



AUTORITA' PORTUALE

Marina di Carrara

Ente di diritto pubblico - legge 28 gennaio 1994 n. 84

LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE

***PROGETTO DEFINITIVO* RELAZIONE DESCRITTIVA**

rev.	data	Progettista	Committente: Autorità Portuale di Marina di Carrara Responsabile del Procedimento
	Luglio 2003	Ing. Paolo CONTINI	Ing. Ivano MELITO
		Collaboratori	
		Ing. Alessandro NUNZIATI Ing. Davide SALTARI	

INDICE

1.	PREMESSE	3
2.	ATTUALI CARATTERISTICHE DEL MOLO DI LEVANTE	4
3.	REQUISITI TECNICO-FUNZIONALI DELLE OPERE IN PROGETTO	8
3.1	Caratteristiche dell'intervento	8
3.2	Compatibilità con i vigenti strumenti urbanistici	12
4.	VINCOLI PROGETTUALI	17
4.1	Studio di fattibilità ambientale	17
4.2	Indagini geologiche, geotecniche e sismiche	19
4.3	Indagini idrologiche, idrauliche e meteomarine	20
5.	DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DELLE STRUTTURE	24
6.	CRONOPROGRAMMA DI ATTUAZIONE DELL'INTERVENTO	27
7.	COSTO COMPLESSIVO DELL'INTERVENTO	28

1. Premesse

La presente relazione descrittiva del progetto definitivo è stata redatta in conformità a quanto prescritto dall'art. 26 del Regolamento (D.P.R. 554/99) e sulla base di quanto indicato nel “documento preliminare all'avvio della progettazione” e delle integrazioni richieste nell'ambito della verifica ed approvazione del progetto preliminare da parte del responsabile del procedimento.

In questa relazione vengono esposte le ragioni che hanno portato al dimensionamento definitivo delle opere necessarie per l'adeguamento tecnico-funzionale del molo di levante con riferimento allo scenario di intervento selezionato nell'ambito del progetto preliminare; oltre a fornire una descrizione dei criteri utilizzati nella progettazione delle strutture e degli impianti riferisce nel merito di tutti gli studi specialistici condotti per verificare le condizioni di inserimento dell'intervento sul territorio.

2. Attuali caratteristiche del molo di levante

Il molo di levante del porto di Carrara è radicato al piazzale “Città di Massa” e si sviluppa (fig. 1) a partire dalla scogliera del suddetto piazzale con andamento rettilineo per circa 330 m con asse longitudinale orientato a circa 204°N; oltre questo tratto il molo di levante ha sempre andamento rettilineo, per uno sviluppo di circa 160 m, ma con asse longitudinale orientato a 225 ° N sino alla testata di estremità.

L'attuale conformazione strutturale dell'opera di protezione, lato mare, del molo (fig. 2) si compone di una scogliera di massi naturali, di pezzatura compresa tra 2 e 7 t, a tergo della quale è disposto un muro paraonde in cls. realizzato in più fasi dagli anni '30 sino agli anni '70 del secolo scorso. Un primo tratto a partire dal piazzale “Città di Massa” per uno sviluppo di circa 50 m presenta una larghezza di 3,35 m ed un'altezza di 2.6 m; un secondo tratto, per uno sviluppo di circa 100 m, presenta una larghezza di circa 3,95 m ed un'altezza di 2.6 m; il restante terzo tratto, per uno sviluppo di circa 140 m, presenta una larghezza di 3,95 m (con spigolo di sommità lato mare stondato) ed un'altezza di 3,70 m. La quota di sommità del muro paraonde varia da +3.5 m l.m.m. (per il primo tratto) a +3,7 m l.m.m. (per gli altri due tratti). Per una quantificazione di maggiore dettaglio delle dimensioni e particolari geometrici del muro paraonde e della scogliera si rimanda alle tavole allegate al progetto.

Nel corso dei sopralluoghi e del rilievo di dettaglio all'interno del muro paraonde e lungo le pareti esterne sono state individuati I seguenti elementi: canalizzazioni e pozzetti di servizio delle linee elettriche e telefoniche dirette verso l'estremità del molo (zona piloti e fanale verde); i pozzetti di servizio e le tubazioni afferenti al cosiddetto “oleodotto Fiat” ormai da tempo inutilizzato; spezzoni ed elementi di acciaio relativi ad anelloni di ormeggio, scalette marinare.

La scogliera in massi naturali presenta lungo tutto lo sviluppo del molo evidenti segni di ammaloramento con zone contraddistinte da assestamenti e/o scalzamenti di alcuni massi

ed in alcune zone interessate da elementi lapidei e residui di demolizioni di strutture di c.a.; anche il muro paraonde denota segni di ammaloramento dello strato superficiale di calcestruzzo e della “cortina” in pietra posta lungo la parete sul lato interno.

Recentemente l’Autorità Portuale ha provveduto ad eseguire lavori di “ricarica” del tratto di estremità del molo per uno sviluppo di circa 150 m al quale si andrà ad innestare la nuova scogliera contemplata dal presente progetto.

Immediatamente a tergo del muro paraonde è disposta una strada per l’accesso alla darsena servizi, alla sede dei piloti ed al fanale verde di segnalazione; attualmente in concomitanza delle mareggiate più intense associate a forti sovralti di tempesta si possono registrare fenomeni di tracimazione delle onde incidenti l’opera che possono mettere a rischio l’incolumità degli addetti alle attività portuali.

