



PORTI  
di ROMA  
e del LAZIO

**AUTORITA' PORTUALE**  
**DI CIVITAVECCHIA, FIUMICINO E GAETA**  
**PORTO DI CIVITAVECCHIA**

**INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DELLA  
PARTE SOMMITALE DEL MURO PARAONDE  
DELL'AMPLIAMENTO DELL'ANTEMURALE  
CRISTOFORO COLOMBO III° LOTTO**

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
01	15/02/2017	EMISSIONE ESECUTIVA	CENCINI	PROIETTI	GRIMALDI
02	14/11/2017	EMISSIONE ESECUTIVA	CENCINI	PROIETTI	GRIMALDI
03					
04					
05					

TITOLO TAVOLA :

**RELAZIONE GENERALE**

N° TAV. :

**DES\_01**

SCALA :

PROGETTAZIONE STRUTTURALE :



Via Casilina, 3/t • 00182 • ROMA  
tel.: +39 (0)6 7016 828 • fax: +39 (0)6 7021 494  
www.ediningegneria.com

**E.D.IN. s.r.l. Società di Ingegneria**

UN DIRETTORE TECNICO :

**Dott. Ing. Giuseppe Grimaldi**





E.D.IN. s.r.l. Società di Ingegneria



CERT-13752-2004-AQ-ROM

## **PORTO DI CIVITAVECCHIA**

### **INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DELLA PARTE SOMMITALE DEL MURO PARAONDE DELL'AMPLIAMENTO DELL'ANTEMURALE CRISTOFORO COLOMBO III° LOTTO**

#### **RELAZIONE GENERALE**

*Cliente: Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta*

*Redatto/Verificato/Approvato: M. Averardi/M. Proietti/G.Grimaldi*

*Data: 14/11/2017*

*Codifica: EDIN-RPT-DES-001*

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....</b>	<b>8</b>
<b>4. RIFERIMENTI.....</b>	<b>11</b>
1.1 Normative .....	11
<b>5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>11</b>
5.1. Calcestruzzo.....	11
5.2. Acciaio per C.A.....	12
5.3. Malta cementizia .....	12
<b>6. METODOLOGIA DI VERIFICA.....</b>	<b>12</b>



## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione ha per oggetto gli interventi di messa in sicurezza della parte sommitale del muro paraonde dell'ampliamento dell'Antemurale Cristoforo Colombo - III° Lotto - posto a difesa del terminale per crociere del Porto di Civitavecchia. Tale muro ha subito ripetuti danneggiamenti e crolli a seguito di intensi eventi meteo-marini, pertanto risulta necessario un intervento rivolto ad aumentarne la resistenza al fine di evitare ulteriori problematiche strutturali.

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

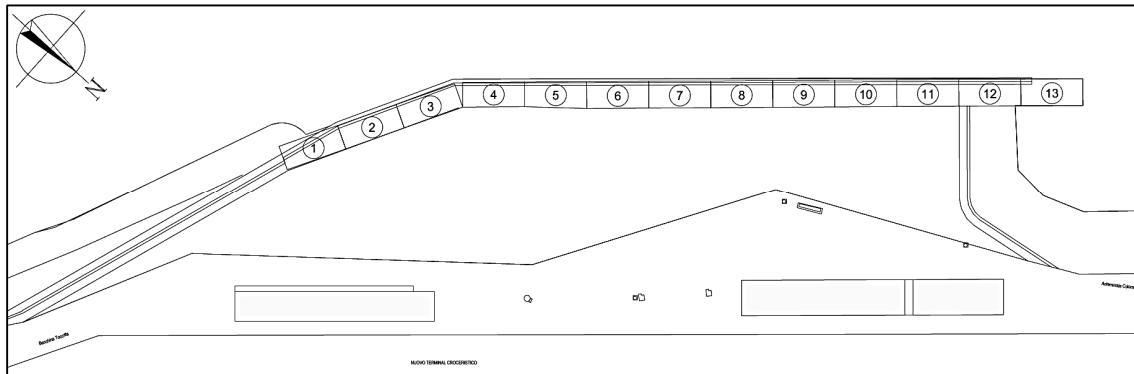
Il muro paraonde oggetto della presente relazione è stato realizzato nell'ambito dei lavori di ampliamento dell'antemurale Cristoforo Colombo, commissionati dall'Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta mediante un appalto principale denominato *Completamento e ristrutturazione diga foranea III° Lotto . Ampliamento dell'Antemurale C. Colombo 1° Stralcio funzionale*, e realizzati negli anni 2006-2012. Tale intervento ha comportato una revisione dell'assetto della diga foranea del porto, che risentiva di un andamento della linea diasse costituito da una successione di tratti rettilinei con diversa orientazione. Fu quindi interamente rettificata la banchina interna esistente, già adibita alle navi da crociera, e realizzata una nuova opera di difesa esterna, posizionata più esternamente, in modo da ottenere un piazzale di circa 30.000,00 mq per accogliere un moderno terminale per crociere e ampie zone di parcheggio.



