

RELAZIONE GENERALE

ELABORATO

R.G.

CODICE PROGETTO: CVPEOMTT02-18

REV.	DATA	Descr.
0	DICEMBRE 2019	
1	FEBBRAIO 2021	Adeguamento ai rapporti di Verifica Preventiva ai sensi dell'Art. 26 D. Lgs 50/2016
RIF.DIS.	\\VSRV-FSERVER02\UT1\CIVITAVECCHIA\IP_DISEGN\O.D. SERVIZI BANCHINAMENTO\PROGETTO ESECUTIVO OPERE MARITTIME\B_PROG. ESEC. REV. 1 EDITABILI\DOCUMENTI\TESTATINE DOCUMENTI.DWG	

INDICE

PREMESSA.....	2
1. INSERIMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO DELLA DARSENA SERVIZI	7
2. SINTESI DELLE INDAGINI CONOSCITIVE ESEGUITE.....	9
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	12
3.1 Articolazione delle Fasi Realizzative	18
4. ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI.....	21
5. LOCALIZZAZIONE DELLE CAVE EVENTUALMENTE NECESSARIE.....	23
6. ARREDI DI BANCHINA	23
6.1 Predisposizioni per il passaggio delle dorsali impiantistiche	28
7. MATERIALI E COMPONENTI STRUTTURALI DI RIFERIMENTO.....	29
7.1 Concetti generali	29
7.2 Calcestruzzi.....	29
7.2.1 Caratteristiche dei calcestruzzi.....	31
7.3 Acciaio	31
7.3.1 Caratteristiche degli acciai.....	32
7.4 Legami costitutivi dei materiali utilizzati	32
7.4.1 Conglomerato cementizio.....	32
7.4.2 Acciaio da cemento armato.....	33
8. CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI ...	33
8.1 Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità	34
9. MONITORAGGI AMBIENTALI.....	35
10. ONERI ED OBBLIGHI DELL'APPALTATORE	36

PREMESSA

L'intervento oggetto della presente Relazione Tecnica riguarda esclusivamente i lavori di completamento delle infrastrutture marittime interne alla Darsena Servizi, l'organizzazione degli spazi a terra è rimandata ad un successivo intervento. Pertanto, rientra tra gli interventi che sono stati già pianificati, progettati ed avviati con il "*I Lotto Funzionale delle Opere Strategiche*" (prolungamento Antemurale C. Colombo, darsene Traghetti e Servizi) e si colloca tra quelle opere, previste nell'ambito del PRP 2004, volte alla differenziazione dei traffici ed alla razionalizzazione ed alla omogeneizzazione settoriale delle destinazioni funzionali caratterizzanti sia degli accosti sia delle aree.

La differenziazione permetterà la netta separazione dell'ambito portuale nei due principali subambiti caratterizzanti appresso riportati:

- 1) Subambito Porto Storico, area d'interazione porto città.
- 2) Subambito Porto Operativo, destinato al traffico dei passeggeri e delle merci.

La nuova disposizione permetterà di delocalizzare tutte le attività connesse ai servizi alle navi (Rimorchiatori, ormeggiatori, piloti, imbarcazioni di servizio per le attività di bunkeraggio etc.), alla sicurezza (Capitaneria di Porto, Guardia di Finanza, Carabinieri, Polizia di Stato, Vigili del Fuoco etc.) e la flotta peschereccia dalle attuali postazioni, sparse in modo disorganico nel porto, in un ambito all'uopo dedicato, più funzionale sia per dimensione degli spazi dedicati sia per la posizione strategica all'interno del futuro layout portuale.

Il trasferimento all'interno della D.S. di tutte le attività di servizio e supporto al traffico navale contribuirà in modo sostanziale al processo di razionalizzazione e di omogeneizzazione delle destinazioni d'utilizzo delle diverse zone del porto, permettendo di allontanare dal centro cittadino ed in particolare dalla Darsena Romana, tutte le attività di tipo operativo e di completare ulteriormente la trasformazione del Porto Storico in luogo di grande valenza turistica e culturale.

Inoltre, tale nuova disposizione, rispetto all'attuale situazione che vede i mezzi nautici di servizio collocati nella zona più lontana dall'imboccatura, minimizzando i tempi di ingresso/uscita, viene incontro all'esigenza di migliorare l'efficienza dei servizi nautici offerti dal porto in modo tale da poter disporre nell'arco della giornata di un servizio ottimale ed efficace.

Come accennato poc'anzi, l'intervento in argomento riguarda sostanzialmente il completamento dei banchinamenti interni alla nuova Darsena Servizi. Infatti, tutti gli interventi relativi alla organizzazione ed alla urbanizzazione dei relativi piazzali sono rimandati ad una successiva fase progettuale ed attuativa che potrà essere perfezionata una volta focalizzato e chiarito nel dettaglio il quadro esigenziale di tutti gli operatori coinvolti.



Figura 1 - Aerofoto del Porto di Civitavecchia (anno 2015)

Analogamente alle restanti opere del I Lotto delle Opere Strategiche (Antemurale Cristoforo Colombo e banchinamento interno della Nuova Darsena Traghetti), il completamento dei banchinamenti interni della D.S. sarà realizzato sostanzialmente da cassoni pluricellulari in conglomerato cementizio armato, zavorrati con materiale inerte proveniente dalle operazioni di dragaggio. Il piano di estradosso dello scanno di basamento, in funzione della collocazione topografica, sarà posizionato ad una profondità variabile compresa tra i 6,0m e gli 8,0m, sopra un rilevato di pietrame di idonea pezzatura opportunamente sagomato, disposto, in funzione delle condizioni al contorno, sul sedime esistente od oggetto di preventivo dragaggio. La sovrastruttura che andrà a costituire il piano di banchina, complanare al retrostante piazzale operativo, è anch'essa in c.a..

Con l'occasione va evidenziato che il presente progetto è la rivisitazione, originata da necessità ed esigenze tecniche, amministrative e funzionali di una parte componente del più ampio progetto delle *“Opere Strategiche I° Lotto funzionale per il Porto di Civitavecchia, prolungamento antemurale C. Colombo, darsena servizi e darsena traghetti”* già oggetto di validazione, nella sua interezza, da parte della società Italsocotec S.p.a., come è facile desumere dal verbale di validazione del progetto esecutivo del 05.12.2011 che si allega in fondo alla presente relazione.

Questa project review si è resa necessaria al fine di adeguare il progetto alle mutate condizioni tecniche, normative, esigenti quali, a solo titolo esemplificativo e non esaustivo, quelle che vengono appresso elencate:

- variate normative di settore, in particolare D.M. 17.01.2018 “aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”, D.lgs. 50.2016 “codice dei contratti pubblici”.
- Aggiornamento dei prezzi rispetto al progetto complessivo originario andato in gara “Opere Strategiche I° Lotto funzionale per il Porto di Civitavecchia”, i quali, trascorsi più di nove anni non sono da ritenersi più attuali e pertanto replicabili.
- Ottimizzazione delle geometrie inerenti alle verticali di banchina finalizzate a migliorare le condizioni di fruibilità dell'opera. Al riguardo, le quote dei piazzali immediatamente retrostanti le banchine sono state portate a + 1,5m l.m.m. dai precedenti + 2,5 m l.m.m., riducendo conseguentemente di 1,0 m l'altezza del fusto dei cassoni e, pertanto, le relative azioni e sollecitazioni di calcolo.
- Ottimizzazione delle geometrie inerenti alle diverse componenti strutturali dei cassoni finalizzate a migliorare le condizioni di durabilità e di esecuzione dell'intervento.

Dal punto di vista fisico e strutturale le variazioni apportate hanno comportato la necessità di rivedere tutti gli elaborati grafici e le allegate relazioni sia tecniche sia di calcolo al fine di poter valutare le nuove condizioni di sicurezza nei confronti dei vari stati limite ultimi e di esercizio.

In considerazione della particolare tipologia e severità dell'ambiente d'esercizio, particolare attenzione è stata posta nei confronti della durabilità delle opere al fine di minimizzare, quanto più possibile, gli interventi e quindi gli oneri futuri relativi ai lavori manutentivi di tipo sia ordinario sia straordinario.

In particolare, le modifiche geometriche strutturali hanno riguardato sostanzialmente la riprogettazione di alcune geometrie relative alle sezioni resistenti, infatti, nel vecchio progetto esecutivo gli spessori di calcestruzzo a protezione delle armature, per alcune componenti strutturali seppur secondarie e non principali, erano di soli 2 cm, quindi, tali da non risultare conformi agli spessori minimi previsti nella circolare n° 7 del 21/01/2019 per la specifica tipologia di condizioni al contorno di riferimento "*ambiente molto aggressivo*", così da non garantire la necessaria durabilità.

A solo titolo esemplificativo, il nuovo spessore della soletta prefabbricata, seppur considerata nei modelli di calcolo come semplice cassero a perdere, è stato opportunamente incrementato sino a 25 cm al fine di rispettare i prescritti valori di copriferro, indipendentemente dalla necessità che le armature d'intradosso, inglobate nella sovrastruttura, svolgessero o meno una funzione statica anche nella fase d'esercizio del banchinamento.

Allo stesso modo, è stato opportunamente incrementato lo spessore di copriferro nella parte di estradosso della soletta finita portando il relativo valore da 4,0 cm a 5,0 cm così come previsto dalla relativa circolare di riferimento per le specifiche condizioni al contorno (sia ambientali sia di vita nominale della infrastruttura - Tipo 3 Tabella 2.4.I delle N.T.C.), parimenti si è proceduto per tutte le componenti strutturali.

Negli elaborati grafici, come accennato, è stata modificata la disposizione plano-altimetrica delle armature integrative inferiori, poste incrociate secondo le due direzioni principali, in modo da avere sempre i giusti valori di copriferro finalizzati all'esito positivo delle verifiche dei minimi valori di ricoprimento di calcestruzzo e degli stati limite d'esercizio relativamente agli aspetti della durabilità.

Vista l'importanza dell'opera e le particolari condizioni d'esercizio non si è tenuto conto delle possibili riduzioni di spessore del copriferro ammesse, dalle "Istruzioni per l'Applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018", per armature autoprotette quali sono quelle che verranno poste in opera nell'infrastruttura oggetto della presente relazione, barre di acciaio zincato a caldo.

Logicamente, le variazioni di spessore e di altezza dei cassoni e delle altre componenti strutturali hanno determinato, nelle diverse fasi costruttive e di esercizio, consequenziali variazioni: dei carichi

indotti dal peso proprio, delle sollecitazioni indotte dall'acqua in fase di galleggiamento e dal terrapieno durante le diverse fasi costruttive ed in fase di esercizio etc.

Variazioni che hanno richiesto l'adeguamento dei calibri, dei quantitativi e della disposizione plano-altimetrica delle barre d'armatura e la rielaborazione delle verifiche strutturali relativamente agli stati limite sia ultimi sia di esercizio.

Da ultimo ma non meno importante da un punto di vista formale ma sostanziale, va evidenziato come il presente progetto sia focalizzato esclusivamente sui lavori di completamento della infrastruttura marittima della sola Darsena Servizi, stralciando alcune lavorazioni originariamente ricomprese all'interno del quadro economico complessivo dei lavori di completamento del I Lotto Funzionale delle Opere Strategiche. Infatti, il valore economico riportato nel corrente Piano Operativo Triennale (circa 26.980.000€) comprendeva lavorazioni che in realtà si riferivano al completamento di tutto quanto inizialmente previsto all'interno del progetto di completamento del I Lotto Opere Strategiche e non solo alla infrastrutturazione marittima della Darsena Servizi (escluse le sole opere di urbanizzazione delle aree), includendo appunto alcune importanti lavorazioni interne alla limitrofa Darsena Traghetti, tra queste erano ricompresi:

- Intervento di consolidamento mediante geodreni in corrispondenza dei piazzali attestati sulla vecchia cassa di colmata.
- L'approfondimento delle batimetrie e la sistemazione delle unghie relative agli scanni di basamento per renderli idonei ad ospitare le navi da crociera di maggiori dimensioni, lunghezze fuori tutto superiori ai 360,0m.
- Gli arredi di banchina sugli accosti 33 e 34 quali dispositivi per la difesa elastica degli accosti (quali parabordi di tipo cilindrico con scudo frontale) ed in particolare le bitte antitempesta.
- Riempimenti in materiale arido idoneo per la realizzazione di rilevati di una importante porzione dei piazzali retrostanti i banchinamenti della Darsena Traghetti.
- Pontile n° 2 (banchine 29 e 30) della Darsena Traghetti.

Pertanto, grazie alla modifica del quadro delle nuove esigenze, alla luce di nuove indagini conoscitive del sottosuolo ed all'avvio indipendente di alcune lavorazioni è stato possibile rimodulare le disponibilità economiche ottimizzandole in modo più efficace ed efficiente.

Le scelte progettuali hanno tenuto conto delle disposizioni di cui al Titolo IV, nonché all'allegato XV del D.Lgs. 81/08 e s.m.i., garantendo, per l'esecuzione delle attività previste, luoghi di lavoro adeguatamente sicuri e rispondenti alle condizioni minime richieste dalla normativa. Con specifico riferimento al contesto in cui va a collocarsi l'opera, l'elaborato Piano di Sicurezza e Coordinamento redatto in fase di progettazione ai sensi dell'art. 91 del TUS, al quale si rimanda,

riporta in maniera esaustiva l'analisi e la valutazione dei rischi concreti, con riferimento alle singole lavorazioni ed alle reciproche interferenze. Le aree di cantiere e le singole fasi lavorative sono state concepite garantendo l'eliminazione o comunque la riduzione al minimo dei rischi considerando anche tutti i fattori esterni che possono comportare rischi per il cantiere, nello specifico, considerato il contesto in cui questo si colloca, sono stati, tra gli altri, ampiamente valutati il rischio di investimento ed il rischio di annegamento.

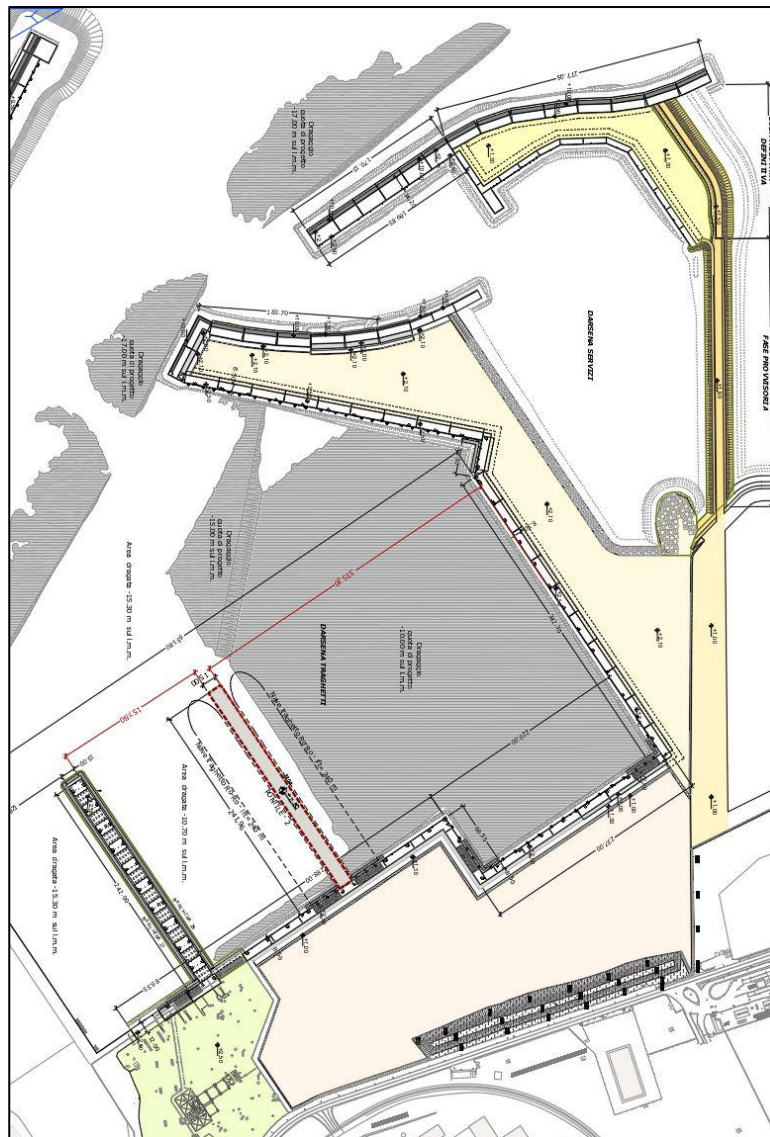


Figura 2 - Darsena Servizi – Planimetria d’inserimento con le opere di difesa (molo di soprafflutto e sottofflutto, opera a gettata a Nord) e parte del banchinamento interno

1. INSERIMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO DELLA DARSENA SERVIZI

La Darsena Servizi, conformemente al PRP (versione 2004) attualmente vigente, risulta ubicata nella parte Settentrionale del Porto Commerciale (vedi fig. 3) tra la Darsena Traghetti a Sud e la non ancora realizzata Darsena Energetica Grandi Masse a Nord (D.E.G.M.).