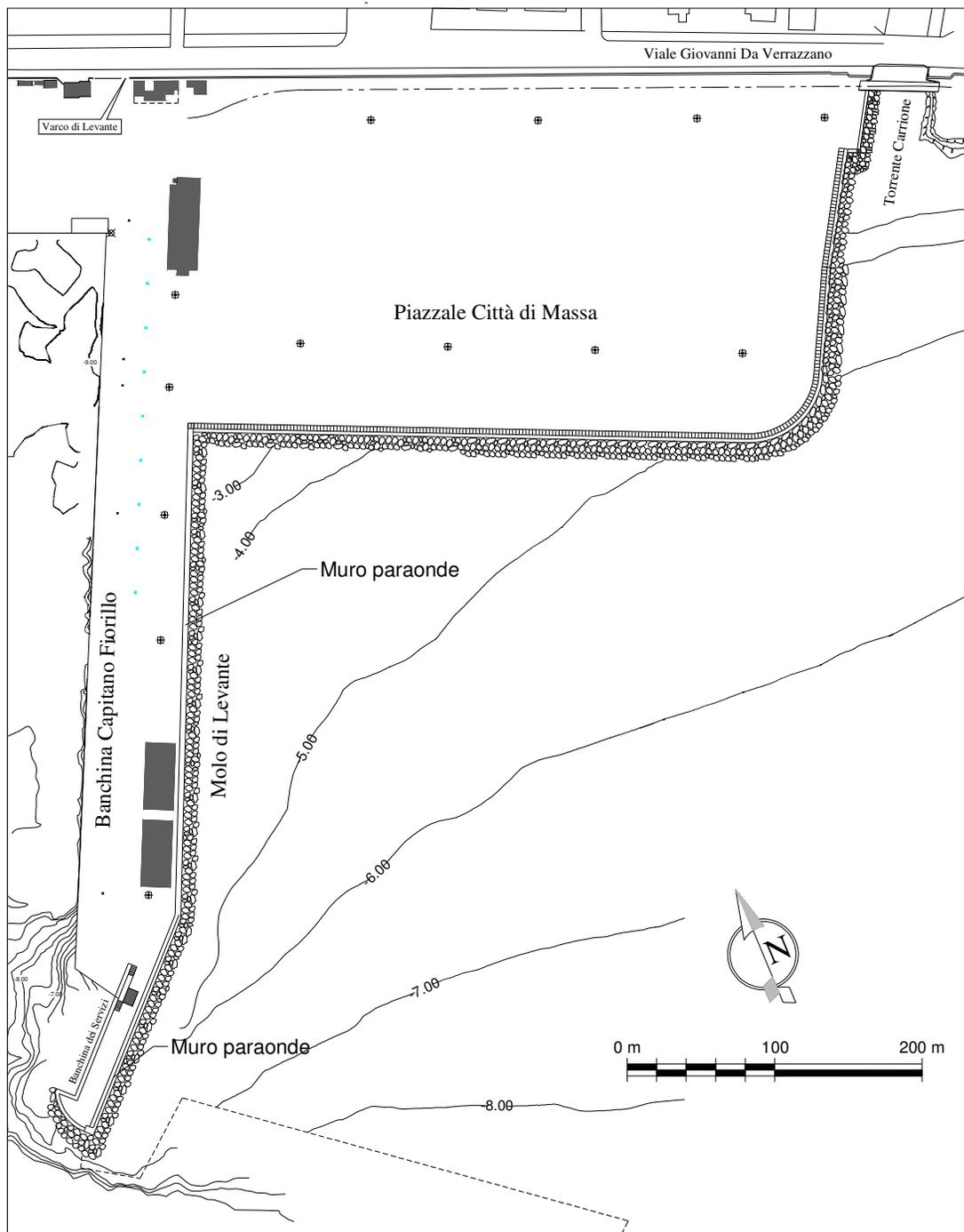


Fig. 1 – Planimetria generale del Molo di Levante del porto di Marina di Carrara

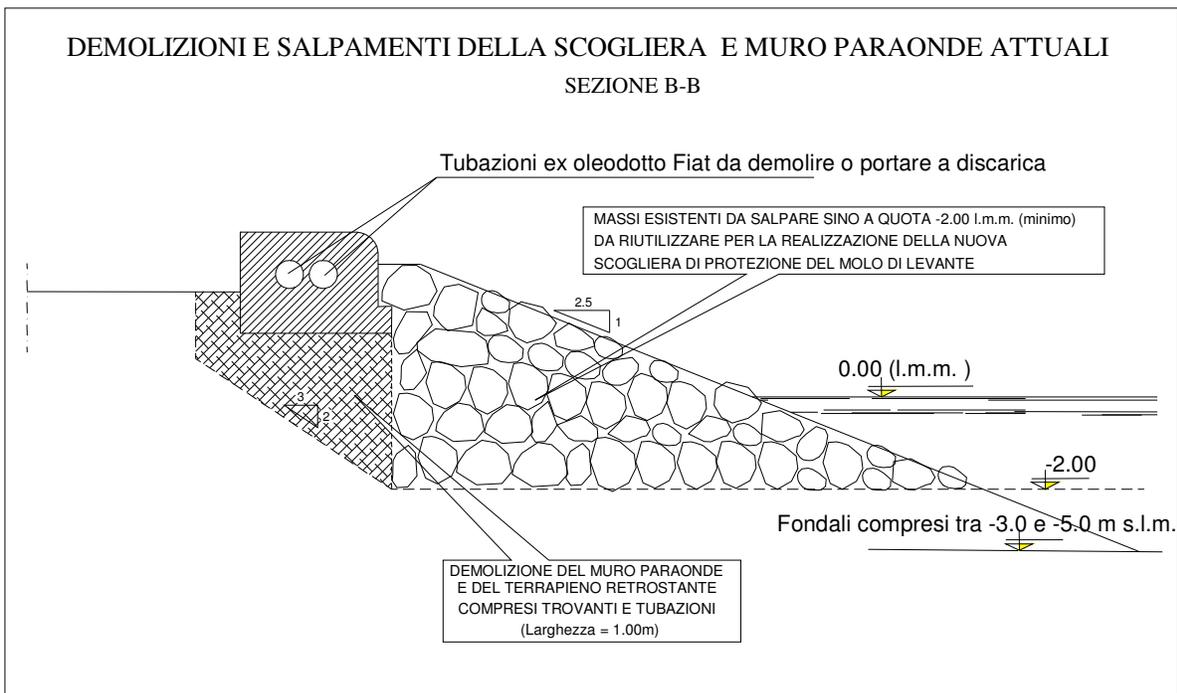
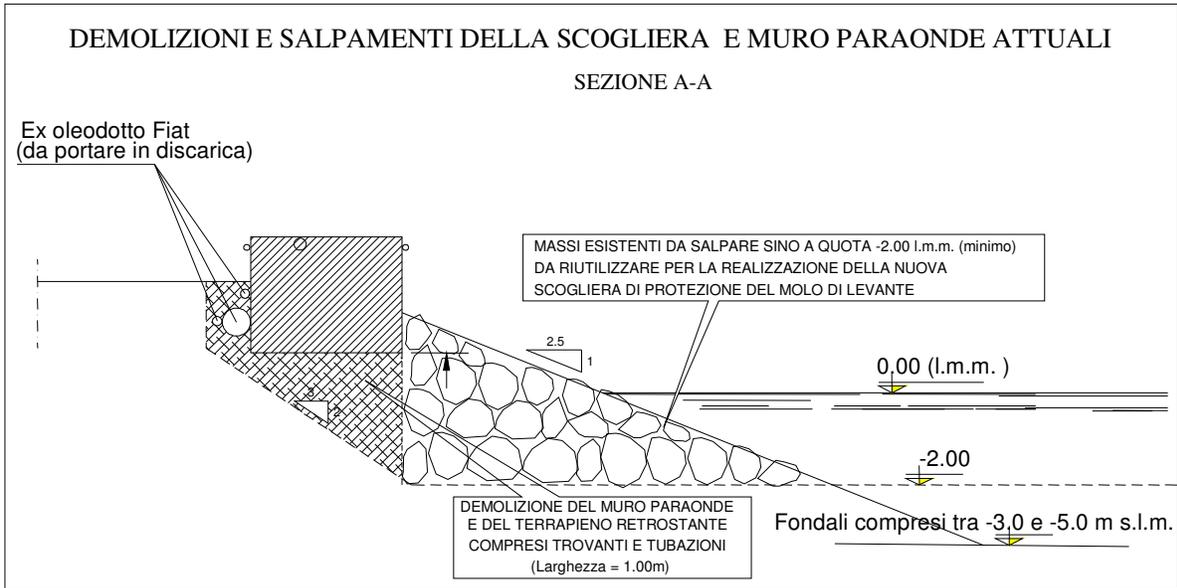


Fig. 2 – Sezioni tipo dell'attuale scogliera e massiccio di coronamento del molo di levante

3. Requisiti tecnico-funzionali delle opere in progetto

Nella stesura del presente progetto definitivo si è verificato il rispetto degli obiettivi generali già considerati nel progetto preliminare al fine di selezionare la tipologia di intervento ottimale:

1. riqualificare lo “status” della mantellata della scogliera e del muro paraonde che dopo decenni di esercizio presentano tali segni di ammaloramento da temere cedimenti strutturali nei prossimi anni;
2. garantire con le nuove opere di difesa lato mare del molo di levante un adeguato ridosso nei confronti dei fenomeni di sormonto del moto ondoso incidente; in particolare per l'incolumità delle maestranze portuali si deve assicurare che l'attuale sede stradale, disposta a tergo del muro paraonde esistente, non venga coinvolta da fenomeni di tracimazione delle onde;
3. consentire il posizionamento di un fascio binari da allacciare alla linea posta lungo il piazzale “Città di Massa” come già previsto nel Piano Regolatore Portuale vigente.

3.1 Caratteristiche dell'intervento

Sulla scorta degli obiettivi e dei vincoli progettuali si è confermata la tipologia di intervento, selezionata come ottimale nell'ambito del progetto preliminare, contraddistinta dai seguenti requisiti:

- ampliamento lato mare dell'attuale molo di levante tramite la realizzazione di una nuova scogliera in massi naturali e relativo massiccio di coronamento;
- la nuova scogliera presenta un asse disposto a circa 40 m dall'attuale muro paraonde al fine di garantire un adeguato ridosso del fascio binari rispetto agli eventuali fenomeni di tracimazione del moto ondoso incidente lungo la scogliera di protezione;

- demolizione e salpamento della scogliera e del muro paraonde esistenti prevedendo la cernita del materiale di risulta al fine di recuperare elementi idonei per la costruzione della nuova scogliera; demolizione e messa a discarica delle tubazioni del vecchio “oleodotto FIAT”;
- rinfiacco a tergo della nuova opera a gettata con materiale inerte di cava;
- realizzazione della rete di smaltimento delle acque meteoriche;
- realizzazione della pavimentazione al fine di raccordarsi all’attuale quota (+2.5 m l.m.m.) del piano stradale della banchina “Fiorillo”; nella previsione di procedere alla realizzazione di un pacchetto stradale definitivo solo dopo la costruzione del fascio binari, detta pavimentazione, del tipo flessibile, è contraddistinta da uno strato di base in conglomerato bituminoso e da uno strato di fondazione di misto granulare in stabilizzato di cava compattato.