**Figura 1: Antemurale Cristoforo Colombo, muro paraonde in primo piano**

L'opera di difesa è stata realizzata mediante prefabbricazione e posa in opera di un'unica tipologia di cassoni di lunghezza 35,48 m e larghezza del fusto di 15,235 m, a 8 x 3 file di celle, per un totale di 13 cassoni. Tutti i cassoni hanno altezza 19,00 m e sono imbasati a quota -18,50 m su un'opera a scogliera di sviluppo complessivo pari a circa 510,00 m. Si precisa che inizialmente era prevista la realizzazione di un cassone posizionato trasversalmente all'allineamento della diga, come elemento di raccordo con le opere esistenti a sud della zona di intervento. La numerazione iniziale dei cassoni pertanto

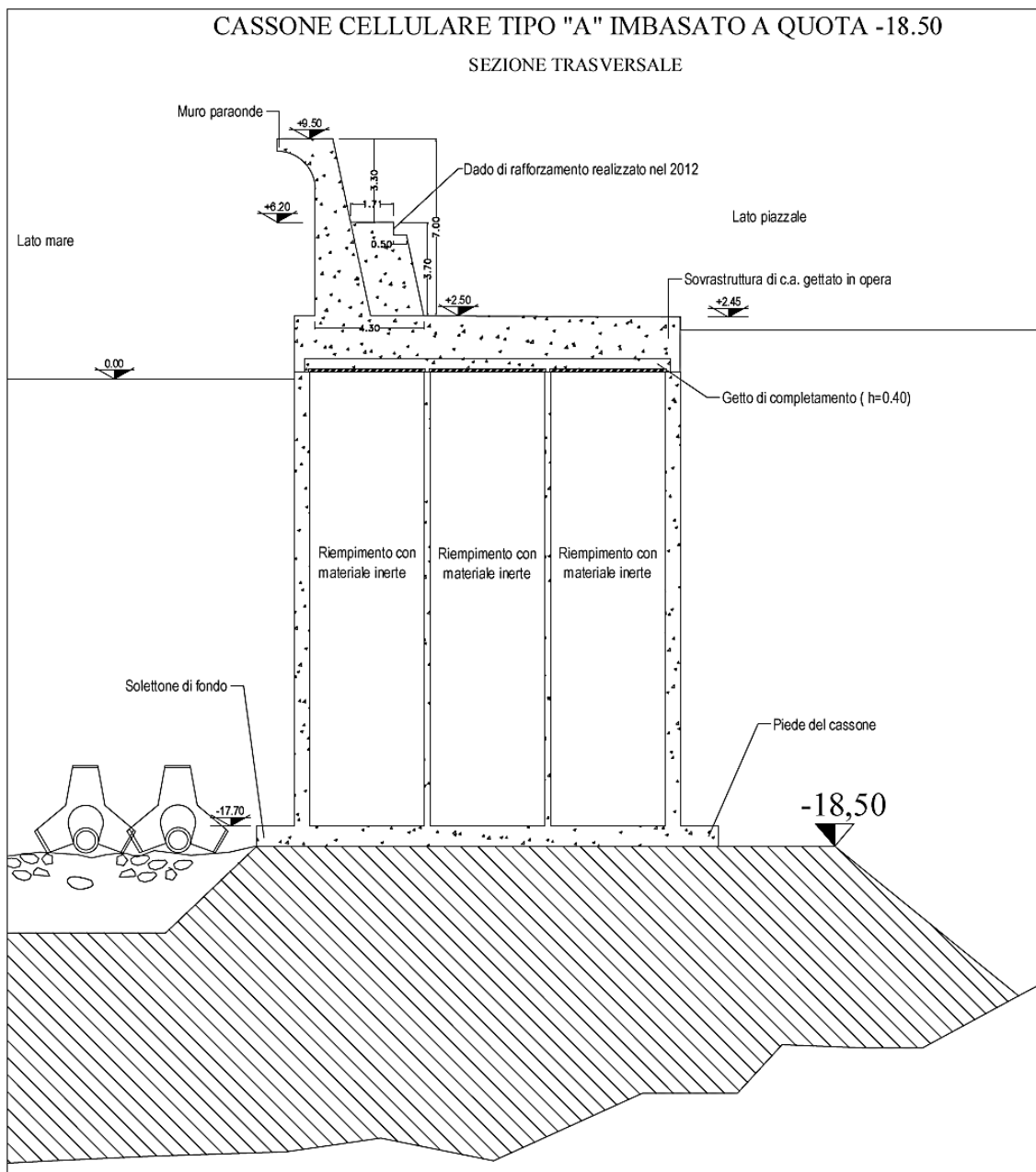
andava da 1 a 14, come riportato in molti elaborati progettuali. A seguito di varianti in corso d'opera tale cassone di raccordo fu eliminato, conseguentemente sono stati realizzati 13 cassoni. In questa sede si adotta la numerazione degli stessi da 1 a 13, procedendo da Sud-Est verso Nord-Ovest.