In base agli obiettivi ed alla Componente Funzionale Caratterizzante (Norme Tecniche Attuative del vigente P.R.P.) è destinata ad ospitare le autorità di pubblica sicurezza (VVF, Guardia di Finanza, Carabinieri, Guardia Costiera, Polizia di Stato,...), i servizi portuali (ormeggiatori, e battellieri, rimorchiatori, piloti bettoline con funzioni di bunkeraggio e mezzi per la salvaguardia ambientale...), la flotta peschereccia locale (grande e piccola pesca) al fine di organizzare e raggruppare omogeneamente una serie di attività minori ma di importanza vitale e strategica, attualmente ubicate in modo disorganico e diffuso per tutto l'ambito portuale.

La progettazione delle opere di urbanizzazione delle aree attestate è rimandata ad un secondo tempo, attraverso il completamento di una fase conoscitiva di condivisione con i potenziali concessionari e fruitori dell'area, finalizzata a poter mettere a fuoco le reali necessità ed esigenze per meglio ottimizzare i relativi interventi a terra.

La configurazione attualmente vigente della Darsena Servizi deriva dalla sovrapposizione dei due documenti tecnici qui di seguito indicati:

- P.R.P. 2004 approvato, in data 23 marzo 2012, con delibera n. 121 dalla Giunta Regionale del Lazio, ai sensi dell'articolo 5 comma 4 della legge 84/94;
- Layout della Darsena Traghetti aggiornato a seguito dell'approvazione della perizia di variante relativa ai lavori di Legge Obiettivo "Opere Strategiche per il Porto di Civitavecchia. I Lotto Funzionale: Prolungamento Antemurale C. Colombo, Darsena Servizi e Darsena Traghetti" approvata con decreto n°219 del 22/05/2013 dal soggetto aggiudicatore ai sensi del comma 4, art. 169, del D.lgs. 163/2006 e s.m.i. e., integrata a seguito delle successive positive valutazioni del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (DVA/DEC-2015-0000216 del 26/06/2015) e del Ministero delle Infrastrutture (nota prot. 5963 del 16.05.2017).

Allo stato attuale il sedime in corrispondenza dell'area d'intervento è in parte occupato da un'opera a gettata composta da massi artificiali tipo antifer e da scogli naturali, per la gran parte classificabili come II categoria, che dovranno essere propedeuticamente rimossi mediante salpamento nel rispetto delle sagome e dei profili indicati in progetto.

A proposito di quest'ultimo punto, essendo ormai passati alcuni anni dalla ultimazione dell'infrastruttura marittima, così come si presenta nella attuale configurazione, risulta ampiamente confermato che gli stati di agitazione residua del moto ondoso rilevati in corrispondenza della ubicazione dell'opera non hanno fatto altro che confermare le valutazioni qualitative e quantitative elaborate in sede di progetto principale.

Un discorso a parte, ovviamente, va fatto relativamente alle indagini integrative eseguite e resesi indispensabili per l'ottenimento dell'autorizzazione all'escavo dei fondali.

Infatti, per far sì che la realizzazione dell'intervento di dragaggio possa avvenire nel rispetto delle disposizioni di cui al **D.M. n. 173/2016** "*Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini*" - Decreto Attuativo dell'art.109, comma 2 lettera a) del D.lgs. 152/2006 e s.m.i., sono state eseguite delle indagini integrative di tipo geognostico ed ambientale, finalizzate al prelievo di campioni caratterizzanti le peculiarità fisiche, chimiche, ecotossicologiche del sito oggetto di dragaggio.

Il Piano di campionamento ha identificato complessivamente dieci celle unitarie, oggetto del citato intervento di dragaggio e, pertanto, della propedeutica caratterizzazione chimico, fisica ed ecotossicologica, per come puntualmente riportato nella seguente planimetria

All'interno di ciascuna area unitaria è stata ubicata una Stazione di campionamento nel punto che risulta meglio rappresentativo della morfologia del fondale e, quindi, dei volumi di escavo.

Tali stazioni sono state identificate con la seguente simbologia "Δ".

Avendo previsto, per chiare ragioni di convenienza tecnica ed economica, di perseguire quale unica opzione di gestione la deposizione dei fanghi in ambiente conterminato, è stato possibile ricorrere alle semplificazioni introdotte dal suddetto D.M.173/2016, prevedendo la creazione di campioni compositi.

I campioni compositi, pertanto, sono ottenuti per miscelazione a fresco di aliquote di pari volume (minimo 100 cc) prelevate dalla medesima sezione (Livello) delle celle unitarie contigue, aventi caratteristiche macroscopiche similari.

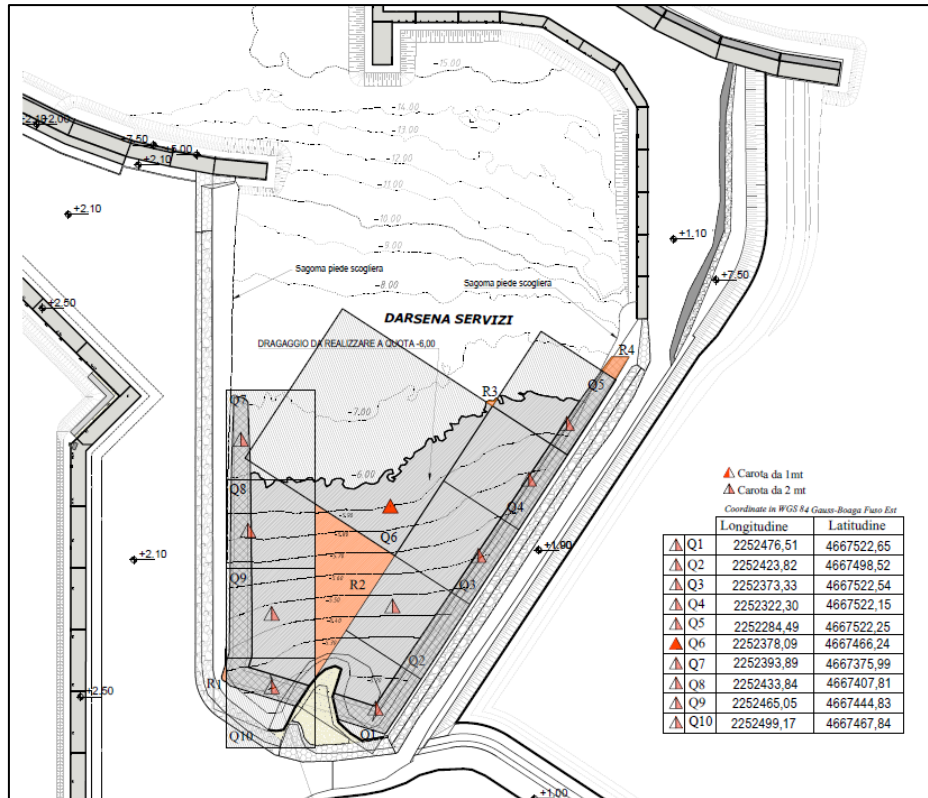


Figura 4 - Ubicazione delle stazioni di campionamento finalizzate alla caratterizzazione chimico, fisica ed ecotossicologica

La tecnica di campionamento utilizzata è stata quella del carotaggio; per ciascuna carota sono state individuate sezioni di 50 cm, 100 cm o 200 cm, secondo le seguenti modalità:

- ÷ le carote fino a 1 m di altezza sono state suddivise in due sezioni, di cui la prima di 50 cm a partire dalla sommità;
- ÷ per carote con altezza superiore ad 1 metro e fino a 2 m, oltre alle 2 sezioni di cui al punto precedente, è stata individuata una terza sezione rappresentativa del metro successivo al primo (TOT 3 sezioni).

	Celle unitarie contigue	Volume TOT (mc)	Livelli (cm)	N TOT LIVELLI DA PRELEVARE	Campioni composti PREVIA OMOGENIZZAZIONE	Totale campioni da SPEDIRE
DARSENA SERVIZI	Q3-Q4*-Q5	2.791,70	0-50	3	1^	4
			50-100	3	1^	4
			100-200	3	1^	4
	Q10-Q1*-Q2	10.678,61	0-50	3	1^	4
			50-100	3	1^	4
			100-200	3	1^	4
	Q7-Q8*-Q9	2.489,33	0-50	3	1^	4
			50-100	3	1^	4
			100-200	3	1^	4
	Q6	226,27	0-50	1		1
			50-100	1		1
	* cella riferimento per c. composti					
^ Campioni composti						
TOT				29	9	38

Le risultanze analitiche delle suddette indagini geognostiche ed ambientali (Rapporti di Prova e Tabelle editabili) sono state acquisite dalla AdSP in data 08.08.2019 (prot. 10242).

Nelle successive tabelle sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi granulometrica.

	Ghiaia	Sabbia	Pelite (< 3µm)
Q3-Q4-Q5 /0-50	9,27	82,18	8,55
Q3-Q4-Q5 /50-100	37,73	48,93	13,33
Q3-Q4-Q5 /100-200	37,86	37,44	24,70
Q10-Q1-Q2 /0-50	34,46	52,21	13,33
Q10-Q1-Q2 /50-100	48,39	38,19	13,43
Q10-Q1-Q2 /100-200	60,51	27,84	11,65
Q7-Q8-Q9 /0-50	2,18	89,12	8,70
Q7-Q8-Q9 /50-100	48,03	40,48	11,48
Q7-Q8-Q9 /100-200	54,39	27,62	17,99
Q6/0-50	16,04	43,48	40,49
Q6/50-100	23,32	46,36	30,33

Tabella 1 - Composizione granulometrica dei sedimenti.

Dati espressi in percentuale, livelli 0-50, 50-100, 100-200 espressi in cm.

ISPRA, in virtù della Convenzione sottoscritta in data 13.03.2019 (prot. 3535), ha elaborato le suddette risultanze analitiche ed ha definito le opzioni di gestione percorribili, per come puntualmente riportato nell'elaborato tecnico prodotto, acquisito in data 12.11.2019 al n. 13800 del protocollo generale dell'Autorità di Sistema Portuale.

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il progetto, come accennato in premessa, riguarda sostanzialmente le opere di infrastrutturazione marittima interne alla Darsena Servizi, rimandando ad una successiva fase attuativa l'intervento di urbanizzazione delle aree retrostanti.

Come accennato, i lavori si sostanziano essenzialmente nel completamento della gran parte dei banchinamenti interni potendosi considerare praticamente conclusi, nel precedente appalto, tutte le opere esterne di protezione, cioè:

- tutta la porzione di infrastruttura a cassoni (sopraflutto e sottoflutto) posta a difesa dalla propagazione del moto ondoso proveniente dal largo dal quadrante ovest.
- La diga a gettata posta al confine con la D.E.G.M., a protezione del moto ondoso proveniente dal quadrante Nord, non risultando quest'ultima (D.E.G.M.) ancora realizzata neanche in parte.

Le opere di banchinamento interno alla Darsena Servizi (oggetto della presente relazione), sono costituite esclusivamente da cassoni pluricellulari in conglomerato cementizio armato i quali sono chiamati ad assolvere esclusivamente la doppia funzione di contenimento del retrostante terrapieno congiuntamente a quella di formazione del fronte banchinato destinato all'attracco dei natanti.

Infatti, come è stato possibile sperimentare e quindi confermare direttamente (rispetto alle previsioni progettuali di base del P.R.P.) nel corso di questi anni trascorsi dall'avvenuta conclusione dei lavori di I Stralcio del I Lotto delle Opere Strategiche lo stato di agitazione residua interna alla D.S., grazie al completamento delle opere di protezione, può considerarsi del tutto trascurabile, sia ai fini della valutazione delle azioni derivanti dallo stato ondometrico sia ai fini pratici della fruibilità dello specchio acqueo interno alla Darsena ed in particolare della possibilità di ormeggio dei natanti previsti in progetto. Discorso a parte va invece fatto relativamente alle condizioni di accesso alla D.S., infatti, a tal proposito va evidenziato come seppur per eccezionali e particolari condizioni ondometriche, lo specchio acqueo dell'avamposto risulti particolarmente agitato e tale da non garantire pienamente gli adeguati standard di sicurezza per le manovre di ingresso e di uscita dalla Darsena Servizi.

Più in dettaglio, le opere di banchinamento costituenti la darsena si sostanziano in tre distinte tipologie di cassoni (A, B e C a loro volta suddivise in sottocategorie in funzione delle contingenti condizioni al contorno) che saranno poste in opera secondo lo schema riportato nella tabella 2 e come meglio descritto negli elaborati grafici progettuali.

Nella Tabella sottostante sono sinteticamente riportate le principali grandezze geometriche dei cassoni cellulari della Darsena Servizi. Inoltre, sono riportate le quote d'imbasamento e la presenza o meno di celle antirisacca tra loro interconnesse per l'attenuazione dell'energia ondosa residua.