Nella progettazione definitiva delle nuove opere e delle fasi di realizzazione si è tenuto conto dei requisiti minimi sopra descritti nonché dei vincoli esecutivi dettati dalle disposizioni per la sicurezza del cantiere.

Le principali caratteristiche delle opere necessarie per realizzare l’adeguamento tecnico-funzionale del molo di levante possono essere così riassunte:

- costruzione di una scogliera (figg. 3 e 4) tramite la preliminare stesa sul fondale di posa di teli di geotessile (del tipo tessuto in polipropilene a trama e ordito con resistenza pari a 40 kN/m) e la successiva posa in opera di pietrame scapolo di cava per la costituzione del nucleo; posa in opera di massi naturali aventi pezzatura compresa tra 50 e 1000 kg per la formazione dello strato filtro a protezione del nucleo; la scogliera si completa con la posa in opera lato mare di una mantellata di protezione avente inclinazione 1/1.5 composta da massi naturali di pezzatura compresa tra 3 e 7 t; a tergo della scogliera è previsto il posizionamento di un

massiccio di coronamento con quota di sommità pari a +4.5 m l.m.m. costituito da massi di calcestruzzo prefabbricati larghi 2.0 m (fronte mare), profondi 3.0 m e alti 2.25 m;

- costruzione di una scogliera provvisoria (figg. 3 e 5), per uno sviluppo complessivo di circa 135 m, avente la funzione di creare un valido “ridosso” rispetto alle mareggiate più intense provenienti da levante e libeccio per la zona interessata dalla costruzione della nuova scogliera; le caratteristiche strutturali di questa scogliera provvisoria sono analoghe a quelle sopra descritte per la nuova scogliera ad eccezione della pendenza del paramento esterno dello strato filtro e della mantellata che dovrà essere pari a 1/2;
- demolizione e salpamento del muro paraonde esistente; a tal riguardo sono state previste lavorazioni per la preventiva rimozione e trasporto a discarica delle tubazioni e quanto altro presente lungo ed all’interno del muro procedendo alla disgregazione di questo in elementi aventi dimensioni massime di 50 cm, assicurando la completa rimozione di eventuali ferri di armatura e/o elementi metallici residuali; gli elementi prodotti dalle lavorazioni di demolizione del muro, costituiti da solo calcestruzzo, potranno essere impiegati per il rinfianco a tergo della nuova scogliera previa verifica di conformità e rispetto dei vincoli dettati dalla vigente normativa in merito all’immersione di materiale in ambiente marino;
- salpamento dei massi della scogliera esistente compresa la rimozione e trasporto a discarica di qualsiasi rifiuto rinvenuto; si procederà alla selezione degli elementi lapidei di dimensioni e caratteristiche adeguate da reimpiegare nella costruzione della nuova scogliera;
- rinfianco a tergo della nuova scogliera (sino alla quota di +1,5 m l.m.m.) con materiale inerte di cava avente caratteristiche geotecniche adeguate e comunque conforme per caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche ai vincoli dettati dalla

vigente normativa in merito all'immersione di materiale in ambiente marino e preventiva stesa lungo la scarpata lato terra della nuova scogliera di geotessile non tessuto in filo continuo agugliato avente grammatura minima di $0,5 \text{ kg/m}^2$;

- prefabbricazione di circa 200 massi parallelepipedi (fig. 6) aventi dimensioni $h \times b \times l = 2.25 \times 2.00 \times 3.00 \text{ m}$ con calcestruzzo del tipo "a resistenza garantita" minima pari a Rck35 per ambiente marino senza gelo, equivalente alla classe ambientale di esposizione 4a; messa in opera dei massi prefabbricati e "sigillatura" tramite il posizionamento, lungo tutte le scanalature presenti lungo le superfici di "contatto" tra massi, contigui di sacchetti di tessuto non tessuto riempiti di malta cementizia;
- demolizione e salpamento di circa 65 m del tratto di estremità della scogliera provvisoria (sino al punto di radicamento con l'asse longitudinale della nuova scogliera) con reimpiego dei massi di mantellata per il rifiorimento della berma di sommità della nuova scogliera e riutilizzo del pietrame dello strato filtro e del nucleo per la formazione degli strati più superficiali del rinfiato a tergo;
- realizzazione della rete di smaltimento delle acque meteoriche;
- realizzazione di una pavimentazione flessibile al fine di raccordarsi all'attuale quota (+2.5 m l.m.m.) del piano stradale della banchina "Fiorillo".

Per quanto concerne le caratteristiche più importanti delle lavorazioni previste si deve considerare la necessità di operare con mezzi sia marittimi e sia terrestri per la realizzazione delle scogliere con particolare riferimento alle operazioni di costruzione e successiva demolizione della scogliera provvisoria posta su fondali compresi tra -5 e -6 m l.m.m. e contraddistinta da una pendenza della mantellata pari a 1/2.

I lavori di costruzione della nuova scogliera dovranno iniziare dall'estremità sud, previo completamento della scogliera provvisoria e realizzazione di un adeguato rinfiato a tergo per consentire la manovra dei mezzi terrestri; la costruzione della nuova scogliera

dovrà procedere lungo questo unico fronte di avanzamento per circa 295 m sino a congiungersi con la scogliera di difesa del piazzale “Città di Massa”.

Per i tratti della scogliera esistente validamente ridossati dalla scogliera provvisoria e dalla nuova scogliera si potrà procedere al progressivo salpamento dei massi naturali della mantellata nonché alla demolizione del muro paraonde mantenendo comunque un interasse di almeno 50 m tra il fronte di avanzamento della nuova scogliera ed il fronte di demolizione e salpamento della scogliera esistente; selezione degli elementi di pezzatura adeguata (da 3 a 7 t) corrispondenti per qualità e caratteristiche prestazionali ai requisiti previsti dal Capitolato Speciale d’Appalto e successivo impiego per la costruzione della nuova scogliera.

I massi di calcestruzzo per la formazione del nuovo muro paraonde dovranno essere prefabbricati in corrispondenza delle aree ottenute con le lavorazioni di rinfilo a tergo e solo dopo idonea stagionatura potranno essere imbracati e posti in opera.

3. 2 Compatibilità con i vigenti strumenti urbanistici

La configurazione finale studiata per l’adeguamento tecnico-funzionale del molo di levante del porto può essere considerata pienamente compatibile con il Piano Regolatore Portuale vigente per i motivi appresso esposti, desunti anche sulla scorta dei pareri espressi dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici per casi analoghi al presente.

Il Piano regolatore portuale è uno strumento di programmazione che definisce l’ambito e l’assetto del porto, le aree destinate ad attività industriali e cantieristiche, le infrastrutture a servizio dell’attività portuale. Il piano si articola sia in progetti di opere di più o meno immediata attuazione, che in previsioni di sviluppo del sistema portuale da attuare in tempi medio-lunghi.

Il piano regolatore di un porto è quindi uno “strumento” che pianifica le ampiezze degli specchi acquei e le disposizioni di piazzali e banchine, tenendo presenti le necessità

contingenti nel momento della redazione del piano e quelle ragionevolmente prevedibili in un futuro che difficilmente può superare su arco temporale dell'ordine di 10÷15 anni.

