R.T.P.: Dott. Ing. Paolo Gaggero, HS marine S.r.l., Dott. Geol. Marcello Brancucci e Ing. Luca Rossi

Dott. Ing. Paolo Gaggero via Pia 130/r - 17100 Savona (SV) - tel. 019 829463 - e.mail: ing.gaggero@libero.it
HS marine S.r.l. via Panà 56/a - 35027 Noventa Padovana (PD) - tel.049 8945087 - e.mail: mail@hsmarinesrl.com
Dott. Geol. Marcello Brancucci via XX Settembre 5/5 - 17100 Savona (SV) - tel. 019/2216824 - e.mail: geologo@marcellobrancucci.it
Ing. Luca Rossi via Bertolotti 79/B -17014 Cairo Montenotte(SV)-tel. 328 9419041 - e.mail:luca87.rossi@hotmail.com

Committente:

PORTS of GENOA
VADO LIGURE ▪ SAVONA ▪ PRA' ▪ GENOA

INTERVENTO STRUTTURALEA A DIFESA DELLA COSTA DI VADO LIGURE PROGETTAZIONE DEFINITIVA

CIG. n. ZEE252A10E



Elaborato A.03	**RELAZIONE DI CALCOLO**

Professionisti:

Ing. PAOLO GAGGERO
Ordine ingegneri della provincia di Savona n. 463

Ing. MASSIMO TONDELLO
Ordine ingegneri della provincia di Padova n. 2771

Collaborazione tecnica: **Ingg. N. SGUOTTI, S. BERIOTTO e L. ROSSI**

Commessa: HSM813-PD	REV: 00	Data: Luglio 2019

INDICE

1 PREMESSA 4

2 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE 5

3 CARATTERISTICHE DELL'ONDA DI PROGETTO 11

3.1 CARATTERISTICHE METEOMARINE AL LARGO DEL PARAGGIO 11

3.2 PERIODO DI RITORNO CARATTERISTICO DELL'OPERA 13

3.3 ONDA DI PROGETTO 14

4 DIMENSIONAMENTO DELLE SECCHE 15

4.1 FORMULA DI VAN DER MEER PER SCOGLIERE SOMMERSE 15

4.2 CRITERI DI RITENZIONE 16

4.2.1 CERC 16

4.2.2 Criterio di Terzaghi 16

4.2.3 Heerten 16

4.2.4 Criterio di idoneità meccanica 17

4.3 DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA 18

4.4 DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI 19

4.4.1 Verifica della transizione mantellata/imbasamento 19

4.4.2 Verifica della transizione imbasamento/terreno di fondazione 19

4.4.3 Verifica dell'idoneità meccanica 20

5 CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO DI RIPASCIMENTO 21

5.1 PROFILO DI EQUILIBRIO 21

6 PENNELLO ALLA FOCE DEL TORRENTE SEGNO 23

6.1 PROGETTO DEFINITIVO DEL 2015 23

6.2 PROPOSTE MIGLIORATIVE 25

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Sezione tipologica ripascimento....6
Fig. 2.2 – Sezione tipologica secca semiaffiorante....6
Fig. 2.3 – Planimetria di progetto secche....7
Fig. 2.4 – Planimetria di progetto scogliera radente con risalti longitudinali....8
Fig. 2.5 – Sezioni tipologiche ripristino scogliera radente con risalti longitudinali....9
Fig. 2.6 – Planimetria pennello....10
Fig. 2.7 – Sezione trasversale tipologica....10
Fig. 3.1 - Inquadramento geografico del paraggio (foto aerea Google Earth 2018)....12
Fig. 5.1 – Sezione tipologica del ripascimento....22
Fig. 6.1 – Planimetria di dettaglio del pennello del Segno (estratto da Progetto Definitivo del 2015)....24
Fig. 6.2 – Sezioni di progetto del pennello del Segno (estratto da Progetto Definitivo del 2015)....24
Fig. 6.3 – Sezioni del pennello- a confronto PD 2015 (in alto) e proposte migliorative (in basso in rosso)....25

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 3.1 – Statistica degli eventi estremi (punto U.K.M.O. - periodo 1989-2008)....12
Tab. 3.2 - Ipotesi progettuali di base per il calcolo del periodo di ritorno dell'azione ondosa....13
Tab. 4.1 - Dimensionamento della mantellata delle secche artificiali (Van der Meer)....18

1 PREMESSA

Il R.T.P., costituito dall'ing. Paolo Gaggero, dalla società HS marine S.r.l., dal Dott. Geol. Marcello Brancucci e dall'Ing. Luca Rossi, ha ricevuto dall'Autorità Portuale di Savona l'incarico per la redazione della progettazione definitiva dell'"intervento strutturale a difesa della costa di Vado Ligure" (CIG: ZEE252A10E).