ABACO CASSONI DARSENA SERVIZI							
Tipologia		Lunghezza	Larghezza	Altezza	Quota Imbasamento	Quota Sovrastruttura	Numero
	Caratteristica	(m)	(m)	(m)	(m)		(n°)
Cassone A	Muro paraonde Celle antirisacca	25.65	10.28	8.30	-8.00	+1.50	3
Cassone A1	Muro paraonde - Celle antirisacca - Solella sagomata	15.05	10.28	8.30	-8.00	+1.50	1
Cassone B	Senza celle antirisacca	15.10	5.00	6.30	-6.00	+1.50	4
Cassone B1	Solella sagomata Senza celle antirisacca	15.10	5.00	6.30	-6.00	+1.50	1
Cassone B1s	Solella sagomata Senza celle antirisacca	15.10	5.00	6.30	-6.00	+1.50	3
Cassone B2	Celle antirisacca	15.10	5.00	6.30	-6.00	+1.50	4
Cassone C	Senza celle antirisacca	20.15	5.00	6.30	-6.00	+1.50	5
Cassone C1	Solella sagomata Senza celle antirisacca	20.15	5.00	6.30	-6.00	+1.50	3
Cassone C1s	Solella sagomata Senza celle antirisacca	20.15	5.00	6.30	-6.00	+1.50	1
Cassone C2	Celle antirisacca	20.15	5.00	6.30	-6.00	+1.50	22
TOTALE NUMERO CASSONI							47

Tabella 2 - Tabella descrittiva delle tipologie di cassoni adottate per la Darsena Servizi

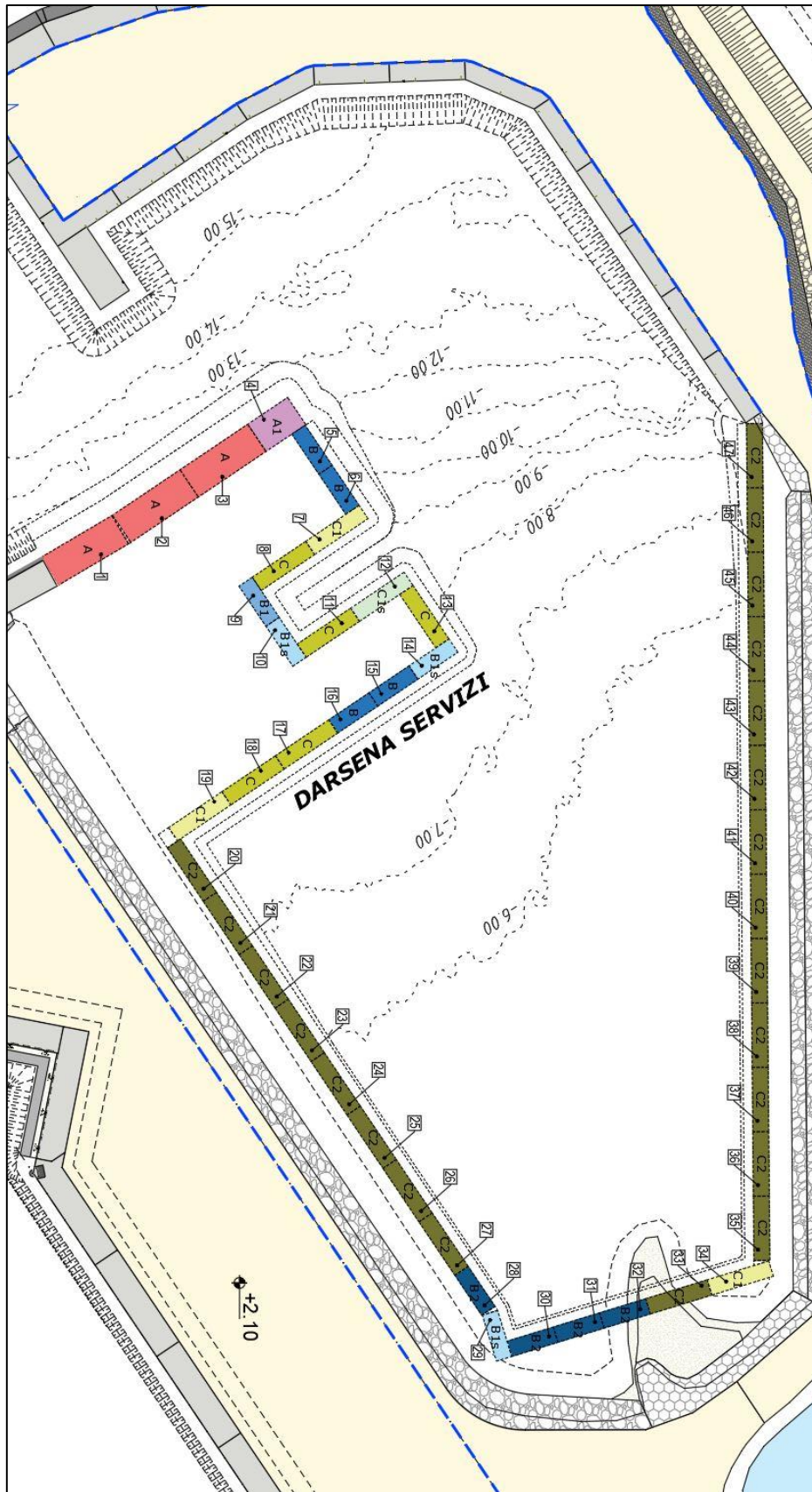


Figura 5 - Planimetria ubicativa delle diverse tipologie di cassoni adottate per il banchinamento interno alla Darsena Servizi

Tutti i cassoni cellulari della Darsena Servizi verranno realizzati in calcestruzzo cementizio armato con classe di resistenza Rck 45 N/mm², classe di consistenza S4, classe di esposizione XS3 e con barre di armatura in acciaio a aderenza migliorata tipo B450C.

Per quanto attiene lo spessore delle varie porzioni strutturali, i cassoni sono stati sostanzialmente suddivisi in due gruppi, di questi per il primo, tipologia A ed A1, relativo ai cassoni di maggiori dimensioni e pertanto di maggior impegno statico (quota di imbasamento - 8,00 m l.m.m.), si è adottata una zattera di fondazione di 80 cm, mentre per le pareti che rappresentano l'involucro esterno del fusto, lo spessore adottato è stato di 50 cm.

Per le altre due tipologie B, B1, B1s, B2, C, C1, C1s e C2 (imbasate alla quota - 6,00 m l.m.m.) è stata invece adottata una zattera di fondazione dello spessore di 50 cm mentre per le pareti costituenti l'involucro esterno del fusto lo spessore adottato è di 30 cm.

Invece, per quanto riguarda le dimensioni delle varie componenti strutturali va detto che su tutti i setti interni, sia trasversali sia longitudinali, appartenenti alle varie tipologie di cassoni, è stato omogeneizzato lo spessore portandolo a 25 cm, pertanto, modificando la scelta del precedente progetto esecutivo che per i setti trasversali prevedeva uno spessore pari a 20 cm.

Inoltre, nel rispetto della precedente scelta progettuale volta a preservare la durabilità dell'opera, per tutte le barre di armatura delle strutture in cemento armato posizionate sia interamente sia parzialmente ad una quota inferiore rispetto a -2,50 m sul livello medio marino, dovrà essere garantito il trattamento di zincatura a caldo per l'intera lunghezza della barra.

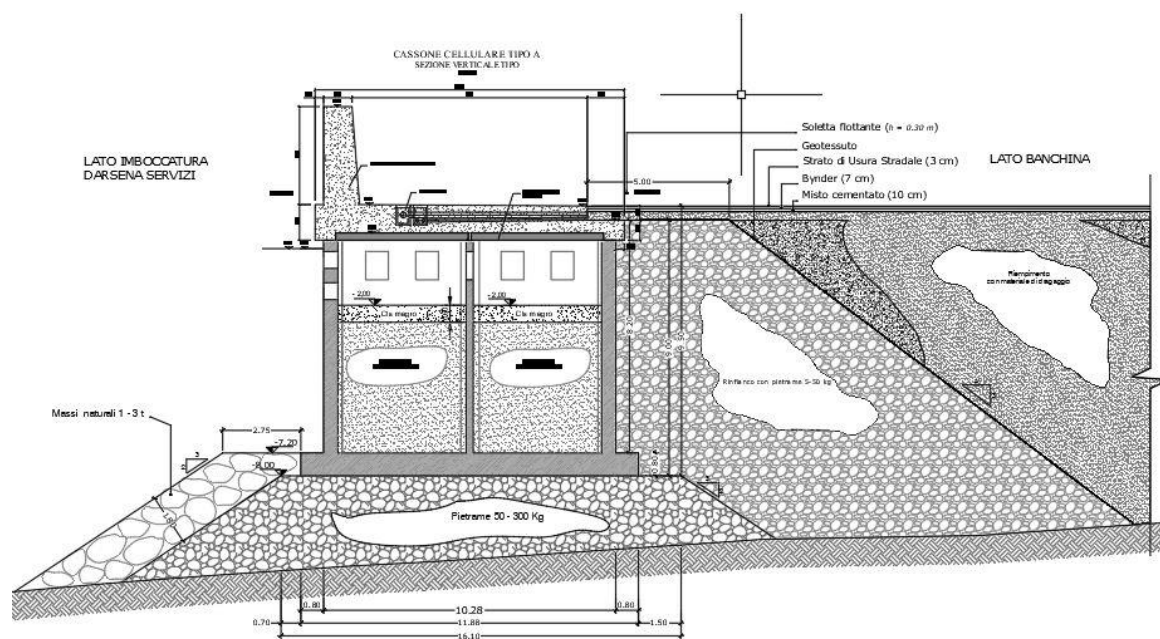


Figura 6 – Sezione trasversale cassone tipo “A”

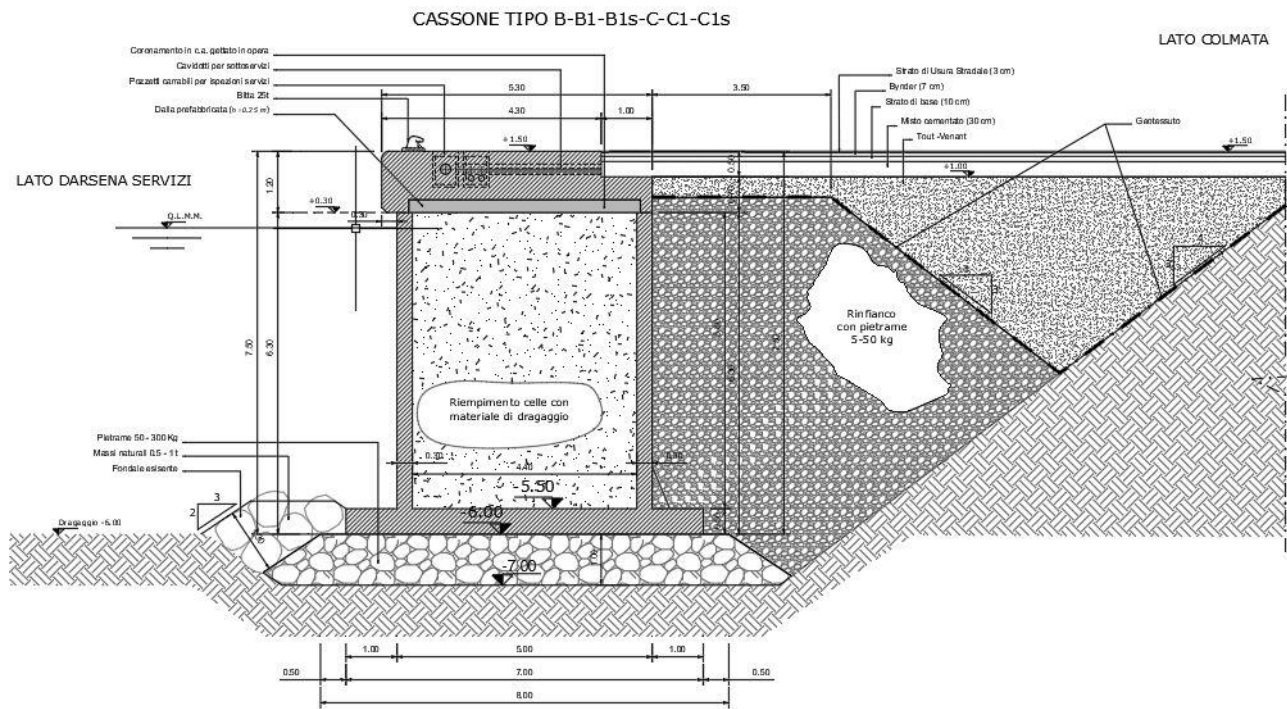


Figura 7 – Sezione trasversale cassoni serie tipo “B e C” senza celle antiriflettenti

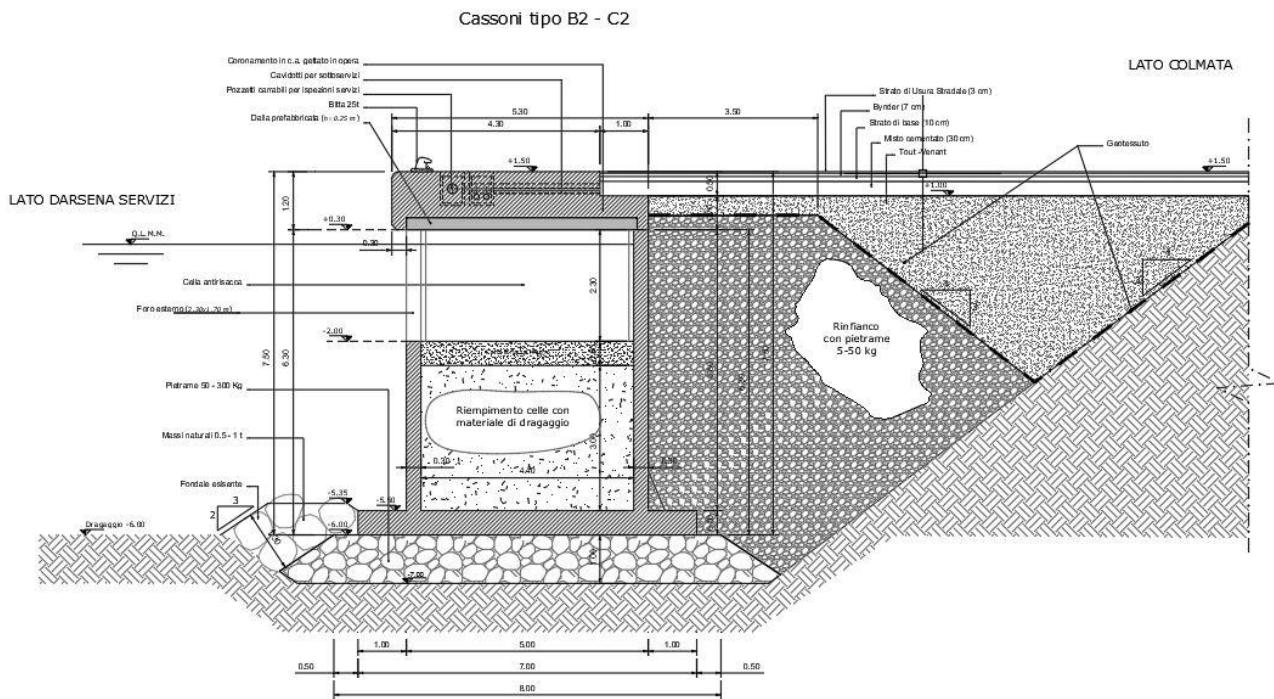


Figura 8 – Sezione trasversale cassoni serie tipo “B e C” con celle antiriflettenti

Relativamente alle attività di dragaggio, come poco sopra accennato, nel paragrafo relativo alle indagini geognostiche integrative rese necessarie per la caratterizzazione chimica, fisica e batteriologica necessaria per l'autorizzazione al dragaggio, il materiale componente la coltre oggetto di escavo subacqueo è composto come di seguito indicato:

	Ghiaia	Sabbia molto grossa	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fine	Sabbia molto fine	Pelite					
	-1 Ø	-0,5 Ø	0 Ø	0,5 Ø	1 Ø	1,5 Ø	2 Ø	2,5 Ø	3 Ø	3,5 Ø	4 Ø	>4 Ø
	2000µm	1400µm	1000µm	710µm	500µm	355µm	250µm	180µm	125µm	90µm	63µm	< 63µm
Q3-Q4-Q5 /0-50	9,3	1,8	1,9	2,5	8,9	18,2	13,4	19,1	11,5	3,7	1,2	8,6
Q3-Q4-Q5 /50-100	37,7	2,0	2,4	3,6	7,7	10,4	5,8	6,6	4,8	4,5	1,3	13,3
Q3-Q4-Q5 /100-200	37,9	3,1	3,5	3,8	5,0	4,2	3,5	4,5	5,0	3,1	1,7	24,7
Q10-Q1-Q2 /0-50	34,5	4,2	4,3	4,6	6,1	7,4	7,5	8,0	5,5	2,9	1,7	13,3
Q10-Q1-Q2 /50-100	48,4	2,5	2,4	2,8	4,0	5,4	5,9	6,3	5,2	2,5	1,2	13,4
Q10-Q1-Q2 /100-200	60,5	2,6	2,4	2,3	3,3	3,2	3,3	3,7	3,8	2,1	1,1	11,7
Q7-Q8-Q9 /0-50	2,2	0,8	1,4	2,6	6,6	14,5	20,2	20,0	12,5	6,9	3,7	8,7
Q7-Q8-Q9 /50-100	48,0	2,2	1,9	2,7	5,8	6,3	7,5	6,8	1,5	4,7	1,2	11,5
Q7-Q8-Q9 /100-200	54,4	2,7	2,4	2,6	3,3	3,6	3,4	3,2	1,8	2,7	1,7	18,0
Q6/0-50	16,0	3,1	3,3	4,4	6,4	5,2	4,3	5,0	5,1	4,0	2,6	40,5
Q6/50-100	23,3	3,6	3,7	5,0	6,9	6,1	4,8	5,2	5,6	3,5	2,0	30,3

Tabella 3 - Ripartizione delle classi granulometriche nei sedimenti analizzati.