Se nel volgere del tempo il piano regolatore non viene aggiornato, esso può mantenere una sua validità qualora le dimensioni degli specchi acquei, dei terrapieni e delle banchine risultino idonee a ricevere le navi e le tipologie di merci che gradualmente vanno sostituendo quelle esistenti al tempo della redazione del piano. Ovviamente nel caso che non sia necessario apportare modifiche di qualche tipo alle opere non sorge alcun problema, poiché come accennato il cambio di destinazione d'uso non viene mai considerato motivo di aggiornamento di un piano regolatore portuale. Il problema si pone se per adeguare le opere alle nuove necessità occorre introdurre in esse qualche modifica planimetrica.

Nel caso in cui le modifiche siano sostanziali che cioè abbiano una rilevanza significativa alterando le originarie scelte ed indirizzi di pianificazione del vigente piano regolatore portuale non vi è alcun dubbio che occorre procedere ad una revisione dello stesso ai sensi di quanto previsto dall'art. 5 della legge 84/1994, operazione lunga e complessa che può richiedere anche anni di tempo.

Nel caso invece in cui le modifiche siano modeste e sicuramente migliorative rispetto alla situazione esistente senza preclusione per future modifiche, è opinione consolidata che non vi è alcun bisogno di revisione del piano ed i progetti relativi possono essere approvati senza ricorrere alle procedure lunghe sopra richiamate.

La necessità di attuare un adeguamento tecnico-funzionale del molo di levante del porto di Marina di Carrara ricade indubbiamente in quest'ultimo caso. Infatti, le modifiche planimetriche sono contenute e dettate dalla necessità di garantire, attraverso un ampliamento massimo di 40 m e la riqualificazione della scogliera di protezione lato mare un ridosso sufficiente dall'azione diretta del moto ondoso a salvaguardia delle maestranze portuali. Si è volutamente evitata una tipologia di intervento che comporti l'innalzamento

delle attuali quote di sommità della scogliera e del muro paraonde retrostante ma che comportavano un maggiore impatto visivo e paesaggistico.

Nel contempo la nuova conformazione del molo di levante consentirà di rispondere in misura adeguata alle mutate esigenze di traffico portuale permettendo la disposizione del fascio binario già previsto dal PRP vigente.

In definitiva, la riqualificazione del molo di levante è sicuramente migliorativa rispetto alle condizioni esistenti in quanto la nuova scogliera ed il muro paraonde sostituiscono l'attuale struttura di protezione non pienamente operativa ed omogenea lungo tutto il suo sviluppo.

Con riferimento a quanto sopra sintetizzato e sulla base di quanto descritto nei paragrafi precedenti, si ribadisce che l'intervento di adeguamento tecnico-funzionale del molo di levante non introduce alcuna variazione sostanziale o riflessi di sorta agli strumenti di pianificazione coinvolti (PRP vigente, Piano regolatore comunale) e pertanto può essere inquadrato come un adeguamento tecnico-funzionale.

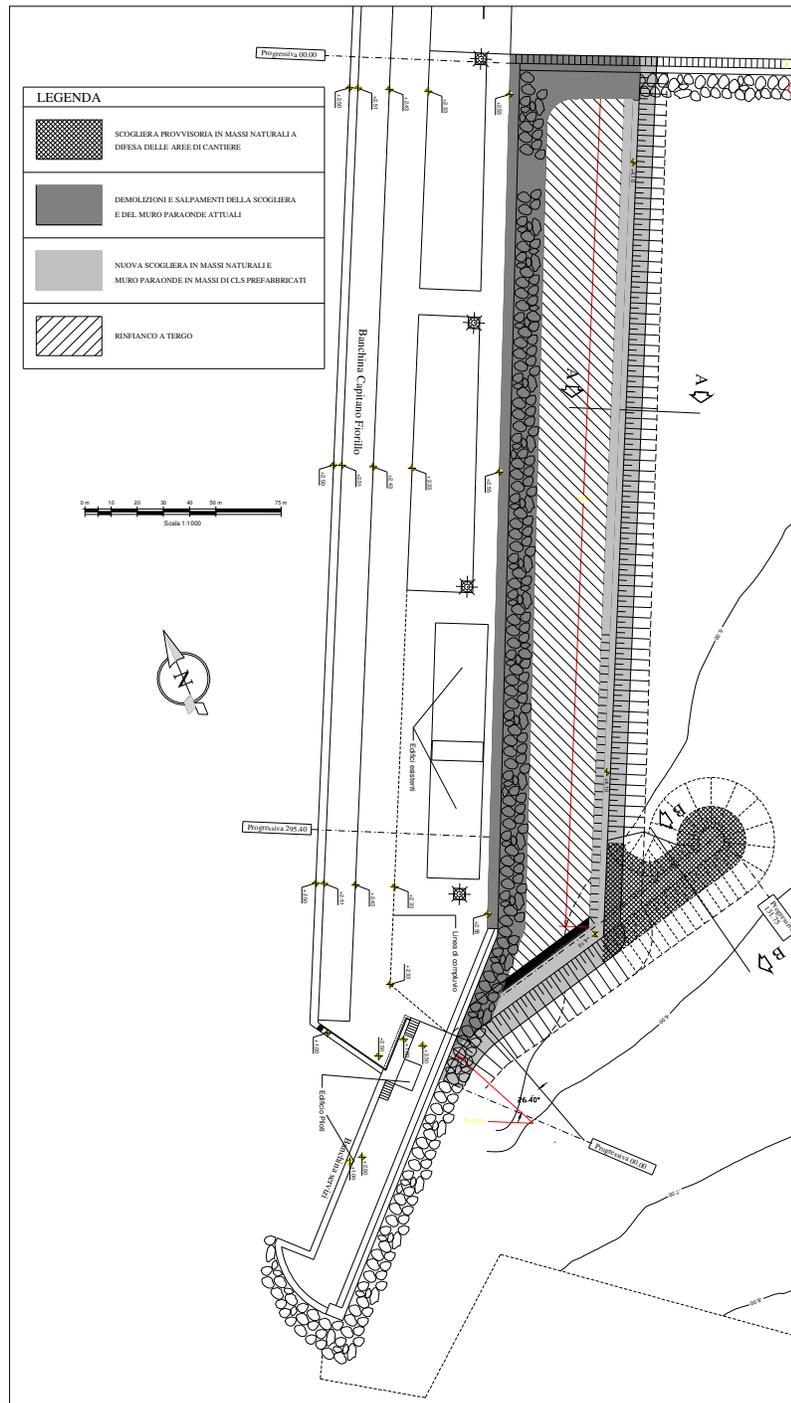


Fig. 3 – Planimetria della nuova opera di protezione lato mare del molo di levante