**Figura 2: Numerazione dei cassoni**

La parte superiore di ciascun cassone è completata da una soletta in c.a. gettata in opera, di spessore pari a 2.15 m, cui è collegato il muro paraonde disposto sul lato verso mare della struttura. Tale muro, nella configurazione originale, presenta un'altezza pari a 7 m, con sommità alla quota +9.50 m sul livello medio marino. Il tratto di muro paraonde relativo a ciascun cassone è suddiviso in tre conci di lunghezza pari a circa 11.80 m.

Il muro è caratterizzato da una sezione rastremata, con uno spessore di 2.20 m alla base e di 0.70 m in sommità. Inoltre la superficie esterna del muro presenta un risvolto aggettante, di seguito denominato "ricciolo", con un profilo descritto da un arco di cerchio di raggio pari a 1.5 m e apertura 90° ed una parte a spessore costante in sommità di altezza pari a 0.50 m. Il ricciolo era stato concepito in fase di progetto come misura rivolta a indirizzare verso il largo le vene d'acqua risalenti verticalmente il muro e quindi a ridurre i fenomeni di tracimazione al di sopra del muro stesso.



**Figura 3: Sezione trasversale cassone e muro paraonde - Stato attuale**

A seguire si riporta un breve riassunto dei ripetuti fenomeni di danneggiamento e/o collasso subiti dal muro paraonde in diverse sezioni, nonché degli interventi che si sono resi di volta in volta necessari a seguito di tali fenomeni.

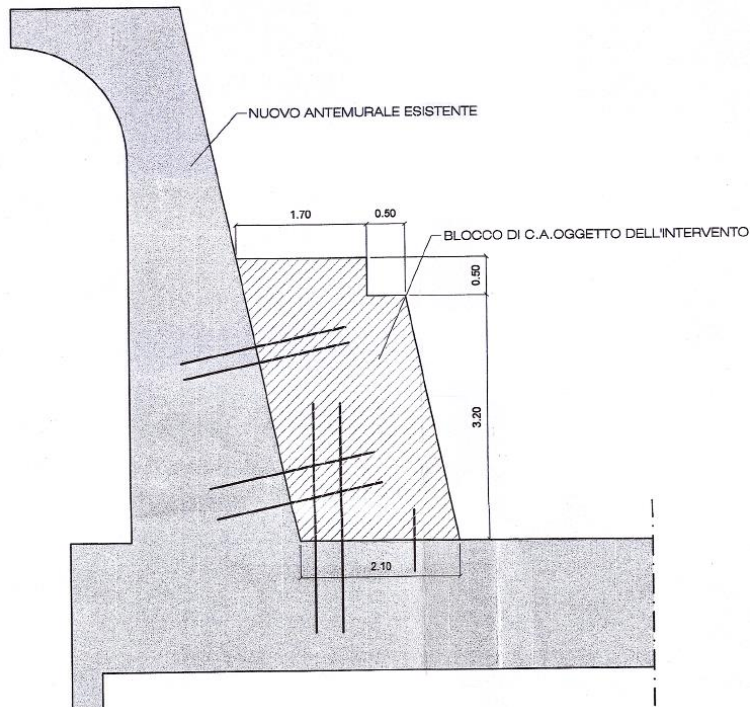
A seguito della mareggiata del 16-17 Dicembre 2011 si è verificata la rottura e conseguente ribaltamento del muro paraonde, per uno sviluppo di circa 35 m, corrispondente al cassone individuato con il numero 7. L'ispezione visiva ha mostrato che il cedimento si è manifestato con una traslazione e una rotazione d'insieme intorno alla sezione di incastro del muro. I ferri di armatura si presentavano ovunque tranciati di netto. Il muro dopo la rotazione si è adagiato sul terrapieno retrostante senza subire ulteriori

vistose rotture, a parte quella in corrispondenza della ripresa di getto a quota +4.50 m s.l.m.