In sostanza è stato possibile constatare che la maggioranza dei campioni analizzati presenta una composizione granulometrica grossolana, essendo costituiti principalmente da sabbia e ghiaia, con una frazione della componente pelitica quasi sempre al disotto del 20%; solo nel caso del campione Q6, alle diverse quote ispezionate, troviamo caratteristiche diverse rispetto ai precedenti campioni, essendo caratterizzato da maggiori percentuali di pelite (40,5% nel livello 0-50 cm e 30,3% nel livello 50- 100 cm); la frazione ghiaiosa, pari al 16,0% nel livello 0-50 cm, aumenta a 23,3% nello strato sottostante.

Pertanto, risulta chiaro come i campionamenti effettuati abbiano rilevato che l'area in esame sia caratterizzata dall'affioramento di litotipi ascrivibili alla formazione della Panchina (Tirreniano).

Inoltre, va evidenziato come l'orizzonte stratigrafico oggetto dell'attività di dragaggio sia sostanzialmente suddividibile in due diversi strati, di spessore pressoché equivalenti. Di questi quello superiore è prevalentemente composto da materiali sciolti a prevalente frazione granulare sabbiosa e ghiaiosa con intercalati orizzonti limosi argillosi. Lo strato inferiore, invece, risulta

prevalentemente costituito da calcarenite, da fratturata a molto fratturata, con abbondante matrice residuale inorganica di colore avana e granulometria a prevalenza limoso argillosa.

Pertanto, alla luce della composizione puntualmente rilevata per le varie carote e del relativo stato di conservazione è stato possibile elaborare un prezzo, desunto per similitudine ed assimilazione dal vigente prezzario ufficiale della Regione Lazio, in modo da tenere nel giusto conto le rispettive percentuali di composizione delle tipologie di materiale rappresentativo del volume d'escavo. In base alle caratteristiche fisiche rilevate ed alle recenti esperienze fatte su materiale analogo escavato in prossimità dell'area, si è ipotizzato l'utilizzo di una draga aspirante refluyente dotata di idoneo disgregatore, in modo da poter efficacemente intervenire sia sulle frazioni sciolte sia su quelle che si presentano più o meno cementate.

Il progetto prevede il totale riutilizzo del materiale proveniente dalle operazioni di dragaggio che verrà refluito inizialmente, attraverso un apposito condotto, all'interno della attuale cassa di colmata nord per poter essere successivamente riutilizzato:

- a) per la formazione della colmata stessa che andrà a costituire i futuri piazzali della darsena Energetica grandi masse;
- b) per i terrapieni della Darsena Servizi;
- c) per il riempimento delle celle dei cassoni di banchinamento.

In particolare, i materiali aventi le migliori caratteristiche dal punto di vista geomeccanico verranno messi a dimora per la formazione dei riempimenti a supporto dei futuri piazzali portuali della D.S. o della D.E.G.M., mentre i materiali geotecnicamente più scadenti potranno essere riutilizzati per lo zavorramento dei cassoni.

3.1 Articolazione delle Fasi Realizzative

Le fasi previste nella realizzazione dei banchinamenti interni si articolano temporalmente secondo lo schema qui di seguito riportato.

1. Avvio delle operazioni di prefabbricazione delle diverse tipologie di cassoni cellulari in funzione della articolazione temporale dettata dai tempi di stagionatura, dai relativi posizionamenti in opera e dal conseguenziale stato sollecitativo.
2. Salpamento delle scogliere esistenti formate da massi artificiali tipo antifer e da massi naturali di I e di III categoria posizionati fuori della sagoma di progetto.
3. Lavorazioni preventive di escavo subacqueo per l'approfondimento dei fondali relativi:
 - a. allo specchio acqueo sino alla -6,0 m dal l.m.m.;

- b. alla realizzazione dello scanno di basamento dei cassoni alla $-7,0$ m dal l.m.m;
4. Formazione dello scanno di basamento dei cassoni mediante fornitura in opera di pietrame 50-300 daN spianato all'estradosso con pezzatura minuta d'intasamento e protetto in corrispondenza del piede esterno con massi di I categoria (500-1.000 daN) relativamente ai cassoni interni al bacino e con massi di III categoria (1.000-3.000 daN).
 5. Contestuale sversamento del materiale dragato all'interno della limitrofa cassa di colmata posta tra la Darsena Servizi e la futura Darsena Energetica Grandi Masse.
 6. Posizionamento in opera dei cassoni cellulari e contestuale zavorramento di stabilizzazione dapprima con acqua e successivamente, a posizionamento verificato, con materiale proveniente dal dragaggio, secondo le planimetrie di tracciamento e la classificazione tipologica funzionale alla rispettiva collocazione.
 7. Sigillatura degli spazi di raccordo tra cassoni singoli, delle chiavi di sigillatura tra cassoni adiacenti e delle solette a copertura del materiale di riempimento delle celle antirisacca mediante getto subacqueo di conglomerato cementizio, anche mediante l'ausilio di personale subacqueo.
 8. Rinfiango a tergo dei cassoni mediante pietrame di pezzatura 5-50 daN conterminato superiormente con strato filtrante in geotessuto secondo le sagome di progetto.
 9. Riempimento delle depressioni formatesi negli spazi residuali compresi tra i rinfianchi e i vecchi terrapieni con idoneo materiale certificato appartenente ai gruppi A1, A2-4, A2-5 ed A3 proveniente da dragaggio, scavi, cave di prestito e/o impianti di riciclaggio.
 10. Realizzazione della sovrastruttura di banchina mediante la predisposizione delle casserature per il confinamento dei getti e disposizione delle armature metalliche della sovrastruttura di banchina. Contestuale collocamento in opera, secondo le geometrie di progetto, dei collettori, dei corrugati e dei relativi pozzetti d'ispezione necessari ai sottoservizi di banchina e degli inghisaggi funzionali ai vari arredi (scalette, parabordi, bitte, anelloni etc.). Completamento della sovrastruttura mediante getto in opera del relativo conglomerato cementizio, nel rispetto delle modalità, disposizioni e tempi prescritti nel capitolato speciale dell'appalto.
 11. Fornitura in opera degli arredi di banchina in corrispondenza delle relative predisposizioni per la piena funzionalizzazione degli accosti.
 12. Realizzazione del muro di contenimento e di separazione tra le aree funzionali alla Darsena Servizi e quelle della Darsena Traghetti.
 13. Posa in opera dei sovrastanti pannelli di perimetrazione del tipo in grigliato metallico zincato a caldo.

14. Spianamento e compattazione con idoneo materiale arido certificato appartenente ai gruppi A1, A2-4, A2-5 ed A3 proveniente da dragaggio, scavi, cave di prestito e/o impianti di riciclaggio.

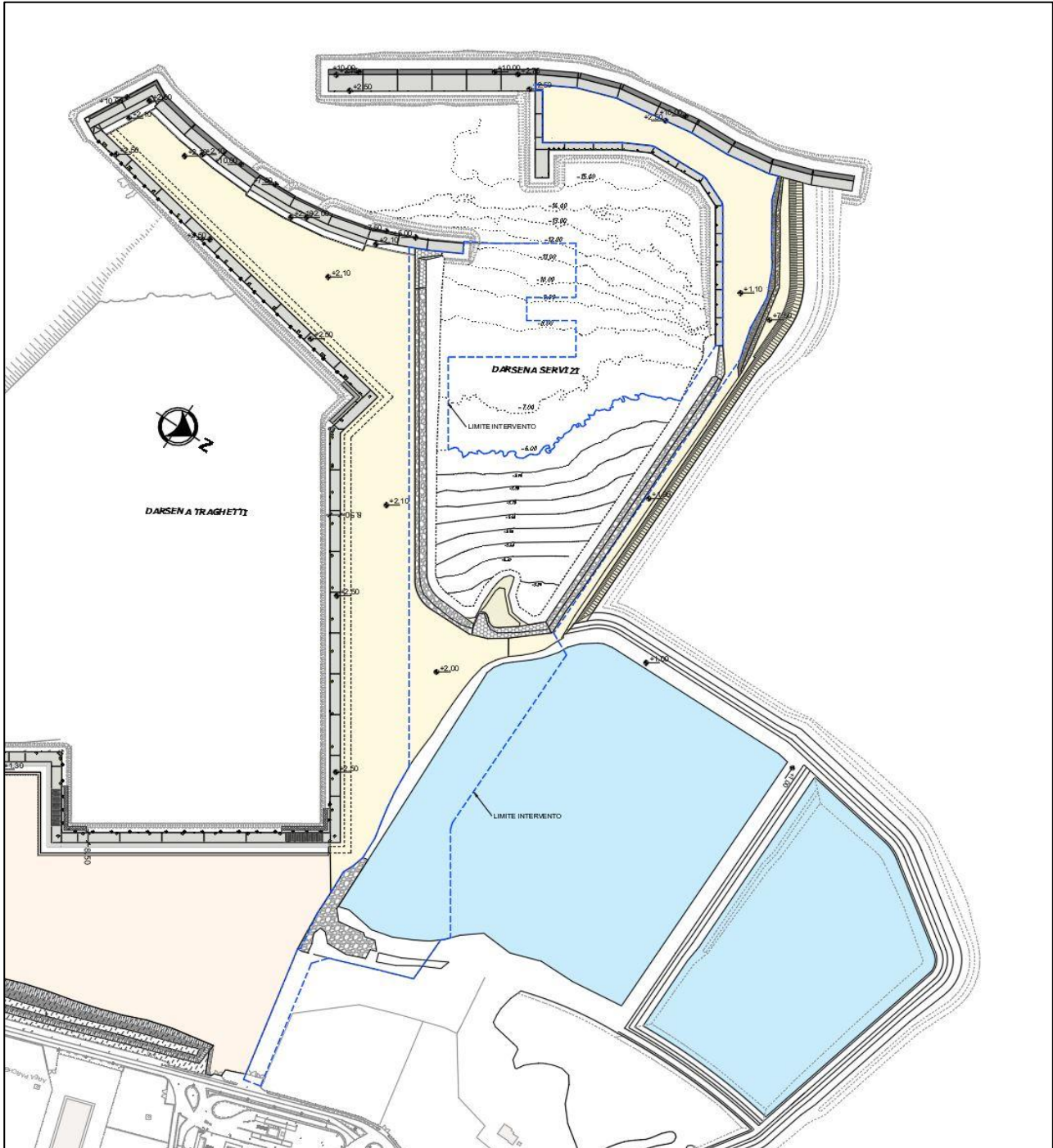


Figura 9 - Planimetria dello stato attuale con andamento plano-batimetrico e sagoma dell'intervento

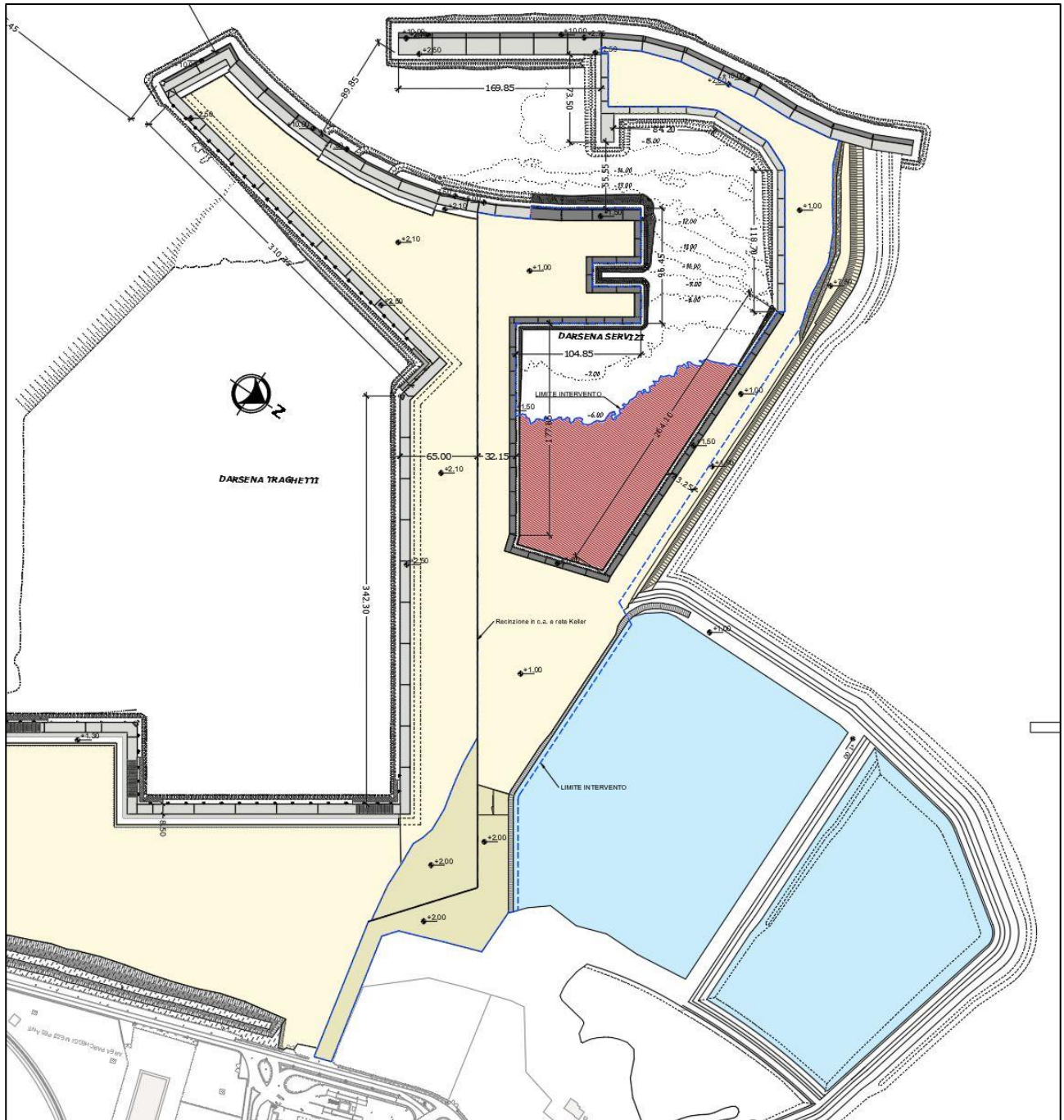


Figura 10: Darsena Servizi: Planimetria delle opere di banchinamento interno e dell'area di dragaggio

4. ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

Le opere in progetto si inseriscono in un quadro geologico ed ambientale nell'insieme ben studiato e supportato da dati e studi precedentemente svolti sulla base di un'estesa campagna di indagini stratigrafiche e geotecniche fatta eseguire direttamente dall'Autorità di Sistema Portuale.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area in esame sono stati utilizzati i risultati della campagna di indagine integrativa di progetto definitivo, eseguiti direttamente a mare

ed estrapolando alcuni dati relativi ad una precedente campagna di indagine, eseguita in fase di progettazione preliminare.

Le indagini eseguite hanno permesso di individuare i rapporti stratigrafici esistenti tra le formazioni presenti nelle aree interessate dai futuri interventi. Sulla base di questi rapporti, sono state impostate le relative verifiche di stabilità, eseguite con riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

Dal punto di vista geologico, rinviando alla Relazione Geologica per gli aspetti di dettaglio, la fascia costiera di Civitavecchia è estremamente articolata. Il complesso geologico di base che fa da riferimento all'intera zona è quello dei Flysch dei Monti della Tolfa sul quale sono sovrapposti più recenti complessi sedimentari di età ed origine diversa, difficilmente riconducibili ad un unico e semplice schema stratigrafico.