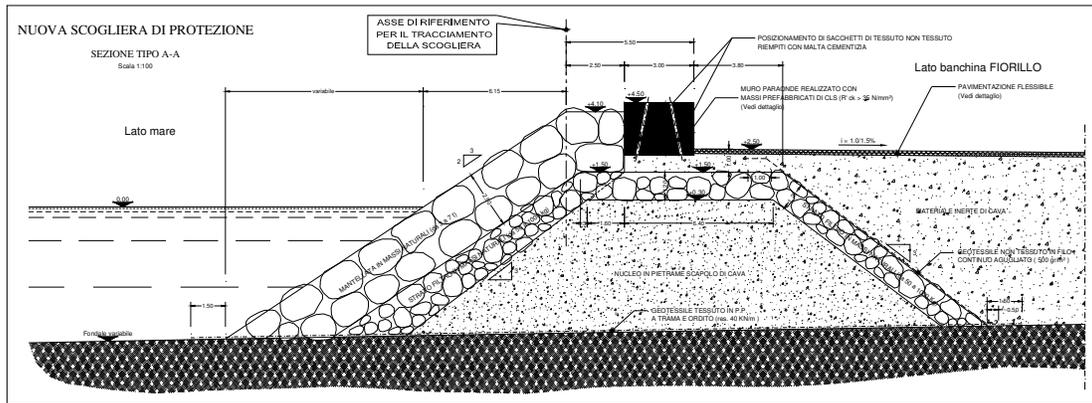


Fig. 4 – Sezione tipo della nuova scogliera di protezione del molo di levante

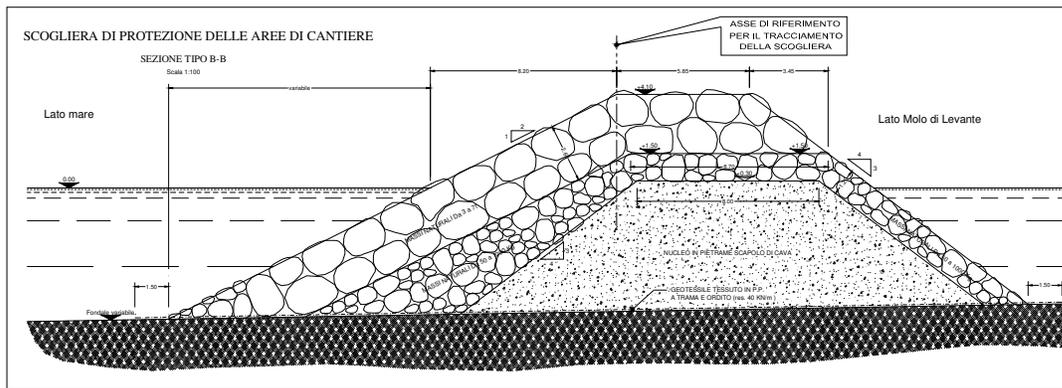


Fig. 5 – Sezione tipo della scogliera provvisoria a difesa delle aree di cantiere

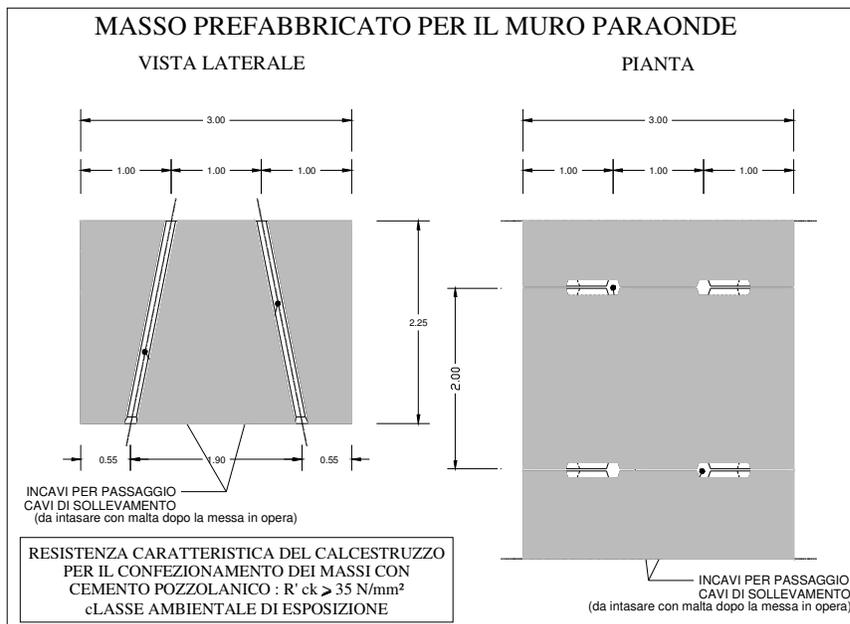


Fig. 6 – Particolari dei massi prefabbricati di cls per la formazione del muro paraonnde

4. Vincoli progettuali

Già nell'ambito del progetto preliminare della nuova scogliera del molo di levante si è verificata la piena fattibilità della tipologia strutturale prescelta sulla base sia dei vincoli di legge relativi al contesto in cui si inserisce l'intervento sia dei vincoli progettuali legati alle caratteristiche geologiche, geotecniche, idrologiche, idrauliche e sismiche.

Nei paragrafi seguenti si riportano le considerazioni già esposte nell'ambito del progetto preliminare ed integrate anche a seguito del parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

4.1 Studio di fattibilità ambientale

Stante l'assenza di qualsiasi vincolo di natura storica, artistica e archeologica, si è verificata la fattibilità ambientale dell'opera esaminando le condizioni di impatto paesaggistico e sulla dinamica litoranea verificando anche se esistono le condizioni che consentano attraverso la realizzazione dell'opera un miglioramento per l'ambiente circostante. Considerato che l'opera in esame realizza solo un minimo ampliamento planimetrico del molo esistente (al massimo 40 m) senza alterarne l'aspetto nel suo insieme in questa fase di progettazione si può affermare che la stessa non può esercitare alcuna influenza sull'ambiente costiero limitrofo al porto. In particolare dal punto di vista paesaggistico la visuale verso mare in presenza della nuova opera è pressoché simile a quella attuale. Per quanto riguarda l'interferenza sulla dinamica litoranea si può fare riferimento ai molteplici studi condotti dal "Consorzio Pisa Ricerche" ove tra i distinti scenari di sviluppo del porto di Marina di Carrara è stata esaminata anche l'ipotesi di ampliamento del piazzale "Città di Massa" e del molo di levante. I risultati di questo studio (fig. 7) sono già stati utilizzati dallo scrivente nell'ambito del progetto dell'ampliamento del piazzale "Città di Massa".

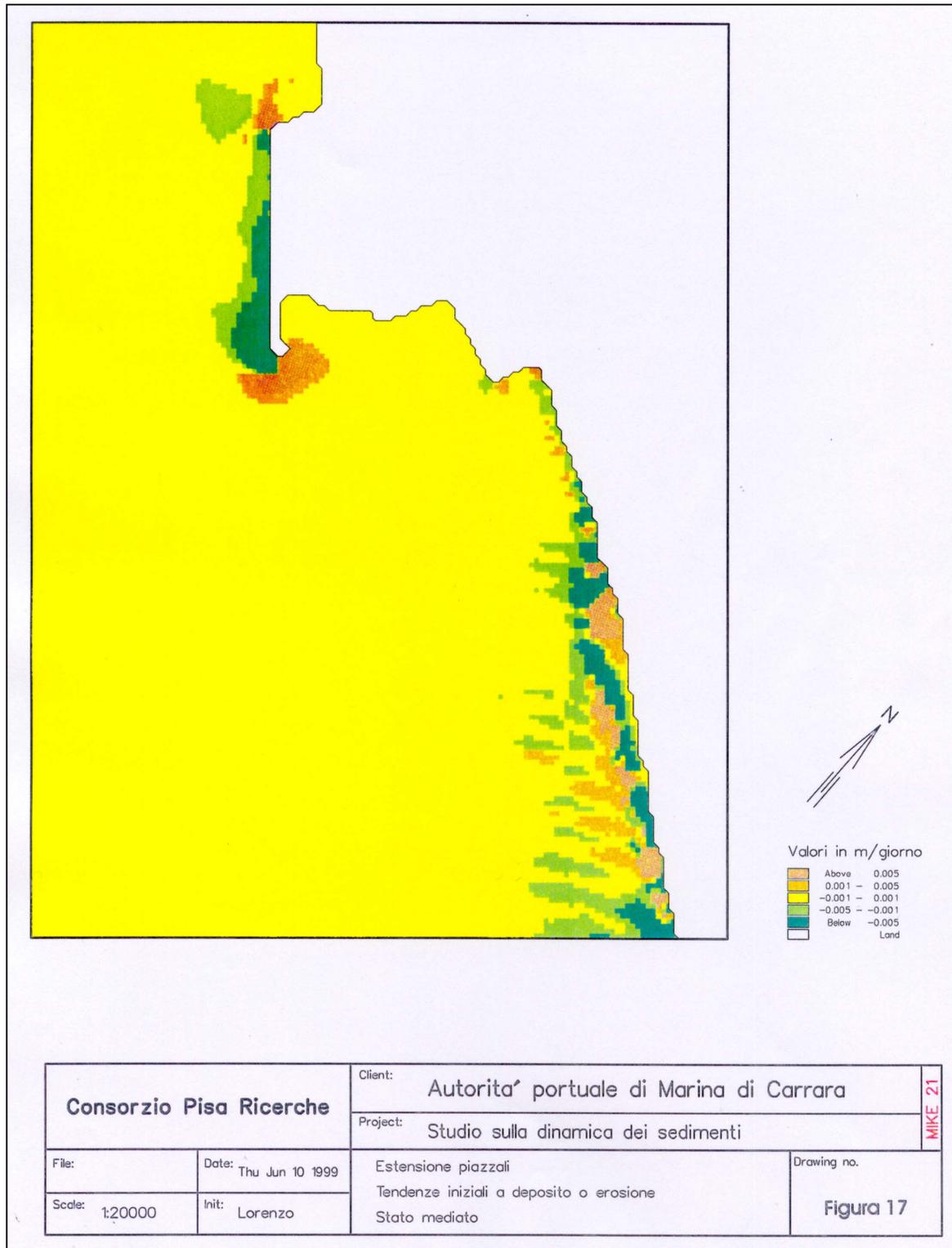


Fig. 7 – Studio dell'interferenza delle nuove opere sulla dinamica litoranea

Anche per quanto concerne le fasi esecutive dell'intervento la tipologia dell'opera progettata non comporta impatti negativi sull'ambiente; ciò anche sulla scorta dell'esperienza maturata per l'esecuzione dell'ampliamento del limitrofo piazzale "Città di Massa" e verificata direttamente dai tecnici del Settore VIA del Ministero dell'Ambiente. I quantitativi limitati di