**Figura 4: Crollo del dicembre 2011 - Muro paraonde sul cassone n.7**

Dovendosi procedere con rapidità alla riparazione del muro crollato e al rinforzo della parte non crollata, di identica conformazione strutturale, fu realizzato un intervento consistente in un ringrosso del muro per tutta la sua estensione fino alla quota di circa +6.20 m s.l.m., collegando la nuova struttura in c.a. tramite barre di armatura inghisate sia nella piastra di fondazione che nella struttura originaria in elevazione del muro. La quota di +6.20 m venne stabilita sulla base della previsione di addossare al muro una serie di serbatoi idrici destinati all'alimentazione delle navi da crociera. Per questo stesso motivo furono disposti dei ferri di ripresa fuoriuscenti dalla struttura di nuova realizzazione. Tale intervento fu realizzato nel corso del 2012.



**Figura 5: Intervento di rinforzo eseguito nel 2012 sull'intera estensione del muro**

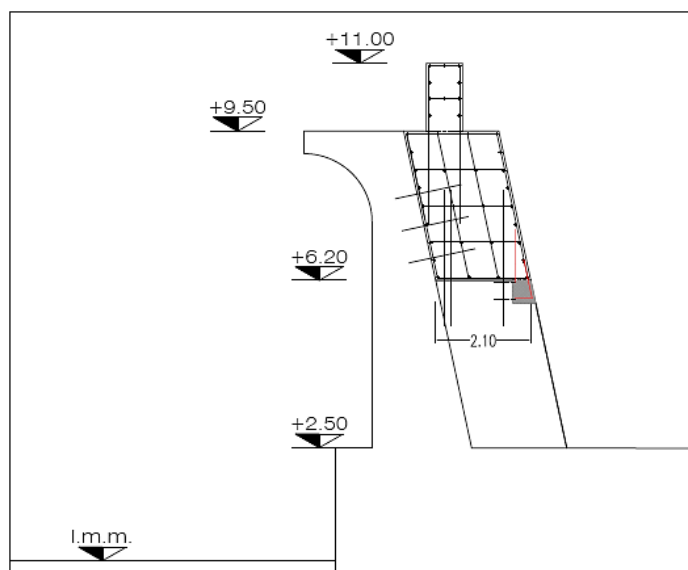
Un secondo fenomeno di danneggiamento fu riscontrato durante il sopralluogo effettuato il 18 maggio 2015, in cui è stata rilevata la presenza di una importante fessura sul concio

n.1 del cassone n.11 con propagazione in modo meno evidente al concio n.3 del cassone n.10, e un'ulteriore fessura sul concio che insiste sull'ultimo cassone (n.13). All'interno di tali fessure era possibile notare, sulla base del materiale fotografico disponibile, la rottura di numerose barre di armatura ed un elevato grado di corrosione delle stesse. La parte superiore del muro nel concio n.1 del cassone n.11 mostrava inoltre una rotazione verso l'interno, indicatrice di un incipiente ribaltamento dello stesso.



**Figura 6: Fessurazione maggio 2015 – Concio n.1 del cassone 10**

A seguito di tale problematica sono stati effettuati, nell'estate del 2015, interventi sul muro finalizzati alla sutura delle fessure create e al rinforzo di due conci (concio n.1 del cassone n.11 e concio n.3 del cassone n.10) mediante la realizzazione di un dado di c.a. in prosecuzione di quello esistente per tutta l'altezza del concio. Quest'ultimo intervento ha comportato nei conci interessati anche l'innalzamento della quota di sommità del muro da quota +9.50 m a quota +11.0 m s.l.m. per mezzo di un dente di c.a. al fine di ridurre i fenomeni di sormonto.



**Figura 7: Rinforzo della parte superiore del muro paraonde eseguito nel 2015 (concio n.1 del cassone n.11 e concio n.3 del cassone n.10)**