I caratteri dei diversi possibili litotipi presenti nel complesso dei Flysch sono estremamente variabili, passando repentinamente da quello di argilliti, marne argillose, marne, arenarie e calcari. Le vicissitudini tettoniche subite dal complesso hanno inoltre conferito ai terreni caratteri giacitureali e strutturali di grande complessità che ne rendono difficile una loro modellazione di comportamento in termini elementari. La stessa caratterizzazione fisica e meccanica, dei diversi tipi di terreno, con le ordinarie tecniche della geotecnica è inoltre resa particolarmente incerta a causa della scarsa rappresentatività dei campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio e dalla stessa significatività delle prove in sito.

Sovrapposti al complesso dei Flysch si ritrovano, in ampie zone, importanti depositi marini di età verosimilmente plio-pleistocenica a composizione variabile tra quella di sabbie medio fini addensate ed a luoghi debolmente cementate e quella di limi argillosi e sabbiosi.

Si tratta comunque di terreni di buona consistenza anche a causa di un più o meno elevato grado di consolidazione subito in passato. I contatti tra i diversi complessi non sono sempre di semplice interpretazione non escludendo che possano anche essere di origine tettonica.

Nella fascia costiera risultano infine presenti, in sommità, importanti complessi sedimentari più recenti, collegati alle diverse fasi della evoluzione della stessa linea di costa. Questi sono costituiti da variegati strati e banchi di terreni prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi, a luoghi cementati, tra i quali si distingue l'importante e tipico complesso dei conglomerati organogeni a macrofossili conosciuto con il termine di "panchina".

I sondaggi sono stati spinti generalmente ad una profondità sufficientemente rappresentativa e sono stati integrati da prove in sito (soprattutto da prove penetrometriche dinamiche tipo SPT).

Durante le perforazioni, nell'ambito dei terreni a matrice argillosa, sono stati prelevati, ove possibile, campioni indisturbati su cui sono state effettuate, oltre alle usuali prove di identificazione

e classifica, prove di compressione triassiale del tipo UU, prove di compressione ad espansione laterale libera e prove di compressione edometrica.

Dall'insieme delle risultanze stratigrafiche e geotecniche è stato possibile far derivare un modello geotecnico del sottosuolo, sufficientemente rappresentativo a sostenere la verifica delle condizioni di stabilità e di sicurezza delle opere, nonché a fare previsioni di funzionalità e durata essenzialmente basate sulla previsione dei cedimenti.

Per quanto riguarda l'area di interesse, nella zona più prossima alla costa prevalgono terreni sabbiosi e limo sabbiosi, mentre, più a largo, affiora con continuità, la formazione calcarenitica della "Panchina" sovrapposta a termini limo-argillosi molto consistenti di colore grigio; sono presenti, pertanto depositi sedimentari, di natura per lo più sabbiosa e calcarenitica, impostati su terreni argilloso-limosi o limo-sabbiosi.

5. LOCALIZZAZIONE DELLE CAVE EVENTUALMENTE NECESSARIE

Per quanto attiene la localizzazione delle cave, si fa presente che in zona sono presenti più cave idonee per la fornitura del materiale in questione. Ad esempio, per quanto riguarda le cave di prestito, nel territorio del Comune di Civitavecchia, risultano autorizzate n° 2 cave denominate "Fiorotta", Località Fiorotta (Litotipo Calcare Marnoso) e "Sassicari", Località Sassicari (Litotipo Calcare Marnoso); entrambe le cave sono, in linea d'aria, a circa 10 km dal sito di intervento. Risultano altresì autorizzate altre cave nei Comuni del Comprensorio, il più prossimo al sito di intervento risulta essere il comune di Tarquinia. Per quanto riguarda invece i centri di recupero, si rappresenta che a circa 2 Km dalle aree di cantiere, nella zona industriale del Comune di Civitavecchia, è presente un centro di recupero autorizzato denominato "NUOVA ECO EDILIZA Srl".

6. ARREDI DI BANCHINA

Lungo la banchina saranno predisposti i seguenti arredi di banchina:

- N. 98 bitte da 25 ton (vedi figura 11) secondo le indicazioni strutturali e geometriche meglio riportate nel relativo elaborato grafico descrittivo;
- 1.360 ml di parabordi del tipo a nastro di lunghezza 920 mm (vedi figura 12) posizionati verticalmente sulla verticale di banchina;
- N. 15 scalette alla marinara in acciaio inox del tipo AISI 316 L. (vedi figure 13 e 14)
- N. 15 Anelloni di ormeggio in acciaio inox del tipo AISI 316 L (vedi figura 15).
- 900 ml di paraspigolo in acciaio AISI 316 L. (vedi figura 16)

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici descrittivi di progetto.

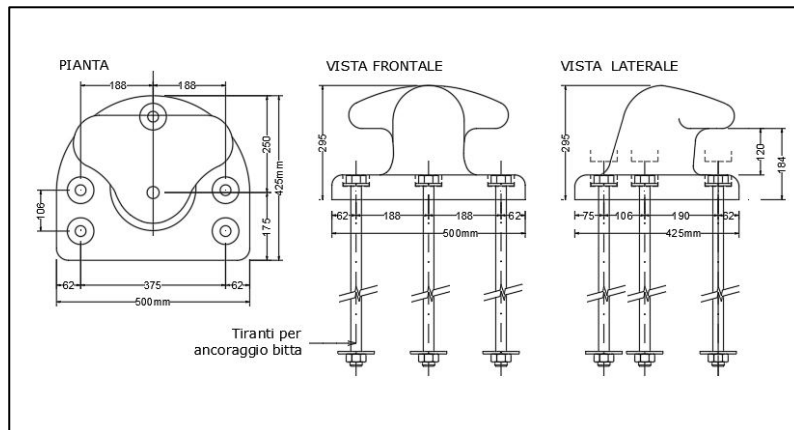


Figura 11

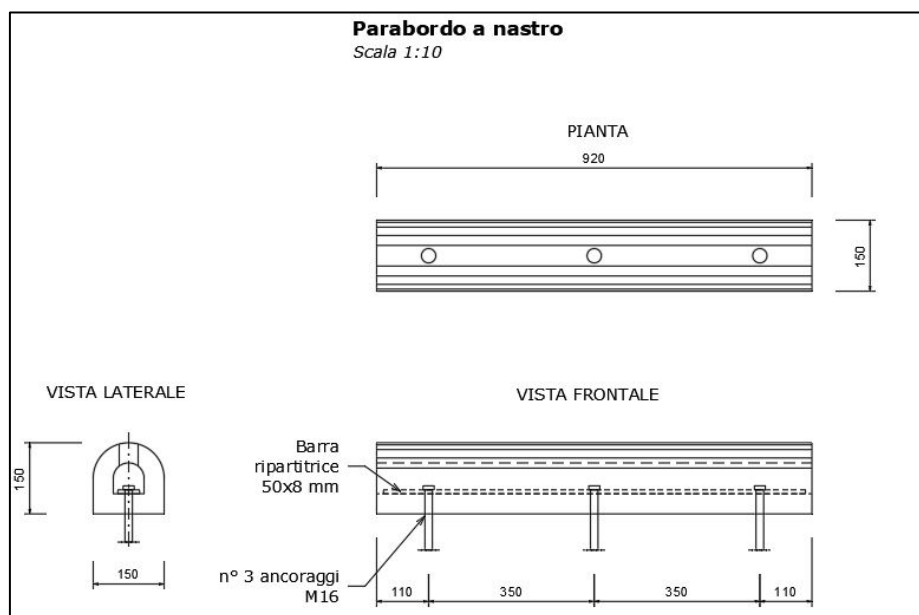


Figura 12

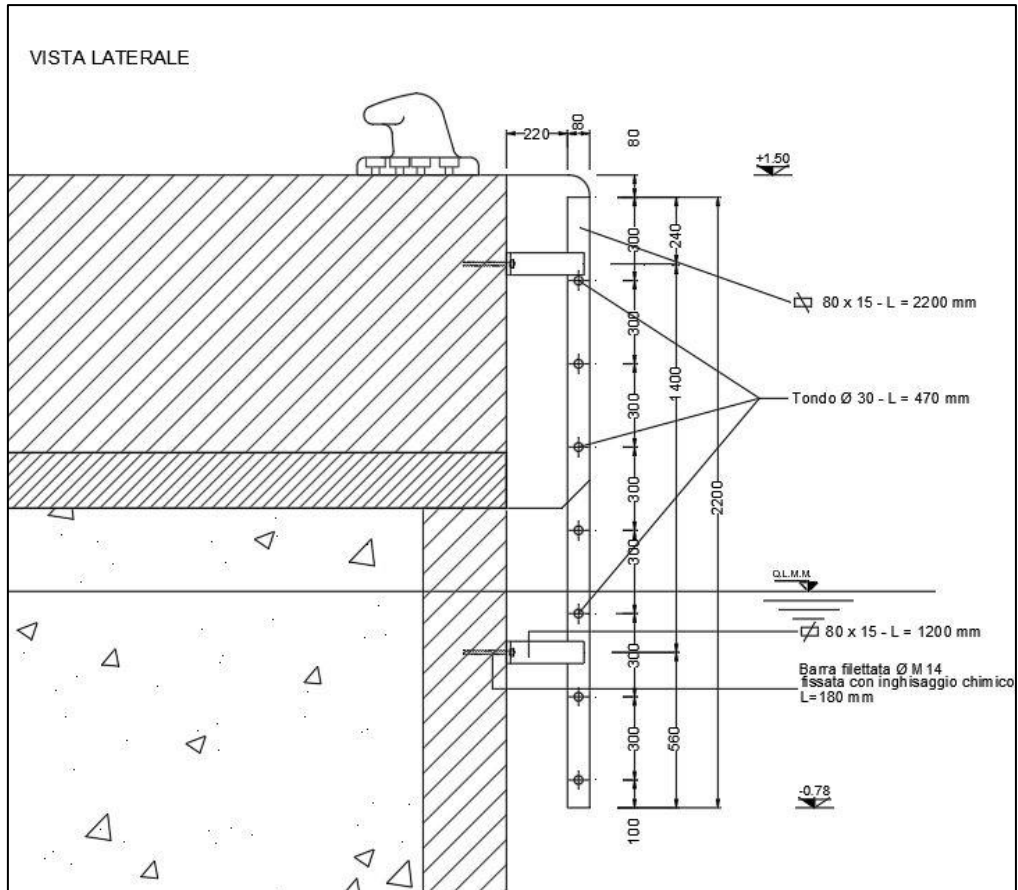


Figura 13

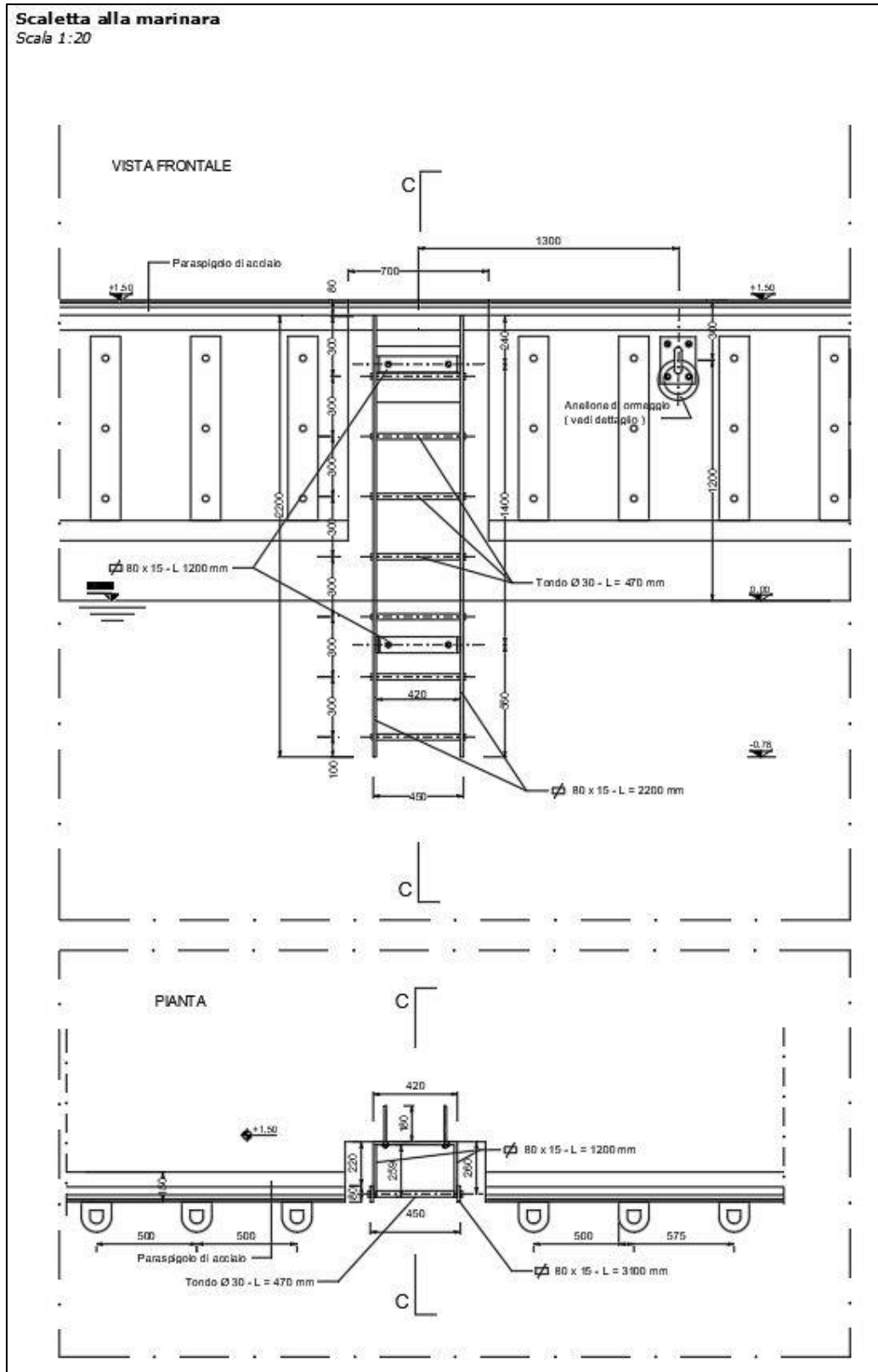


Figura 14

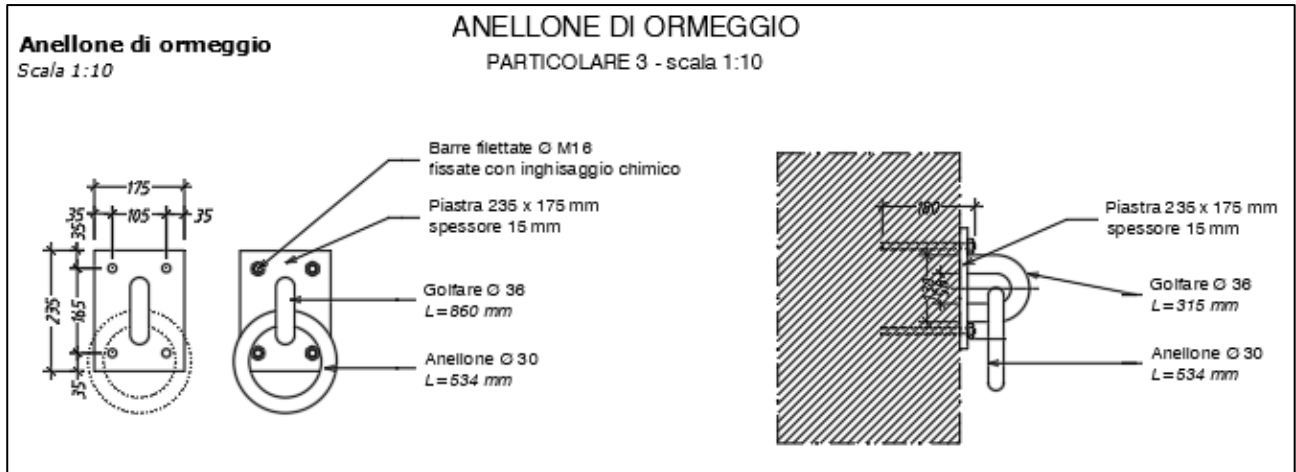


Figura 15

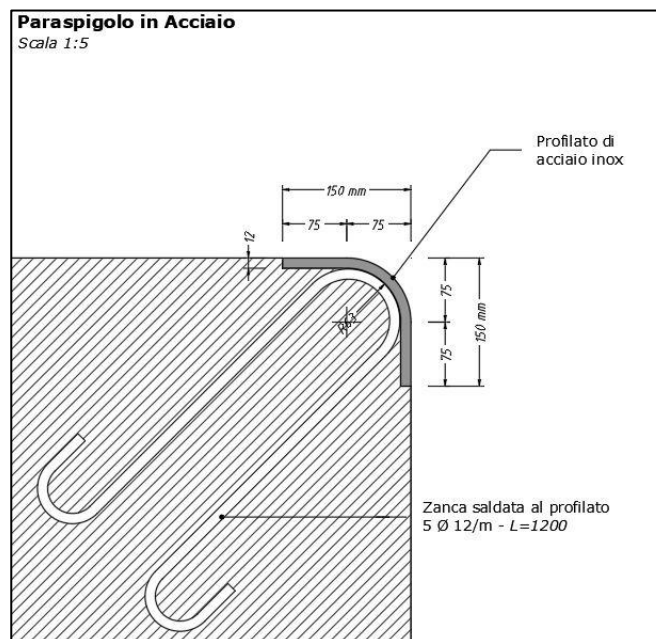


Figura 16

Di seguito si riportano due immagini con la disposizione dei vari arredi di banchina e per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