materiale lapideo necessario per la costruzione della scogliera e del rinfianco a tergo nonché del calcestruzzo per la formazione del muro paraonde consentono di affermare che il numero degli automezzi coinvolti non introdurrà elementi di picco nel traffico pesante ordinario che contraddistingue non solo i traffici portuali ma soprattutto i traffici afferenti le cave marmifere e la Zona Industriale Apuana.

Per quanto riguarda le fasi di esercizio della nuova scogliera non si ravvisano elementi di impatto sull'ambiente circostante, anzi preme sottolineare che le nuove opere consentiranno la realizzazione di un fascio binari a servizio della banchina Fiorillo introducendo quindi un elemento di attenuazione del traffico su gomma.

4. 2 Indagini geologiche, geotecniche e sismiche

L'ambiente geologico e geotecnico interessato dai lavori è ben noto nelle linee generali desumibili da una serie di campagne di sondaggi eseguite in passato a sostegno della progettazione di alcune opere portuali. Alcune di queste sono state condotte recentemente nell'ambito delle attività di progettazione (riqualificazione della banchina Buscaioli, ampliamento del piazzale "Città di Massa" e più recentemente la riqualificazione della banchina "Fiorillo") eseguite dallo scrivente con il gruppo di progettazione coordinato dalla MODIMAR s.r.l. I terreni di imposta delle opere a gettata (scogliere e rinfianco) contemplate dal progetto sono costituiti da livelli di sabbie fini, intercalati a luoghi debolmente limosi mediamente o poco addensati. L'insieme di queste informazioni è pienamente esaustiva non solo per questa fase della progettazione preliminare ma anche per gli affinamenti di dettaglio propri del progetto definitivo dell'opera.

Per maggiori dettagli si rimanda alla specifica relazione geologica geotecnica allegata al presente progetto.

Per quanto riguarda i vincoli di natura sismica l'intervento ricade in zona sismica di seconda categoria ($C=0.07$).

4.3 Indagini idrologiche, idrauliche e meteomarine

Per la tipologia e l'ubicazione dell'opera in esame non si ravvisano particolari problematiche relative alle condizioni idrologiche ed idrauliche al contorno.

Più in particolare per le fasi esecutive e di esercizio dell'opera non sussistono particolari problemi inerenti le quote di falda mentre per quanto concerne i problemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche si è fatto riferimento al materiale bibliografico già a disposizione dei progettisti ed utilizzato per il dimensionamento delle reti fognarie delle banchine Buscaioli e Fiorillo e del piazzale "Città di Massa".

Relativamente alle caratteristiche meteomarine del sito, le nuove opere progettate a difesa del molo di levante presentano condizioni di sollecitazione simili a quelle assunte nella progettazione della scogliera posta a difesa del piazzale "Città di Massa". In particolare si è tenuto conto del maggiore ridosso esercitato dalla diga di ponente anche sulla scorta dei risultati del modello di agitazione ondosa VEGA (figg. 8) che evidenziano come la diga di ponente attenui drasticamente il moto ondoso più intenso proveniente da libeccio e ponente.

Per la determinazione dell'onda di progetto ⁽¹⁾ si è tenuto conto di un tempo di vita utile della scogliera di protezione e del massiccio di coronamento di 15÷20 anni. Si è fissata inoltre una probabilità di danneggiamento compresa tra 25÷30% in funzione di uno scenario di danneggiamento incipiente della scogliera con ripercussione economica medio-alta e limitato rischio per la vita umana. Si ricava di conseguenza un tempo di ritorno dell'evento di progetto pari a 50 anni.

¹ A tal riguardo si è fatto riferimento alle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1996.

Considerando la traversia meteo-marina del sito di Carrara, le scogliere progettate risultano direttamente esposte solo alle mareggiate da scirocco e mezzogiorno; sulla base delle misure ondometriche direzionali effettuate al largo dell'Isola di Palmaria si ricava un'onda significativa di progetto ($T_r=50$ anni) al largo pari a 4.1 m per il settore di traversia compreso tra 150 e 210 °N. L'ubicazione dell'opera su bassi fondali sabbiosi (al massimo - 5.5 m l.m.m.) ed il suo orientamento (pressoché ortogonale alla linea di riva) fanno sì che i fronti d'onda incidenti lungo le mantellate sono piuttosto inclinati (oltre i 45°) e pertanto esercitano sollecitazioni sul singolo masso sensibilmente più contenute rispetto alle condizioni ordinarie di attacco ortogonale del moto ondoso lungo la mantellata (a parità di altezza d'onda di progetto si può ipotizzare un incremento del parametro di stabilità $H_s/\Delta D_n$ pari almeno al 10%).

Per il dimensionamento dei massi di mantellata, considerate le quote dei fondali al piede dell'opera compresi tra -2.0 e -5.5 m l.m.m., si è assunta un'onda di progetto comunque frangente ed inclinata di almeno 50° rispetto fronte mare della scogliera.