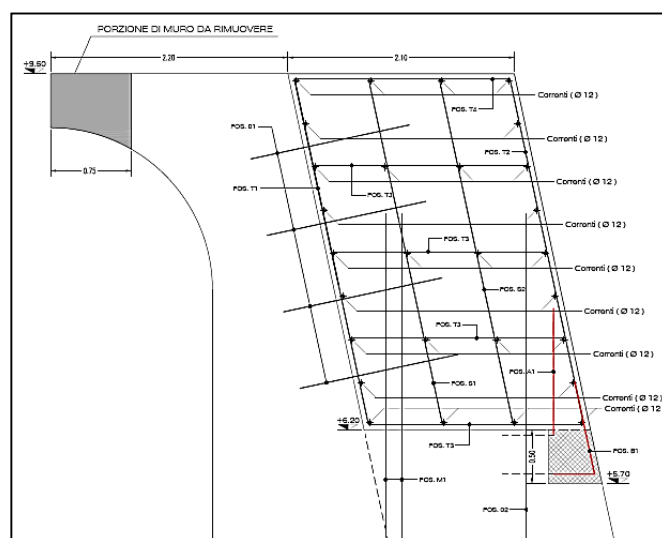


Infine la mareggiata del novembre 2015 ha provocato danni sul muro paraonde di tre cassoni al di sopra della zona rinforzata nel 2012 (quota +6.20 m s.l.m.). In particolare, si è riscontrata la rottura completa e il ribaltamento del primo concio di muro relativo al cassone n.13 e al cassone n.12, e la lesione del secondo concio del cassone n.12 e del terzo concio del cassone n.11.



**Figura 8: Crollo del novembre 2015 - Cassoni 12 e 13**

A seguito del ricorso per Accertamento Tecnico Preventivo presentato dall'impresa Pietro Cidonio S.p.A., esecutrice dei lavori, non si è allo stato attuale provveduto al ripristino delle parti collassate o danneggiate nel novembre 2015, tuttavia esse sono oggetto di apposito progetto redatto da Modimar S.r.l, con modalità simili a quelle dell'intervento eseguito nell'estate del 2015. In particolare per il concio sul cassone n.13 si prevede la regolarizzazione senza ricostruzione del muro paraonde, mentre per gli altri conci interessati si prevede la realizzazione di un dado di c.a. continuo in prosecuzione di quello esistente per tutta l'altezza del muro. Si prevede inoltre la demolizione parziale del picciolo in sommità del muro, lasciandone in opera solo una porzione di larghezza di 0.75 m, al fine di ridurre la componente verticale della pressione dovuta al moto ondoso e di evitare maggiori fenomeni d'impatto dinamico.