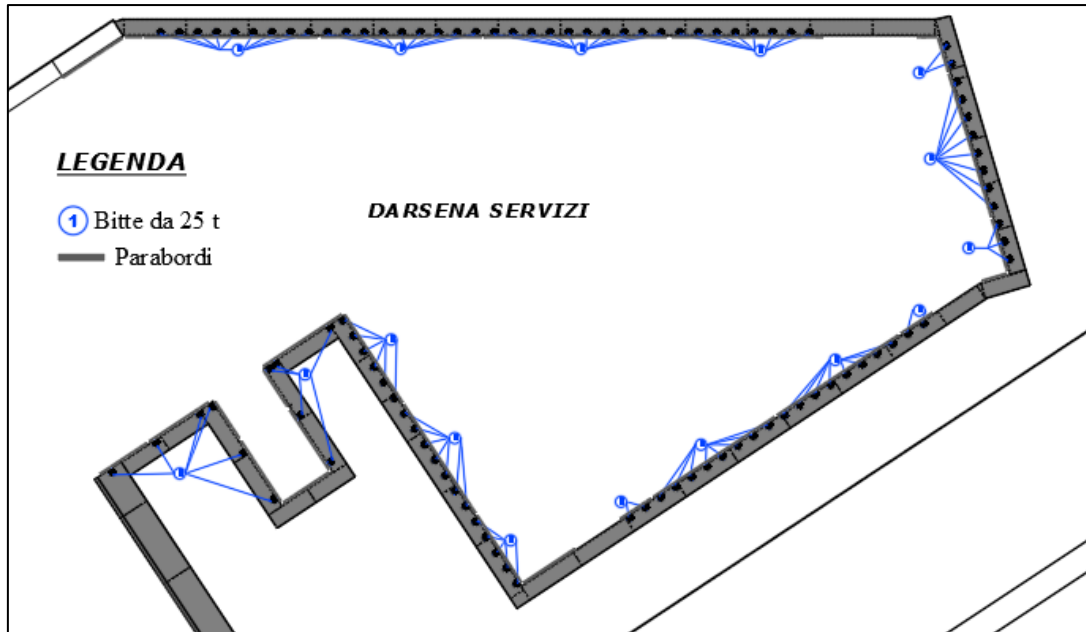


Figura 17: Disposizione parabordi

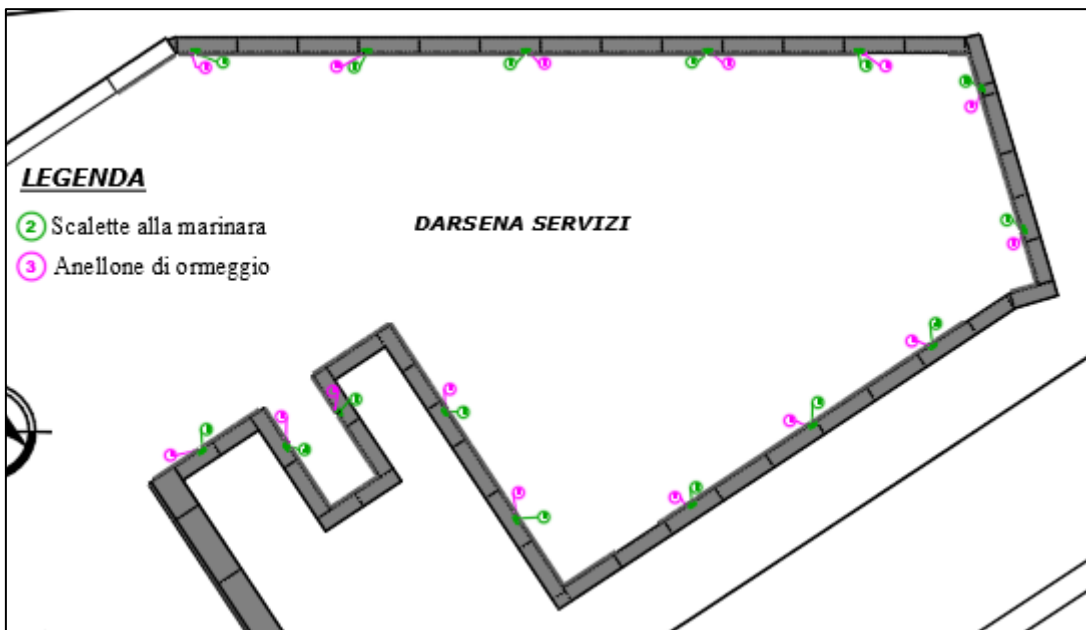


Figura 18: Disposizione scalette e anelloni di ormeggio

6.1 Predisposizioni per il passaggio delle dorsali impiantistiche

Al fine di consentire il passaggio di eventuali impianti da disporre a servizio dei natanti, saranno predisposte più file di tubi corrugati con diametro variabile tra Φ 110 e Φ 200 mm in prossimità del lato esterno della banchina, in posizione convenientemente arretrata rispetto alle armature di ancoraggio delle bitte, connessi trasversalmente alle reti di piazzale, in corrispondenza di ogni cassone, attraverso pozzetti inseriti internamente alla sovrastruttura contestualmente alla fase di disposizione delle barre d'armatura e prima della fase di getto del conglomerato cementizio.

Si riporta una figura dei cavedi in corrispondenza di un impalcato tipo.

Tali predisposizioni saranno create all'interno dello spessore della sovrastruttura in c.a., così come i pozzetti di ispezione realizzati con pozzetto prefabbricato o normali casseforme e sormontati da un chiusino carrabile.

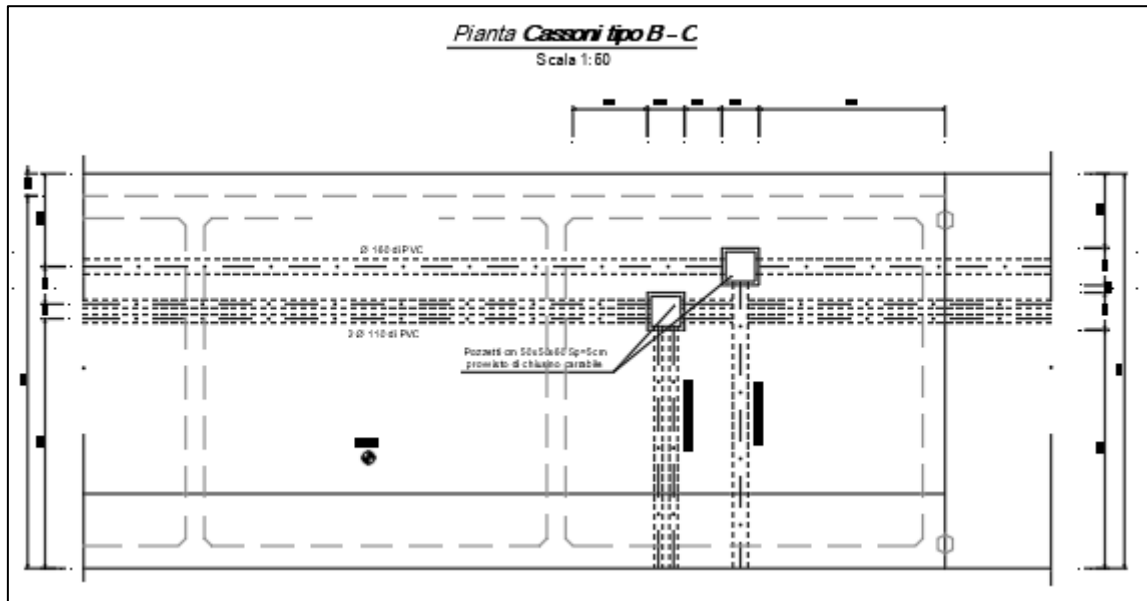


Figura 19: Particolari dei pozzetti dell'impalcato

7. MATERIALI E COMPONENTI STRUTTURALI DI RIFERIMENTO

7.1 Concetti generali

Nel presente capitolo sono riportati i materiali e gli elementi strutturali utilizzati per comporre l'opera oggetto della progettazione.

L'unità di misura impiegata nella definizione delle caratteristiche prestazionali in genere ed in particolare delle resistenze dei materiali è il $\text{Mpa} = \text{N/mm}^2$.

7.2 Calcestruzzi

La struttura sarà realizzata attraverso l'impiego di calcestruzzo cementizio armato con classe di resistenza C35/45, classe di esposizione XS3 e con armature di acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C zincati a caldo, salvo ove diversamente specificato.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018) attribuiscono al progettista il compito di determinare il quadro ambientale di degrado dei materiali e introducono nei principi fondamentali

l'importanza dello studio dell'ambiente con le relative aggressioni sulle opere in calcestruzzo armato, al fine di garantire il raggiungimento della vita nominale prevista.

Per "vita nominale" si intende il tempo durante il quale le strutture e/o i materiali conservano le loro prestazioni iniziali mantenendo il livello di sicurezza e di efficienza funzionale di progetto. In questa ottica viene ricalcato il concetto di durabilità, vale a dire la capacità di conservazione delle caratteristiche fisico-meccaniche delle strutture per tutta la vita di servizio prevista in progetto senza dover far ricorso a interventi di manutenzione straordinaria. Tale obiettivo viene raggiunto anche attraverso una prescrizione corretta delle regole di maturazione, una cadenza temporale dei necessari monitoraggi sulle opere, o su particolari di esse, e azioni manutentive preventive.

Tale procedimento si esplica nella definizione sia delle caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (in termini di materiali costituenti e resistenza meccanica) sia del valore dei copriferri idonei a fronteggiare le aggressioni ambientali, assicurando pienamente la durabilità dell'opera.

Nello specifico sono definiti: il rapporto a/c massimo, il contenuto minimo di cemento per mc di conglomerato e la resistenza caratteristica minima; vale la pena di sottolineare l'importanza di quest'ultima specifica in quanto non rappresenta soltanto il parametro che sta alla base delle successive considerazioni e verifiche statiche, ma sostanzialmente è l'unica proprietà controllabile in cantiere durante le fasi esecutive.

Le classi di esposizione cui fare riferimento in Italia sono riportate nella norma UNI 11104 e nelle linee guida sul calcestruzzo strutturale. La prima colonna identifica la classe con una sigla in lettere (X0-XC-XD-XS-XF-XA) e le relative sottoclassi ponendo un numero dopo tale sigla; nella seconda colonna è descritto l'ambiente che rientra in una determinata classe; mentre nella terza colonna sono riportati gli esempi più comuni di strutture o parti di esse compresi nella classe.

Verrà quindi utilizzato un calcestruzzo con le seguenti peculiarità:

- classe di consistenza S4;
- diametro massimo degli aggregati 32mm;
- classe di esposizione ambientale XS3;
- classe di resistenza a compressione C35/45.

4. Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	ESPOSTO ALLA SALSEDINE MARINA MA NON DIRETTAMENTE IN CONTATTO CON L'ACQUA DI MARE	CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO O PRECOMPRESSO CON ELEMENTI STRUTTURALI SULLE COSTE O IN PROSSIMITA' DEL MARE.
XS2	PERMANENTEMENTE SOMMERSO	CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO O PRECOMPRESSO DI STRUTTURE MARINE COMPLETAMENTE IMMERSO IN ACQUA.
XS3	ZONE ESPOSTE AGLI SPRUZZI OPPURE ALLA MAREA	CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO O PRECOMPRESSO CON ELEMENTI STRUTTURALI ESPOSTI ALLA BATTIGIA O ALLE ZONE SOGGETTE AGLI SPRUZZI ED ONDE DEL MARE.

7.2.1 Caratteristiche dei calcestruzzi

Per la struttura oggetto della presente relazione verrà utilizzato un calcestruzzo del tipo:

Calcestruzzo classe C35/45

- 360 kg/mc di cemento Portland 425;
- Rapporto massimo a/c=0.45;
- Classe di esposizione XS3
- Classe di consistenza S4;
- Diametro massimo degli aggregati 32mm;

CARATTERISTICHE MECCANICHE

$$R_{ck}=45 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{cls,max} = 2500 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{ck} = 0.83 \times 45 = 37.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = 0.83 \times 37.35 / 1.5 = 21.16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8.00 = 45.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0.3 * f_{ck}^{2/3} = 0.3 * 37.35^{2/3} = 3.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm} = 0.7 * 3.35 = 2.35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / 1.5 = 2.35 / 1.5 = 1.57 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 * [f_{cm}/10]^{2/3} = 34625 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bk} = 2.25 * f_{ctk} = 2.25 * 2.35 = 5.29 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = f_{bk} / 1.5 = 5.29 / 1.5 = 3.53 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza Caratteristica cubica a Compressione

Peso specifico (Densità)

Resistenza Caratt. Cilindrica a Compressione

Resistenza di Calcolo a compressione

Resistenza Cilindrica media a Compressione

Resistenza media a Trazione

Resistenza Caratteristica a Trazione

Resistenza di Calcolo a Trazione

Modulo elastico istantaneo

Resistenza Tangenziale Caratt. di aderenza

Resistenza Tangenziale di Aderenza di Calcolo

7.3 Acciaio

Gli acciai utilizzati per la struttura oggetto della presente relazione sono i seguenti:

7.3.1 Caratteristiche degli acciai

Acciaio per cemento armato

Acciaio in barre ad ad. migl. per cemento armato B450C

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu = 0.3$$

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$$

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

$$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 450 / 1.15 = 391 \text{ N/mm}^2$$

Modulo di elasticità

Coefficiente di Poisson (deformabilità trasversale)

Coeff. Dilatazione termica

Massa Volumica

Tensione caratteristica di rottura

Tensione caratteristica di snervamento

Tensione caratteristica di snervamento

7.4 Legami costitutivi dei materiali utilizzati

In questo paragrafo sono riportati i legami costitutivi adottati per la modellazione dei materiali e dei terreni.

Le tensioni sono espresse in MPa.

7.4.1 Conglomerato cementizio

Nella figura di seguito sono rappresentati i modelli σ - ϵ per il calcestruzzo: (a) parabola-rettangolo; (b) triangolo-rettangolo; (c) rettangolo (stress block).