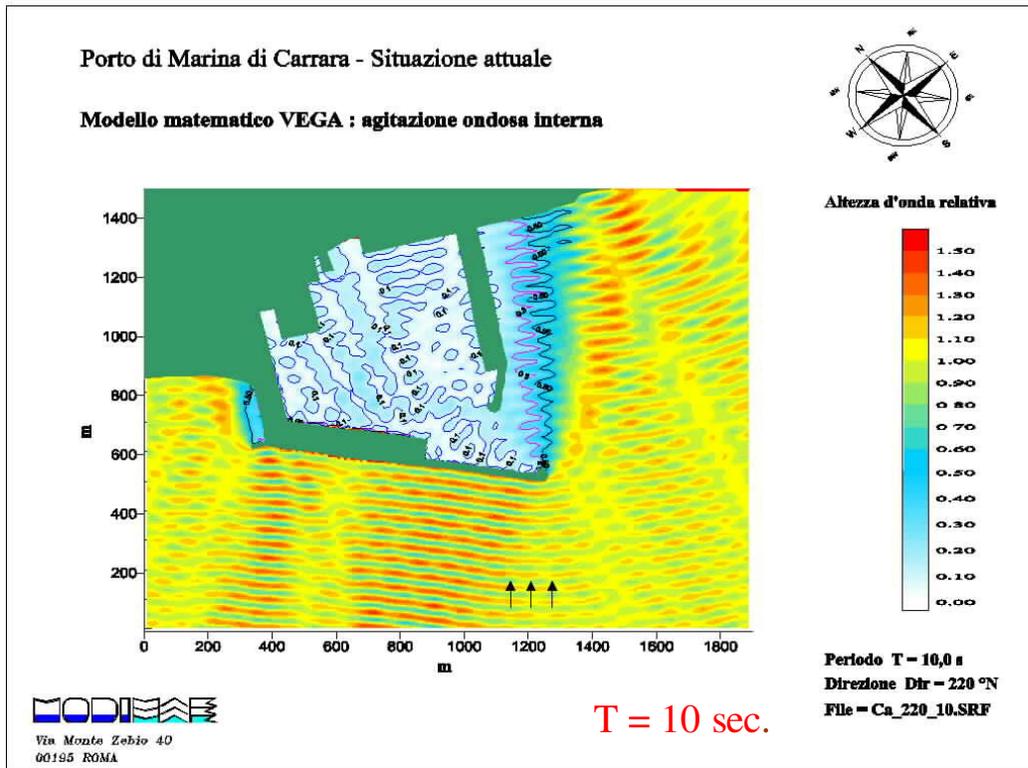


Fig. 8.a – Simulazione dell'esposizione al moto ondoso di libeccio

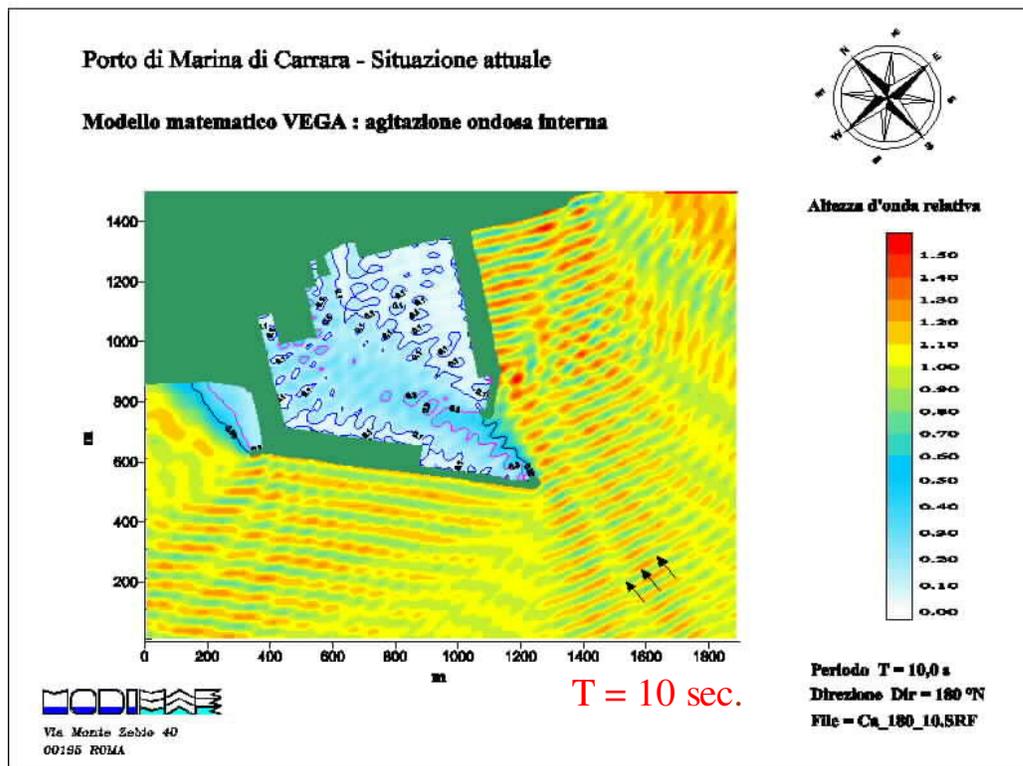
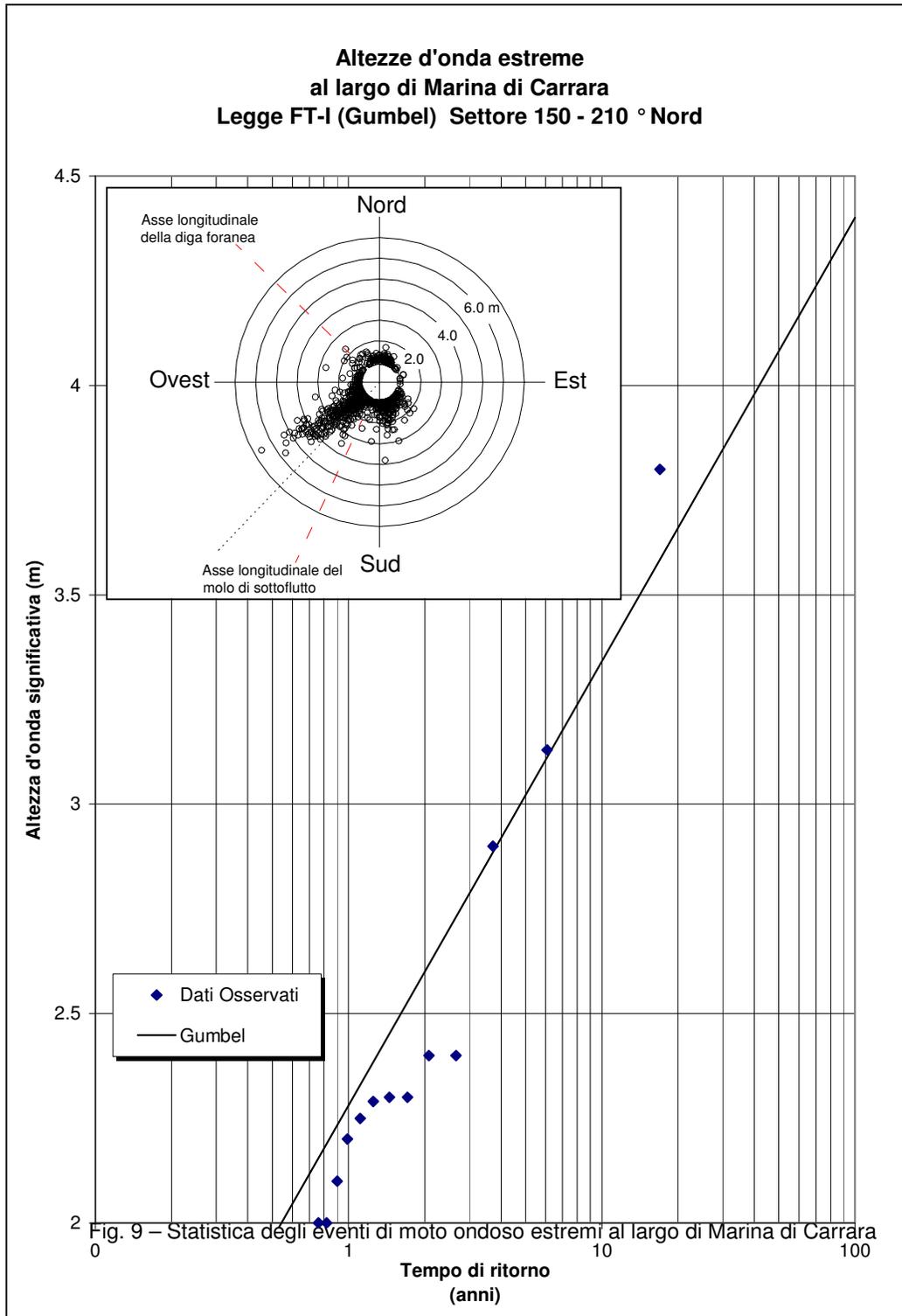


Fig. 8.b – Simulazione dell'esposizione al moto ondoso da mezzogiorno



5. Dimensionamento preliminare delle strutture

Per il dimensionamento degli elementi strutturali che compongono l'intervento, fissati i vincoli progettuali e le condizioni al contorno, i calcoli preliminari (come previsto dall'art. 31 del DPR 554/99) sono stati condotti secondo le disposizioni di legge e le normative vigenti con particolare riferimento alle già citate "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" redatte dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Per il dimensionamento delle mantellate è stato utilizzato il metodo proposto da Van Der Meer il cui concetto di base può essere così sintetizzato: la "risposta" della struttura, e quindi la sua stabilità, alle sollecitazioni indotte dalla mareggiata di progetto (caratterizzata in funzione dell'onda significativa H_s) dipende sostanzialmente dal tipo di "impatto" (frangimento) dell'onda ξ_m sulla mantellata e dalle caratteristiche strutturali legate alla pendenza α della mantellata al peso medio dei massi $\Delta \cdot D_{n50}$ ed alla porosità p della struttura.