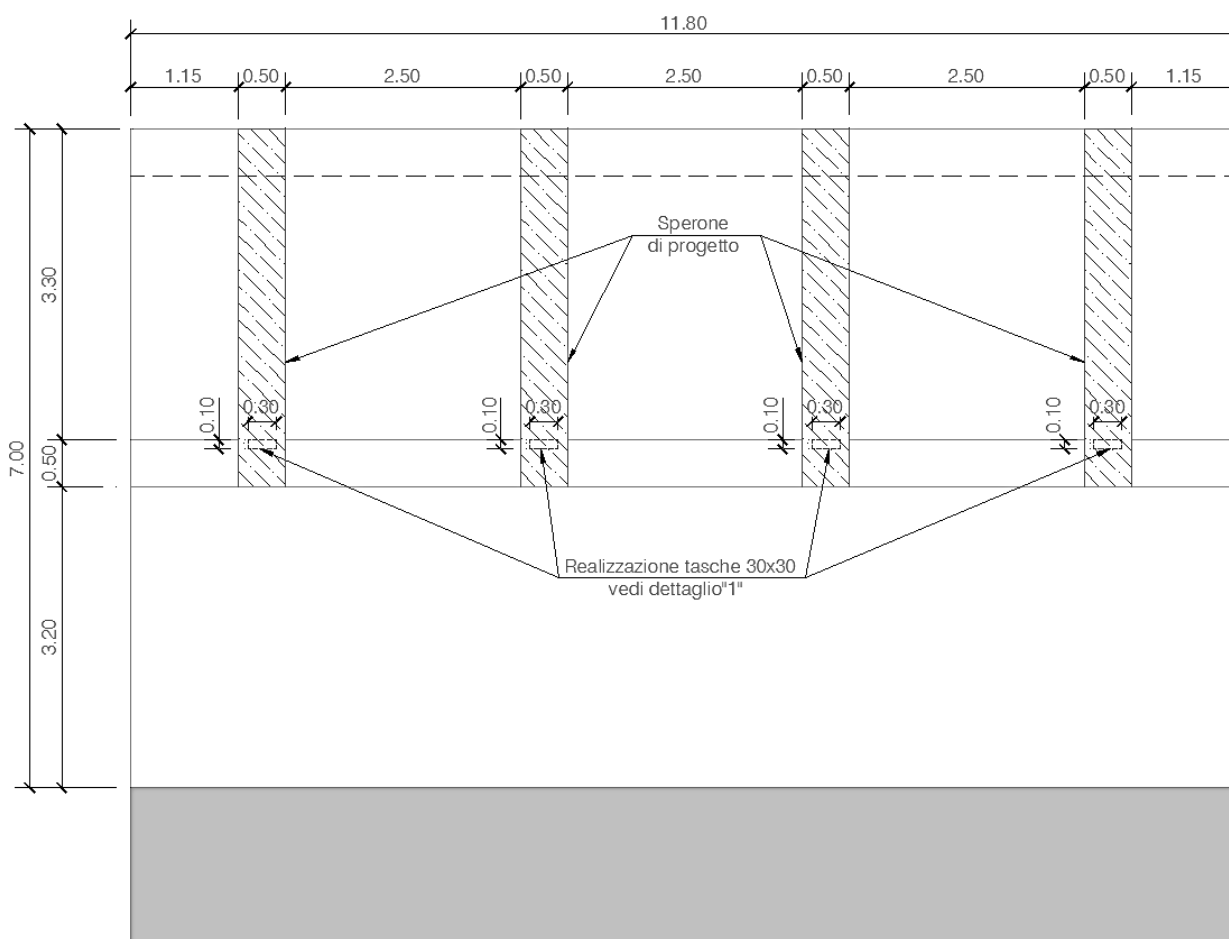


**Figura 9: Progetto di rinforzo dei conci danneggiati nel novembre 2015**

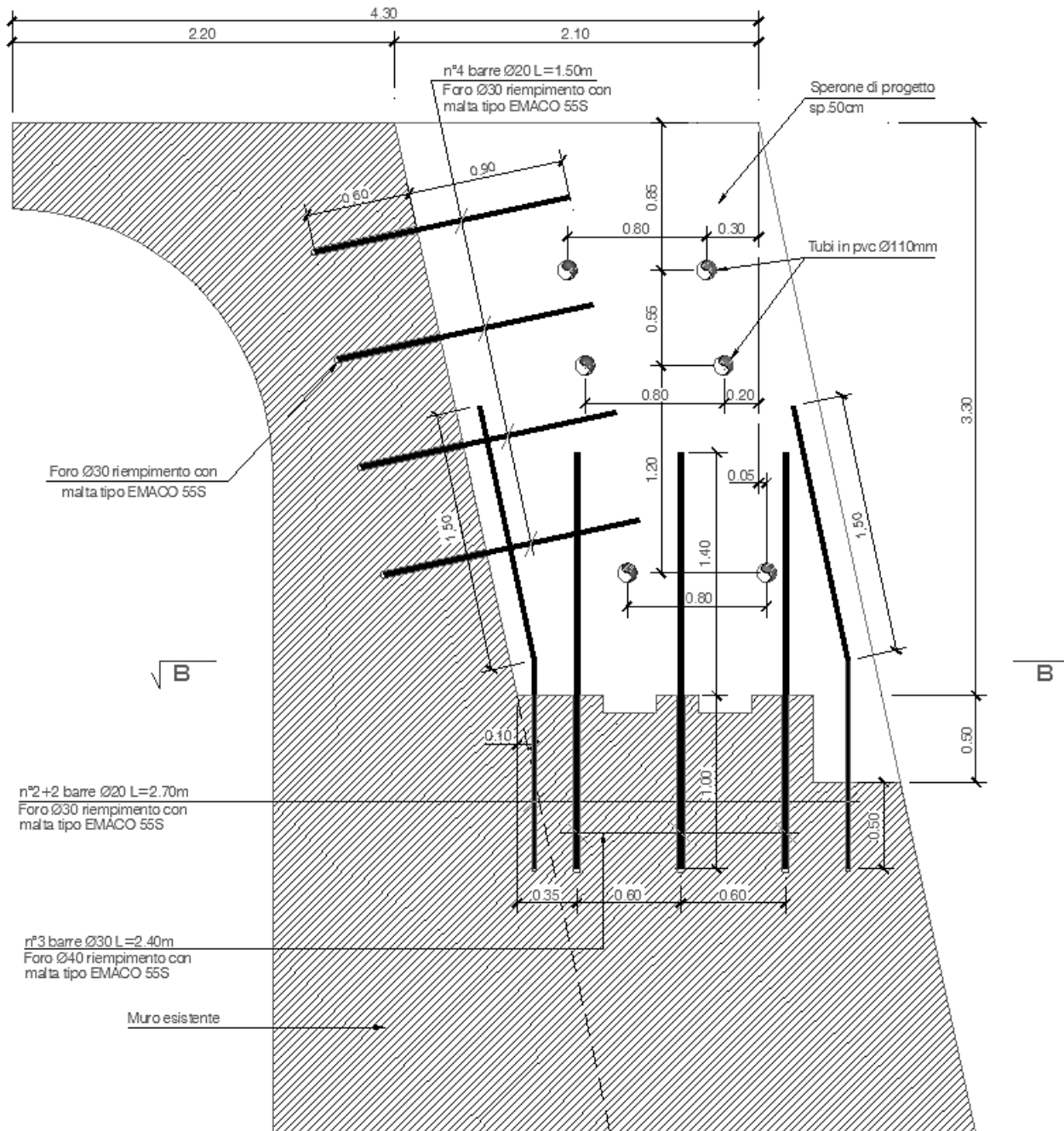
### 3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Alla luce del quadro riportato precedentemente, il presente intervento di messa in sicurezza riguarda l'intera estensione del muro paraonde dell'Antemurale Cristoforo Colombo, con esclusione dei conci rinforzati per tutta l'altezza nell'estate 2015 e di quelli interessati dai fenomeni del novembre 2015. Pertanto gli interventi di seguito descritti sono applicabili dal concio n.1 del cassone n.1 al concio n.2 del cassone n.10.