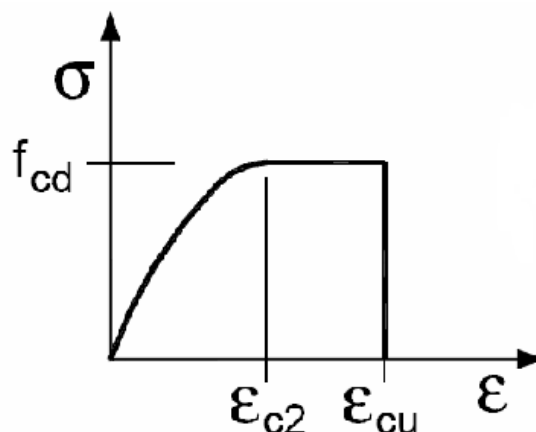


Figura 6 - Legami costitutivi del calcestruzzo utilizzato

In particolare, si è posto:

ε_{c2}	ε_{cu}
0,20%	0,35%

7.4.2 Acciaio da cemento armato

Di seguito è riportato il grafico del legame costitutivo dell'acciaio B450C e le sue caratteristiche

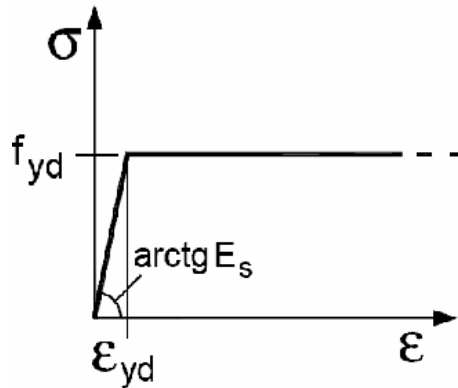


Figura 7 - Legame costitutivo acciaio

Acciaio ordinario per elementi in c.a. e c.a.p. Tipo B450C

Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	≥ 450
Tensione caratteristica di rottura	f_t	≥ 540
	$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$
		$< 1,35$
	$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1,25$
Allungamento A5 %	$(A_{gt})_k$	$\geq 7,5$

8. CODICE DI CALCOLO, SOLUTORE E AFFIDABILITA' DEI RISULTATI

La struttura delle diverse tipologie di cassoni è stata modellata mediante idoneo software di calcolo prodotto dalla Softing S.r.l.

L'affidabilità dei codici utilizzati è stata verificata sia effettuando il raffronto con le calcolazioni svolte nei precedenti progetti verificati in sede del I appalto (Progetto esecutivo verificato dalla Società Italsocotec Spa e validato con verbale del RUP del 05.12.2011) sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Si allegano alla presente i test sui casi prova forniti dalla Softing s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, di cui la Softing in <http://www.softing.it>. Si allega, inoltre, insieme alle altre relazioni di progetto un fascicolo contenente tutti i manuali di validazione forniti dalle software-house ai proprietari di licenza autorizzata.

I software sono inoltre dotati di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare, il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulle verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

8.1 Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

I software utilizzati permettono di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre, la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali pressioni, sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Le sollecitazioni ottenute sulle piastre per i carichi orizzontali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a piastra a mensola.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

9. MONITORAGGI AMBIENTALI

Lo sviluppo dell'Hub portuale di Civitavecchia è l'esito di un articolato processo di pianificazione e progettazione unitario, avviato negli anni '90 e tutt'ora in corso. Sin dal 1990 si resero indifferibili rilevanti opere infrastrutturali, finalizzate sia allo sviluppo dei traffici, che alla delocalizzazione delle attività commerciali ed industriali che avevano un impatto rilevante sui recettori sensibili del centro abitato.

Il vigente Piano Regolatore Portuale di Civitavecchia (PRP2004) (e delle Varianti resesi nel contempo necessarie per il perseguimento dei suddetti obiettivi), è stato approvato con Deliberazione di Giunta della Regione Lazio n.121 del 23.03.2012, alle condizioni ambientali/prescrizioni di cui ai DEC/VIA/2935 del 22.12.1997, DEC/VIA/6923 del 28.01.2002, DEC/VIA/4 del 9/2/2010.

Inoltre con l'adozione della c.d. Legge Obiettivo (L. 443/01) e con il riconoscimento del Porto di Civitavecchia quale porto strategico per lo sviluppo Nazionale dei trasporti, alcuni degli interventi previsti dal PRP sono stati inseriti tra i progetti strategici identificati dal CIPE. I progetti preliminari delle Opere Strategiche per il porto di Civitavecchia (OO.SS.), sono stati approvati per la parte ambientale con parere favorevole della CSVIA del 20.12.2003 e, successivamente dal CIPE con Delibera n.103 del 2004; con le Delibere n. 140 del 21.12.2007 e n. 2 del 25.01.2008, il CIPE ha approvato, ai sensi e per gli effetti dell'art.166 del D.lgs 163/2006, con le prescrizioni e le raccomandazioni proposte del MATTM, prot. DSA_2006_0021173, il progetto definitivo "Opere Strategiche per il Porto di Civitavecchia - Primo lotto funzionale - prolungamento antemurale Cristoforo Colombo, Darsena Traghetti e Servizi".

Il MATTM ha determinato la parziale positiva conclusione delle attività di verifica e controllo, (ex art. 185 commi 6 e 7 del D. lgs 163/2006), previste per le infrastrutture strategiche di cui alla Legge 21 dicembre 2001, n. 443, prevedendo specifiche disposizioni per il completamento dell'istruttoria.

Come premesso, l'intervento in argomento è parte integrante del suddetto "Primo lotto funzionale delle Opere Strategiche per il Porto di Civitavecchia" e pertanto vigono le medesime disposizioni autorizzative.

Per quanto precede verranno definite, con il supporto tecnico scientifico di ARPA Lazio, in virtù di un Protocollo d'Intesa sottoscritto in data 20.02.2009, le modalità operative, la frequenza, i metodi di analisi e i tempi di attuazione dei monitoraggi relativi alla qualità dell'aria e del clima acustico, nel rispetto di tutte le prescrizioni/condizioni di cui ai citati atti autorizzativi e Provvedimenti Direttoriali.

Inoltre, si prevede contestualmente alle lavorazioni di escavo, il monitoraggio degli elementi qualitativi dei corpi idrici superficiali, che permetterà di valutare l'evoluzione del sistema ambientale e di prevenire il verificarsi di eventuali situazioni anomale che possano pregiudicare il conseguimento del così detto G.E.S. di cui alla European Union's Marine Strategy Framework Directive o minare la conservazione degli habitat e delle specie oggetto di tutela ai sensi delle Leggi Nazionali e/o Comunitarie. Nello specifico il D.M. 173/2016 introduce dei valori soglia (art 3.3.1) per il parametro Torbidità, disponendo altresì che vengano intraprese opportune misure in caso di rilevate difformità. Per quanto precede verranno definite, con il supporto tecnico scientifico di ISPRA, in virtù di un Convenzione quadro sottoscritta in data 12.03.2019, le modalità operative, la frequenza, i metodi di analisi e i tempi di attuazione del monitoraggio dell'ambiente marino costiero. Si prevede altresì l'implementazione di una procedura operativa atta a limitare l'eventuale dispersione del Particellato Solido Sospeso (SPM); nello specifico qualora venisse rilevato il superamento di detto valore soglia, e qualora tale criticità perdurasse nel tempo, l'impresa dovrà obbligatoriamente implementare le misure mitigative previste per contenere la dispersione dei solidi sospesi.

Le indagini ambientali di cui sopra non sono oggetto del presente appalto.

10. ONERI ED OBBLIGHI DELL'APPALTATORE

Per le Opere di Legge Obiettivo, ai sensi di quanto stabilito all'art. 21. lett. b) dell'allegato XXI del D.lgs. 163/2006 il Progetto esecutivo deve prevedere un manuale di gestione ambientale dei cantieri, "che deve essere redatto conformemente a quanto previsto dalla norma ISO 14001 o dal sistema Emas (Regolamento Ce n. 761/2001) o da altri sistemi asseverati dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio".

Per quanto precede l'Impresa dovrà adottare, implementare ed attuare in fase operativa un Piano di Gestione Ambientale del cantiere, predisposto in riferimento all'allegato Manuale (allegato 2).

In ottemperanza altresì a quanto disposto dal Decreto Interministeriale MATTM/MIBAC prot. DVA-DEC 2010-0000004 del 09.02.2010 (prescrizione n.9), le modalità esecutive del suddetto Piano, sulla base del riesame delle scelte gestionali definite, dovranno essere concordate con ARPA Lazio preliminarmente all'inizio dei lavori, ed attuate sotto il controllo della medesima Agenzia.

**OPERE STRATEGICHE I° LOTTO FUNZIONALE PER IL PORTO DI
CIVITAVECCHIA, "PROLUNGAMENTO ANTEMURALE CRISTOFORO
COLOMBO, DARSENA SERVIZI E DARSENA TRAGHETTI."**

VERBALE DI VALIDAZIONE DEL PROGETTO ESECUTIVO

(ai sensi degli artt. 54 comma 7 e 55 comma 1 del D.P.R. n. 207/2010)

Il sottoscritto **Dott. Ing. Maurizio IEVOLELLA**, Responsabile Unico del Procedimento del progetto relativo ai lavori in epigrafe, in ottemperanza al disposto dell' art. 112 del DLgs 163/06 e s.m.i. e del relativo Regolamento di cui al D.P.R. n. 207/2010, ha proceduto alla verifica del progetto esecutivo sopra menzionato, avvalendosi del supporto dell' Organismo di Ispezione (O.d.I.) **ITALSOCOTEC S.p.A.** (accreditamento ACCREDIA N° 008E rev. 7, ai sensi della Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17020).

L'obiettivo del controllo eseguito è stato quello di verificare che il progetto esecutivo fosse conforme alla normativa vigente e che rispondesse ai singoli punti elencati agli artt. 52 e 53 del D.P.R. n° 207/2010.

In considerazione delle risultanze indicate nel **Rapporto d'Ispezione Finale n° C285-000-RF-0001** emesso da **ITALSOCOTEC S.p.A.** in data **28/11/2011** e dei documenti dallo stesso richiamati, nonché sulla base dei chiarimenti e delle conferme ribadite dai Progettisti (vedasi schede di ispezione progetto n° **C285-000-SP-0001-1**, **C285-000-SP-0002-1**, **C285-000-SP-0003-1** e **C285-000-SP-0004-1**) durante i contraddittori avvenuti, con il presente verbale si ritiene che il progetto esecutivo in epigrafe è **conforme** alla normativa vigente, ai sensi dell' art. 112 del DLgs 163/06.

Per quanto sopra riportato, il progetto esecutivo delle *Opere Strategiche I° Lotto Funzionale per il Porto di Civitavecchia, "Prolungamento Antemurale C.Colombo Darsena Servizi e Darsena Traghetti"* si ritiene:

VALIDATO

ai sensi dell'art. 55 comma 1 del D.P.R. 207 del 2010.

Civitavecchia Il 05/12/2011

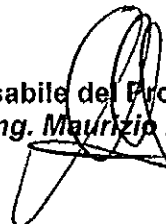
www.portidiroma.it

00053 Civitavecchia
Molo Vespucci, snc
tel. 0766 366 201
fax 0766 366 243

00054 Fiumicino
Piazzale Mediterraneo, snc
tel. 06 65047931
fax 06 6506839

04024 Gaeta
Lungomare Caboto
tel. 0771 471096
fax 0771 712664

Il Responsabile del Procedimento
Dott. Ing. Maurizio Ievolella





Nòlian

Informazioni per la valutazione dell'affidabilità dei codici di calcolo

Identificazione del codice di calcolo

Produttore:	Softing srl
Distributore esclusivo:	Softing srl
Denominazione commerciale:	Nòlian (denominazione commerciale registrata)
Identificatore di build:	Ogni versione è identificata da un numero a due cifre che ne indica la versione principale (EWS) e soprattutto da un numero univoco di build a quattro cifre che identifica con precisione una specifica compilazione.
Finalità del codice:	Analisi tramite il metodo degli elementi finiti
Lingua usata nella interfaccia e nella manualistica:	Italiano
Manualistica:	Digitale. Comprende anche manuali di validazione e teorici.
Registrazioni:	Nòlian è registrato presso il Registro Pubblico Speciale per i programmi per Elaboratore in data 14/07/2000 al progressivo 001629, ordinativo D002017, e con la precedente denominazione di MacSap è registrato in data 23/11/97 al progressivo 000222, ordinativo D000264.
Data di prima immissione in commercio:	Ottobre 1984.
Metodo di commercializzazione:	Cessione di licenza d'uso non esclusiva
Modalità di aggiornamento del codice:	Automatica tramite accesso a internet, su contratto
Identificazione univoca del codice:	Ogni copia del programma è identificata da un numero di licenza univoco tale da identificare il licenziatario.
Sistema di protezione:	Il codice dispone di un sistema hardware di protezione contro l'uso e la duplicazione abusiva.
Marchi commerciali registrati:	Softing®, il logo Softing, Nòlian®, il logo Nòlian®, MacSap®, MacBeam®, CADSap®, EasyWall®, EasySteel®, EasyBeam®, EasyFrame®, EasyWorld®, HyperGuide®, SapScript®, FreeLit®, inMod®, sono marchi registrati di Softing s.r.l.

Cronistoria del prodotto

La Softing è una srl costituitasi nel 1983 per la realizzazione di codici di calcolo in ambiente tecnico scientifico. Nòlian è stato progettato nel 1983 su commessa della Apple Computer Spa, che desiderava avere un prodotto per ingegneria che aderisse ai nuovi concetti di interfaccia grafica introdotti dalla Apple stessa. Nòlian (all'epoca MacSap) è stato da questa collaudato in fase di commessa e successivamente (1986) sottoposto a validazione da parte del Politecnico di Milano su



casi prova prodotti dallo stesso. La prima stesura del codice era in linguaggio Pascal. Completamente riscritto in C++ nel 1992 e portato su Windows. Dal 2004 non è più disponibile per Apple Macintosh.

Modelli matematici

Nòlian è un codice di calcolo che impiega la tecnica degli elementi finiti per la soluzione di problemi nel campo dell'analisi tensionale (stress analysis). Questa tecnica è nota e ampiamente consolidata, documentata ormai da più di cinquant'anni di studi e ricerche. Quindi estremamente affidabile. Gli elementi finiti di Nòlian sono tutti progettati dalla Softing stessa che si è avvalsa anche di prestigiose collaborazioni. Gli elementi guscio e brick a rigidità completa (6 gdl per nodo), ad esempio, sono stati progettati dal Prof. Mario Cannarozzi, attuale vice Rettore della Facoltà di Ingegneria di Modena. Tutti gli elementi sono stati verificati con i principali casi prova disponibili in letteratura (si veda anche nel seguito) e hanno passato i patch test.

I solutori lineari fattorizzano la matrice di rigidità con varie tecniche numeriche. L'ampiezza di semibanda banda è ottimizzata automaticamente. Il più raffinato e attuale metodo di fattorizzazione di Nòlian segue la tecnica per matrici sparse che consente la gestione di strutture di gradi dimensioni con tempi di calcolo molto ridotti. Come riferimento, un sistema a 541.800 gradi di libertà (piastra 300x300 elementi), impiegando un processore Pentium 4 a 2.4 GHz con 1.5 GB di RAM, è stato fattorizzato in 2' 27". Questo metodo è disponibile in Nòlian sia nella modalità in-core che out-of-core.

L'analisi modale è condotta con il "subspace iteration method" su matrice dinamica sia piena che diagonale (modello delle masse sia "lumped" che consistente). Anche questo metodo è implementato sia con tecnologia skyline che sparse.

Implementazione dei modelli matematici

L'implementazione è in C++, linguaggio a oggetti, strutturato in modo da riflettere con cura la struttura del codice a elementi finiti che ben si presta a questa strutturazione. Oltre ai metodi standard di debug, di profiling e gli altri strumenti prettamente informatici, il codice viene controllato costantemente durante lo sviluppo secondo le specifiche di progetto o di manutenzione delle singole unità. Si procede poi ai controlli di insieme e quindi alla validazione (vedi sotto). Softing usa un sistema CVS (Concurrent Version System) per il controllo delle fasi interne di sviluppo al fine di assicurare la massima qualità e produttività nel lavoro dei gruppi di sviluppo.