Per il dimensionamento del muro paraonde si è verificata la stabilità d'insieme (scorrimento, ribaltamento e schiacciamento) del singolo elemento di calcestruzzo sollecitato dall'onda di progetto impattante lungo la scogliera; si è inoltre verificato che la quota di sommità del muro paraonde riesce a contenere i fenomeni di tracimazione del moto ondoso al di sotto di valori che non comportino alcun rischio per le maestranze.

Sono state effettuate anche le usuali verifiche geotecniche delle opere (verifiche di stabilità di insieme e della capacità portante della fondazione e calcolo dei cedimenti).

In particolare la stabilità d'insieme delle scogliera è stata verificata nei confronti di possibili collapsi del terreno di fondazione e della stessa opera a gettata seguendo le norme geotecniche sui materiali sciolti (D.M. LL.PP. 11/03/88). Le verifiche di stabilità globale dell'opera è stata condotta utilizzando un programma di calcolo denominato "STABL" (R.A. Siegel 1975).

Considerata l'uniformità degli orizzonti stratigrafici evidenziata dalle indagini geotecniche per le verifiche di stabilità si è fatto riferimento al tratto ove la scogliera raggiunge i fondali più elevati (-5.50 m rispetto al livello medio marino).

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando la fase di "esercizio" dell'opera cioè con il rinfiango a tergo sino a quota +2.50 m l.m.m., la presenza degli muro paraonde e con un sovraccarico di esercizio uniformemente ripartito di intensità pari a 20 kN/m².

Le opere in oggetto sorgono in un Comune (Marina di Carrara) incluso nelle zone sismiche di 2^a categoria (s= 9). Pertanto le verifiche di stabilità di insieme sono state eseguite anche relativamente alle condizioni sismiche (analisi statica con introduzioni di forze di inerzia orizzontali) facendo riferimento ai parametri di resistenza del terreno in condizioni non drenate.

La stabilità dell'opera è stata verificata analizzando sia superfici passanti all'interno delle dighe a scogliera sia superfici passanti al disotto e che quindi interessano soltanto il materiale di rinfiango ed il terreno naturale.

Dall'esame dei tabulati di output (per un'analisi di dettaglio si rimanda all'elaborato R.3 "Calcoli di stabilità delle opere" allegato al presente progetto) si ricava che la stabilità dell'opera è assicurata con ampi margini di sicurezza. Infatti i coefficienti di stabilità dell'opera per le superfici passanti al disotto del piano di imposta delle dighe nelle condizioni sismiche (η_{\min} , sezione tipo 1= 1.588) risultano essere sempre superiori al limite 1.30 prescritto dalla normativa vigente in materia per opere di sostegno delle terre (D.M. 11.03.1988, punto D.4.5.).

Per il calcolo dei cedimenti indotti dalla presenza delle opere in progetto è stato applicato il metodo di Terzaghi e della compressibilità edometrica che nel presente caso (strato compressibile posto al disotto di una formazione di sabbie e poggiato su una formazione praticamente incompressibile, di spessore inferiore alla semi-larghezza della striscia di carico) fornisce, con buona approssimazione, il valore dei cedimenti. Le tensioni verticali

sono calcolate nell'ipotesi di diagramma delle pressioni di contatto uniforme e di distribuzione uniforme del carico nel sottosuolo ($\vartheta_0 = 45^\circ$).

Il calcolo è stato eseguito considerando il tratto dove è massimo il sovraccarico rappresentato dalla presenza del rilevato ricavando cedimenti massimi dell'ordine di 25 cm. Data la natura delle formazioni che si incontrano al disotto delle opere di contenimento dell'intervento, considerate le modalità esecutive che garantiscono una progressiva applicazione del carico sul terreno di fondazione dell'opera, grazie anche all'azione del sovraccarico rappresentato dal passaggio dei mezzi d'opera sul rilevato durante le fasi di costruzione, i cedimenti praticamente esauriranno il loro decorso entro un periodo massimo di 10 mesi.

Infine per quanto riguarda la portanza della fondazione delle opere in progetto le verifiche effettuate hanno fornito coefficienti di sicurezza sul valore limite superiori al valore ($\eta = 3$) imposto dalla normativa vigente in materia (D.M. 11.03.1988).

Per maggiori dettagli si rimanda all'apposito elaborato allegato al presente progetto (v. Elaborato R.3 "Calcoli di stabilità delle opere").

6. Cronoprogramma di attuazione dell'intervento

Per la definizione della tempistica necessaria per l'attuazione dell'intervento a partire dalle fasi progettuali si è fatto riferimento ad indicazioni di massima essendo al momento definite in dettaglio solo le tempistiche di progettazione sulla base del contratto sottoscritto tra il Committente ed il progettista.

Il tempo necessario per dare l'opera finita e funzionale in ogni sua parte è pari a 300 giorni naturali e consecutivi.

Attività di progettazione.....	90 giorni
Attività di approvazione.....	90 giorni
Attività di affidamento appalto	90 giorni
Attività di esecuzione dei lavori.....	300 giorni
<u>Attività di collaudo</u>	<u>180 giorni</u>
Durata complessiva delle attività di attuazione dell'intervento	800 giorni

7. Costo complessivo dell'intervento

Il costo complessivo dell'intervento assomma a 4.426.116,12 euro comprensivo degli oneri diretti e speciali per la sicurezza del cantiere non soggetti a ribasso. Nella tabella seguente è riportato il quadro economico riepilogativo, per un importo totale da impegnare pari a 5.044.061,93 euro.

QUADRO ECONOMICO RIEPILOGATIVO

CATEGORIE DI LAVORO	IMPORTI SOGGETTI A RIBASSO al netto degli oneri per la sicurezza inclusi nei prezzi unitari di elenco	ONERI DIRETTI DELLA SICUREZZA (inclusi nei prezzi unitari)		IMPORTI TOTALI
		Percentuale	Importo	
SCAVI, DEMOLIZIONI E SALPAMENTI	€ 1.660.404,98	2,35%	€ 39.958,54	€ 1.700.363,52
SCOGLIERA PROVVISORIALE	€ 484.073,84	2,80%	€ 13.944,51	€ 498.018,35
SCOGLIERA DI DELIMITAZIONE DEL MOLO	€ 1.026.068,05	2,80%	€ 29.557,52	€ 1.055.625,57
RINFIANCO A TERGO SINO A QUOTA +2.3 m l.m.r	€ 183.406,68	2,00%	€ 3.742,99	€ 187.149,67
MURO PARAONDE IN MASSI SOVRAPPPOSTI	€ 240.164,93	3,10%	€ 7.683,30	€ 247.848,23
RETE ACQUE METEORICHE	€ 34.061,62	2,50%	€ 873,38	€ 34.935,00
PAVIMENTAZIONE STRADALE	€ 430.550,95	1,58%	€ 6.911,91	€ 437.462,86
TOTALI	€ 4.058.731,05	2,47%	€ 102.672,15	€ 4.161.403,20
ONERI SPECIALI PER LA SICUREZZA GENERALE				€ 94.553,54
ONERI SPECIALI PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLE AREE A MARE (realizzazione di una scogliera provvisoriale)				€ 170.159,38
TOTALE ONERI SPECIALI DELLA SICUREZZA eccedenti gli oneri diretti della sicurezza già inclusi nei prezzi unitari delle lavorazioni				€ 264.712,92
IMPORTO TOTALE DEI LAVORI (al netto degli oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso)				€ 4.058.731,05
IMPORTO TOTALE DEGLI ONERI DIRETTI E SPECIALI PER LA SICUREZZA DEL CANTIERE (non soggetti a ribasso)				€ 367.385,07
IMPORTO COMPLESSIVO DEI LAVORI (compresi gli oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso)				€ 4.426.116,12
Progettazione, supervisione direzione lavori				€ 192.640,00
Collaudo				€ 7.000,00
fondo incentivante (ex. Art. 18 L.109/94)				€ 50.000,00
Somma a disposizione del direttore dei lavori (art. 25 L. 109/94)				€ 221.305,81
Spese di pubblicità				€ 25.000,00
Spese per indagini preliminari e monitoraggio post opera				€ 122.000,00
TOTALE DA IMPEGNARE				€ 5.044.061,93