L'intervento in progetto è costituito dal rinforzo del muro paraonde mediante la realizzazione di 4 speroni in c.a. per ciascun concio. Tali speroni, posizionati a interassi di 3 m, presentano una larghezza di 0.50 m ciascuno e sono estesi fino al livello della sommità del muro paraonde, seguendo l'inclinazione del paramento esistente e quella del rinforzo inferiore realizzato nel 2012. Tali speroni sono solidarizzati alla base mediante inghisaggio di barre di grande diametro poste in posizione verticale e resi collaboranti con la parte superiore del muro esistente mediante inghisaggio di barre sub-orizzontali, disposte ortogonalmente al paramento interno del muro, previa realizzazione di appositi fori riempiti con malta R4.



**Figura 10: Sezione longitudinale (per un concio di muro paraonde)**

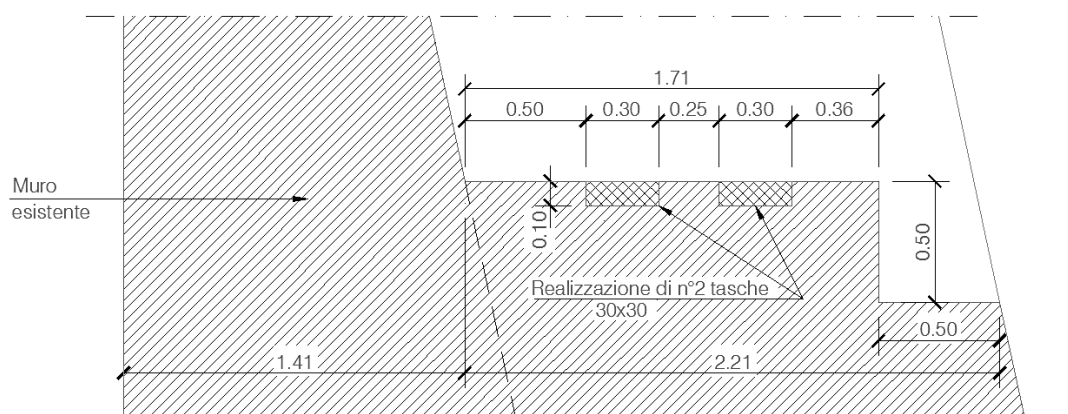


**Figura 11: Sezione trasversale su sperone**

Per favorire l'adesione tra il calcestruzzo di nuova realizzazione e quello esistente, lungo le superfici di contatto si prevede la scarificazione delle superfici e l'applicazione di una resina epossidica bicomponente (tipo Eporip, Sikadur o equivalente).

Inoltre, alla base di ciascuno sperone, è prevista la rimozione del calcestruzzo costituente la parte di copriferro della struttura di rinforzo realizzata nel 2012, per uno spessore di almeno 10 cm, al fine di migliorare la connessione tra elementi esistenti e di nuova realizzazione mediante la formazione di una %chiave di taglio+.

## Intervento di messa in sicurezza della parte sommitale del muro paraonde: Relazione generale



**Figura 12: Realizzazione di tasche nella struttura esistente**

## 4. RIFERIMENTI

### 1.1 Normative

- DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 - Nuove Norme Tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni+di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- EN 1992-1-1:2005 - Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo .  
Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

## 5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 5.1. Calcestruzzo

Sia il calcestruzzo utilizzato per la realizzazione delle strutture esistenti, sia quello previsto per gli speroni di nuova costruzione, è di classe C35/45 ai sensi delle norme tecniche vigenti. A seguire si riportano le principali proprietà meccaniche considerate.

#### CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA

Classe	C35/45		
$R_{ck} =$	45.00	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	37.35	$N/mm^2$	resistenza caratteristica cilindrica
$\gamma_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	21.17	$N/mm^2$	resistenza a compressione di progetto
$f_{ctm} =$	3.35	$N/mm^2$	resistenza media a trazione
$f_{ctk} =$	2.35	$N/mm^2$	resistenza caratteristica a trazione
$f_{ctd} =$	1.56	$N/mm^2$	resistenza a trazione di progetto
$E_{cm} =$	34625	$N/mm^2$	modulo elastico
$c =$	50	mm	copriferro minimo
	XS3	-	Classe di esposizione



## 5.2. Acciaio per C.A.

Le barre di armatura nelle strutture di nuova realizzazione sono in acciaio B450C, così come quelle esistenti, come si può desumere dagli elaborati progettuali relativi alle integrazioni costruttive esecutive predisposti dall'impresa Pietro Cidonio S.p.a.

### ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE AD ADERENZA MIGLIORATA

Tipo	B 450 C		
$F_{tk} \geq$	540.0	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di rottura
$f_{yk} \geq$	450.0	N/mm <sup>2</sup>	tensione caratteristica di snervamento
$m =$	1.15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391.3	N/mm <sup>2</sup>	resistenza di progetto
$E_s =$	210000	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico

## 5.3. Malta cementizia

Malta R4

## 6. METODOLOGIA DI VERIFICA

I ripetuti fenomeni di danneggiamento subiti dal muro paraonde sono imputabili, tra gli altri aspetti, a una possibile sottostima delle pressioni dovute al moto ondoso incidente, sulle quali sussiste allo stato attuale una significativa incertezza. A seguire si riassume sinteticamente la varietà di ipotesi riguardanti tale aspetto considerate nelle fasi di progetto dell'opera, di analisi dei fenomeni occorsi e di definizione delle misure di rinforzo.

Il dimensionamento del muro in sede di progetto (2006) venne effettuato utilizzando per il calcolo delle pressioni agenti le formule di Sainflou, valide in assenza completa di frangimento del moto ondoso. A seguito del collasso avvenuto nel dicembre 2011, nell'analisi delle possibili cause del fenomeno, furono anche considerate condizioni di frangimento parziale a ridosso dell'opera mediante l'utilizzo delle formule di Goda. Tuttavia, nel caso specifico si è riscontrato che le differenze fra i due diagrammi di spinta sono abbastanza modeste. Ulteriori spiegazioni proposte includono la considerazione dello stato di mare macrociato, ritenuto in seguito non significativo, e la scoperta di una regolare sottostima nelle misure ondometriche della boa della Rete Ondametrica Nazionale situata a largo del porto di Civitavecchia, le cui registrazioni furono impiegate per definire l'ondata di progetto nel caso in esame. Successivamente (2012) furono commissionate ad un noto laboratorio (Artelia) una serie di prove sperimentali su un modello tridimensionale, nel quale fra l'altro è stata effettuata anche la misura delle pressioni agenti in numerosi punti della parete e del muro paraonde, riscontrando la presenza di pressioni di breve durata ed elevata intensità anche in punti molto al di sopra



del livello medio marino. Questa circostanza sembra coerente con la rottura della parte superiore del muro avvenuta nel novembre 2015. In effetti il progettista dell'opera (Modimar s.r.l.), in occasione della back-analysis effettuata a seguito di questo evento, ha ipotizzato la presenza di azioni concentrate e violente con centro di spinta a quota superiore al livello medio marino. Il diagramma di spinta corrispondente, definito "a martello", ha una distribuzione triangolare caratterizzata da un massimo della pressione alla quota intermedia fra la base e la sommità della parte non rinforzata del muro.

Alla luce di quanto sopra, risulta un quadro di rilevante incertezza sull'effettiva entità delle azioni dovute al moto ondoso sull'opera in esame, per la quale le formule comunemente adottate per il dimensionamento di opere marittime sembrano fornire valori non coerenti con le prove sperimentali effettuate e con i fenomeni di danneggiamento osservati.

Ai fini del presente intervento di messa in sicurezza si è quindi deciso di prescindere dalla determinazione di un valore fissato per la azione di progetto, valutazione che richiederebbe di formulare ipotesi non adeguatamente supportate da normative o formule disponibili in letteratura.

Pertanto è stato adottato un approccio inverso, consistente nel definire l'intervento di rinforzo, valutare le resistenze degli elementi strutturali secondo varie potenziali modalità di collasso e correlare il raggiungimento di tali condizioni di collasso al valore dell'azione applicata tale da provocarlo. Si procede quindi per iterazioni successive fino ad ottenere un valore dell'azione applicata considerato ragionevolmente cautelativo.

Le verifiche riportate nella relazione di calcolo vengono svolte nelle due ipotesi di armature lato mare esistenti efficaci e non efficaci.