Criteri di assegnazione del modello di calcolo

Il modello di calcolo è costruito in Nòlian tramite elementi della interfaccia utente. Non vi è pertanto una costruzione automatica tramite un modellatore solido e un mesher a monte. Ciò elimina qualsiasi sovrapposizione di errori imputabili ai pre-processor (modellatore e mesher). L'utente ha quindi il pieno controllo sulla mesh a elementi fini che viene costruita e gestita nello spazio tridimensionale tramite funzioni CAD standard. L'utente costruisce la geometria della mesh e, sempre con funzioni di interfaccia grafica, attribuisce alle entità geometriche le caratteristiche strutturali. Questo metodo assicura la massima trasparenza nella creazione, gestione, controllo del modello di calcolo eliminando i problemi connessi alla mancata trasparenza del modello stesso.



Criteri di interfaccia utente

L'interfaccia grafica utente (GUI) di Nòlian nasce su Apple Lisa nel 1983 e quindi secondo i dettami Apple, che inventò tale modo di impiegare il calcolatore elettronico. Quindi Softing ha vissuto e partecipato alla nascita e allo sviluppo di questi criteri. Non si deve confondere l'insieme di metafore che consentono di interagire con il programma (GUI) con il modo di operare di un programma. Quindi una immissione dati, ad esempio per oggetti strutturali, non è una "interfaccia" ma un modus operandi del programma. Qui ci si riferisce al significato tecnico corretto del termine. Per questo motivo l'interfaccia di Nòlian è estremamente ergonomica e soprattutto chiara e trasparente. Non indulge in comandi che possano sembrare "attraenti" ma con poco significato operativo. Le funzioni associate ai comandi hanno tutte un'auto-diagnostica e sono tutte abilitate o disabilitate, a livello anche di interfaccia, secondo il contesto operativo. In genere, per le associazioni, si usa la tecnica di "verbo-predicato" perché più sicura e intuitiva. Quindi le possibilità di un uso accidentale scorretto dei comandi di interfaccia è molto limitato. Questi controlli vengono progettati insieme ai comandi stessi che ne fanno uso. Questa metodologia è estesa ed è la base della diagnostica nelle assegnazioni (vedi sopra: "Criteri di assegnazione del modello di calcolo").

Metodi di diagnostica sulla soluzione

Metodi di diagnostica sono applicati sia per evidenziare la qualità della soluzione sia per filtrare a monte le eventuali scorrettezze del modello. Ad esempio il fattore di forma, di planarità, la coincidenza, la sconnessione degli elementi finiti è inibita dalla interfaccia grafica stessa (vedi) che non consente l'accettazione di elementi finiti non idonei.

Oltre ai criteri di diagnostica sulla plausibilità delle assegnazioni, vi è un'ampia possibilità di rappresentazioni grafiche sia generali che tematiche (ad esempio per intervalli di valori, per caratteristiche specifiche) che consentono un efficace e immediato controllo visivo sulle assegnazioni fatte dall'utente.

Durante l'elaborazione, gli algoritmi sono tutti "autoprotetti" nel senso che vi è un rigoroso controllo sia su dati anomali che possano falsarne il comportamento che su dati non plausibili per il modello matematico implementato. Inoltre eventuali limiti propri dell'algoritmo vengono accuratamente segnalati. L'utente può essere "deluso" nello scoprire che l'algoritmo non è in grado di risolvere un problema ma tale evenienza viene sempre verificata prima della elaborazione (o monitorata durante, secondo i casi) in modo che l'utente non possa mai ricevere risposte falsate da un algoritmo i cui limiti di applicabilità siano violati senza controllo. Oltre alla protezione degli algoritmi, vengono controllate tutte le quantità caratteristiche per un buon esito della elaborazione. A esempio, nella fattorizzazione monitorare la "decadenza di precisione" può essere più significativo di controllare solo la condizione di singolarità in quanto avvengono arrotondamenti e troncamenti che non consentono verifiche assolute in aritmetica finita. Queste valutazioni hanno spesso una interpretazione fisica precisa (a esempio una matrice singolare indica una labilità della struttura) e vengono sempre esposte all'operatore attraverso un apposito messaggio (avviso) di errore. I messaggi di errore di questo tipo non solo evitano soluzioni non corrette ma guidano l'utente verso la eliminazione dell'errore commesso.

Metodi di esposizione dei risultati



I risultati in Nòlian sono esposti con metodo prioritario a “dialogo” intendendosi la possibilità di scegliere tematicamente il tipo di dato da consultare e poi “cliccando” l’oggetto che si desidera consultare per conoscere i valori del parametro sotto esame. Questo metodo consente un immediato controllo sui valori e sui punti critici senza richiedere la consultazione di stampe voluminose di difficile gestione. Inoltre Nòlian è dotato di potenti rappresentazioni grafiche, anche tra loro combinabili, che consentono un’immediata conoscenza del comportamento strutturale sia locale che globale. Infine si ha una produzione della descrizione del modello completa sia su file di testo che direttamente su stampante. La descrizione completa segue l’organizzazione tipica dei programmi a elementi finiti. E’ in forma sintetica tabellare e riporta una descrizione completa e ripetibile della struttura e dei risultati ottenuti in modo che l’analisi possa essere eventualmente ripetuta con altri programmi. Nòlian non produce “relazioni di calcolo”, che non è compito di programma di analisi strutturale, ma solo i dati suddetti che possono eventualmente essere allegati alla relazione di calcolo. Inoltre Nòlian ha la possibilità di copiare, registrare, stampare immagini sintetiche dei dati e dei risultati che possono essere impiegate nelle relazioni di calcolo per una documentazione sintetica del comportamento strutturale. Tra queste citiamo gli schemi del modello di calcolo dotati eventualmente della rappresentazione delle condizioni al contorno e delle azioni esterne agenti, e le mappe a colori di tutti i risultati tipici: dagli spostamenti agli sforzi. Si possono anche avere rappresentazioni personalizzate dall’utente tramite espressioni algebriche che possono documentare in modo sintetico presso che qualsiasi aspetto della struttura.

La relazione di calcolo

Come meglio esposto sopra, al paragrafo “Metodi di esposizione dei risultati”, Nòlian non produce “relazioni di calcolo” essendo questo compito specifico del progettista. Nòlian produce elaborati completi e “ripetibili” (nel senso che le informazioni hanno completezza assicurata per la ripetizione del calcolo con altri programmi). Tali elaborati possono essere usati come allegati alla relazione di calcolo sia nella forma completa sia tramite estratti o immagini sintetiche che possono essere prodotti con Nòlian.

Criteri di validazione e controlli di qualità

Il software non può essere “certificato” e cioè dichiarato rispondente a dei dettami normativi di costruzione bensì “validato” a fronte di casi prova. I casi prova sono generalmente le specifiche della commessa. Nel caso del software “pacchettizzato”, come questo, e non “custom”, in assenza di specifiche di validazione si impiegano dei casi prova forniti dalla letteratura internazionale. Si noti che i casi prova devono essere progettati con molta esperienza in quanto devono poter mettere in luce gli effettivi punti deboli del codice (stressing). Oltre alle verifiche tramite i casi prova, le verifiche vanno fatte sul comportamento globale del programma. La Softing ha un sistema di “bug tracking” che segue la fase di sviluppo (o aggiornamento e manutenzione), rilascio, uso presso l’utente. Questo rilevamento costante dà luogo a delle curve di difettosità che vengono costantemente tenute sotto controllo. Infatti la qualità del software si consegue in modo dinamico più che statico. Per questo motivo la Softing consiglia ai suoi clienti un costante aggiornamento del software e asserisce essere sempre maggiormente affidabile il software in corso più che le versioni obsolete. Gli utenti (si veda anche nel seguito) che hanno un contratto di manutenzione sono sia avvisati di eventuali malfunzionamenti riscontrati che messi in grado in tempi brevissimi di adeguare il loro codice tramite delle patch disponibili in automatico su Internet. Il metodo di bug-tracking della Softing è stato certificato ISO-9002. La Softing non ha ritenuto opportuno adeguare questa certificazione alla Vision 2000 ritenendo che gli espletamenti prettamente burocratici



imposti da queste normative comportasse un inutile aggravio di costi in quanto il metodo di controllo della qualità adottato da Softing è praticato a prescindere da certificazioni esterne di stampo burocratico.

Casi prova

Per la validazione di Nòlian sono stati usati moltissimi casi prova reperibili in letteratura. I principali di questi sono dovuti al NAFEMS (National Agency for Finite Element Standard, della quale Softing è membro). Nòlian ha due manuali di validazione (uno per i casi lineari e uno per quelli non lineari) dove sono riportati gli esiti dei principali di questi raffronti con i casi prova. Si faccia riferimento a tali manuali per questo aspetto. L'elenco di alcuni casi prova è riportato in Appendice 1.

Criteri riassuntivi di qualità

La produzione del software è ormai una tecnologia consolidata e confluita nella disciplina scientifica della Ingegneria del Software. La Softing è una azienda che produce software e lo fa dal 1983. Il software non può essere privo di malfunzionamenti. La curva di difettosità scende con il tempo ma ha andamento asintotico a valore non nullo. Il software più usato e collaudato è quello più sicuro a patto che vi siano, come nella Softing, strutture e metodologie atte a migliorare il software in base al monitoraggio di funzionamento nel tempo. La softing soprattutto impiega solo algoritmi assolutamente adeguati allo scopo che ci si prefigge di raggiungere, che ha come "filosofia" aziendale quella di dichiarare i limiti degli algoritmi che usa e di "filtrarne" l'uso via software. L'implementazione degli algoritmi avviene secondo metodi sperimentati e controllati che prevedono casi-priva progettati sia per il test dei componenti software che per i test dell'insieme. La Softing non usa algoritmi semplificati (nonostante essi spesso si avvicinano di più alle conoscenze professionali dell'utilizzatore e quindi siano commercialmente più "appetibili") in quanto essi rischiano di non avere sufficienti controlli in un sistema automatizzato. Oltre a questa rigorosa impostazione di partenza, la Softing segue nel tempo con rigore la difettosità del software rimuovendo puntigliosamente i malfunzionamenti ed, eventualmente, aggiornando costantemente algoritmi che abbiano trovato nuove soluzioni nella ricerca con ciò seguendo lo sviluppo sia dell'informatica che dei metodi matematici applicati all'ingegneria. La Softing offre ai propri utenti la possibilità di avere codici sempre aggiornati. Ciò tramite delle patch disponibili su internet che auto-aggiornano il codice. Le patch, essendo di ridotte dimensioni, non costringono a scaricare un'intera copia dell'eseguibile e di reinstallarla, ma la "riparano" automaticamente il codice eseguibile. In questo modo l'utente ha la garanzia che i malfunzionamenti eventualmente individuati siano subito rimossi anche nel suoi codice e ha la garanzia di avere i benefici della qualità di un software che cresce sempre nel tempo.

Appendici

Appendice 1: Elenco di alcuni casi prova



Elenco esemplificativo di 14 casi prova, tutti passati da Nòlian, dettagliatamente illustrati nel manuale di validazione di Nòlian per analisi lineare. Per l'analisi non lineare si consulti direttamente il manuale di validazione. L'elenco è per tipologia di elementi finiti e tipologia di problemi.

Elementi Trave: Analisi dinamica

1. Autovalori di un sistema di travi. Lo scopo di questo test è quello di verificare la qualità dei risultati in analisi dinamica di elementi trave. Si verifica il comportamento per un accoppiamento di caratteristiche estensionali e flessionali e la valutazione di autovalori coincidenti. Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test FV2.

2. Analisi dinamica di telaio. Questo test è uno dei pochi test in campo edile. Fu commissionato dalla Softing al Politecnico di Milano nel 1986 per validare Nòlian (allora MacSap). Contiene elementi tipici dei modelli edili: impalcati rigidi (master slave) ed elementi infinitamente rigidi (Rigel). Il risultati per la validazione, riportati in seguito, furono ottenuti con SAP IV.

Elementi Guscio: Patch test

3. Patch test per la membrana. E' un test importante. Di importanza anche storica perché è un test classico per elementi finiti. Se un elemento finto non passa i patch test, e questo è uno dei più impegnativi, non può essere impiegato nell'uso pratico. Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. Harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.

Elementi Guscio: Statica lineare

4. Torsione di mensola con sezione a "Z". Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento di elementi guscio soggetti a un regime di sforzo complesso. Infatti viene trattata una mensola a "Z" soggetta a torsione. Il test è proposto in : NAFEMS : "The standard NAFEMS benchmarks", test LE5.

5. Piastra sottoposta a pressione. Il test riguarda una piastra appoggiata uniformemente caricata. Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento degli elementi nel caso abbiano forma distorta. Il test è proposto in: NAFEMS " The standard Nafems Benchmarks", test LE6

6. Mensola con forza concentrata in estremità. Questo è un test basato su un elemento strutturale molto semplice, quindi adatto a confronti di immediata comprensione. L'importanza del test è nei parametri molto critici e nel ridotto numero di elementi impiegato che aiutano a valutare la "velocità di convergenza" degli elementi. Il test è proposto in: R.H. MacNeal, R.L. Harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy" in Finite Element Analysis and Design, 1 (1985) 3-20, North Holland.

I valori di riferimento sono anche facilmente ricavabili da una formulazione analitica.

7. Membrana ellittica. Si tratta di una membrana ellittica con un foro ellittico. Viene modellato solo un quarto dell'ellisse. Lo scopo di questo test è quello di testare la capacità dei programmi di rappresentare adeguatamente forme curve e carichi applicati a lati curvi e inoltre di valutare gli sforzi nei punti di massima concentrazione. Il test è uno dei primi proposti dal NAFEMS e è dettagliatamente spiegato in Il test è proposto da: NAFEMS, "Background to Benchmarks" pag 5 e segg.

Elementi Guscio: Dinamica



8. Autovalori di piastra quadrata appoggiata. Scopo di questo test è verificare il comportamento in analisi dinamica degli elementi guscio. Generalmente un buon comportamento nella estrazione degli autovalori (direttamente correlati ai periodi) è indice anche di una buona affidabilità in analisi statica. Il test è proposto in: NAFEMS, "Selected Benchmark for Natural Frequency Analysis", Test 13.

9. Autovalori di mensola rastremata. Questo test verifica il comportamento membranale (a taglio) degli elementi piani soprattutto con una mesh irregolare. Il Test è proposto in: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test FV32

Elementi a deformazione piana e assialsimmetrici: statica lineare

10. Tubo di lunghezza indefinita. Modellazione di un cilindro di lunghezza indefinita tramite elementi a deformazione piana. Il test è proposto in: E. Hinton, D.R.J. Owen, Finite Element in Plasticity, Pineridge Press, 1980.

11. Elemento di lunghezza infinita con nucleo riscaldato. Lo scopo del test è quello di verificare il comportamento termo-elastico. Qui sono impiegati elementi a deformazione piana per modellare un elemento di lunghezza infinita, quale un conduttore. Il nucleo centrale presenta una variazione di temperatura rispetto agli elementi esterni. Tale variazione di temperatura causa una tensione negli elementi di contorno. Il test è proposto da: NAFEMS "The standard Nafems Benchmarks", test T1.

Elementi Brick: Statica Lineare

12. Piastra spessa sottoposta a pressione. Test su elementi brick di forma non regolare. Il test è proposto da: NAFEMS, "Beckground to Benchmarks" pag 77

13. Colonna spessa sottoposta a variazione di temperatura. Uso degli elementi brick per variazione di temperatura. Valutazione del comportamento per un campo di deformazione costante. Soluzione analitica.

Elementi Brick: Dinamica

14. Autovalori di mensola di forte spessore. Uso degli elementi brick per modelli di elementi di forte spessore. Il test è proposto NAFEMS "Selected BechMark for Natural Frequency Analysis", Test 51. e in NAFEMS "Free Vibration Benchmarks" vol. 3 pag. 451.