La presente relazione di calcolo riguarda il dimensionamento delle opere previste in progetto, costituite da opere rigide (secche semiaffioranti e pennello alla foce del torrente Segno) e ripascimento.

Nei successivi paragrafi sono riportati gli approcci di calcolo utilizzati per il dimensionamento della mantellata delle scogliere, dei filtri granulari e dei geotessili. Per quanto riguarda il ripascimento, che verrà realizzato a tergo delle secche nel tratto di litorale immediatamente ad Sud del pontile Tirreno Power, sono riportate una serie di valutazioni in merito al profilo di equilibrio della spiaggia sommersa e al profilo utilizzato per la riconfigurazione della spiaggia emersa.

Per quanto riguarda invece il dimensionamento del pennello alla foce del torrente Segno, sono stati acquisiti dal Committente i calcoli e i disegni progettuali redatti dall'Ing. Misurale nell'ambito del Progetto Definitivo di "sistemazione del tratto terminale dell'asta del torrente Segno finalizzata alla mitigazione del rischio idraulico" (ottobre 2015); tale progetto, infatti, già prevedeva il pennello.
Relativamente al medesimo pennello, sono riportate anche una breve descrizione della sezione dell'opera e una sintesi dei dimensionamenti condotti. Con l'obiettivo di ottimizzare la funzionalità dell'intervento e garantire una maggiore stabilità e durabilità delle opere si propongono, nell'ambito del presente progetto definitivo, alcune ottimizzazioni della sezione del pennello.
Le modifiche proposte non comportano di fatto variazioni della sagoma e della geometria dell'opera, né variazioni significative dei dimensionamenti precedentemente condotti (per cui rimangono valide tutte le considerazioni alla base dello studio redatto nel 2015 in relazione alla funzionalità del pennello). Le modifiche proposte potranno essere adottate dal Committente in fase di redazione del progetto esecutivo.

2 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Il progetto si pone come obiettivo la mitigazione dei fenomeni erosivi locali e la stabilizzazione di un equilibrio dinamico idoneo a mantenere dimensioni di spiaggia utili alla conservazione delle opere urbane.
Il tema è stato affrontato con caratteristiche di intervento di moderata artificializzazione, con privilegio di sistemi aperti di stimolo di equilibri naturali.
Pertanto sono state scartate soluzioni di lunghe dighe emerse o sviluppate, che certamente potrebbe risolvere il tema locale, con conseguenti esigenze di manutenzione del sistema, incapace di risolvere problemi erosivi eventualmente indotti dalle mareggiate.
Si è pertanto optato per una soluzione mista, costituita da:

- un impianto di ripascimento di granulometria opportunamente valutata
- un sistema di opere di contenimento e stabilizzazione costituito da due secche isolate in massi, capaci di indurre la tendenza morfologica di tomboli nella zona in ombra della loro estensione.

Indubbiamente la novità introdotta dal progetto sul litorale è l'elemento “secca”, che non compare in tutto il tratto compreso tra il porto di Vado-Bergeggi e le spiagge di Albissola Mare, ancora di competenza dell'Autorità di Sistema.
Abbiamo avuto occasione di testare gli effetti delle secche su diversi litorali liguri; ne è emersa una valutazione molto positiva, ovviamente rapportata alle condizioni locali. Nel caso in esame le profondità della spiaggia sommersa sono molto adatte alla realizzazione, poiché relativamente modeste; l'onda frangente delle mareggiate più violente incontra l'ostacolo della secca e perde energia.
La presenza della secca induce comunque una avanzamento della linea di riva nella zona in ombra dell'opera; peraltro lo stesso avanzamento coinvolge importanti volumi di materiali sciolti (sabbie e ghiaie) che il sistema trova nell'intorno. Se non si provvede ad idonei proporzionati versamenti di sabbie, ai bordi del sistema viene indotto un forte processo erosivo, necessario a fornire il materiale per l'avanzamento del “tombolo”. È quindi necessario provvedere ad idonei massivi ripascimenti contemporanei alla realizzazione della secca.
Il tema può essere visto anche con un ordine rovesciato. Sul lido in erosione si prevede di intervenire con importanti ripascimenti; il sistema peraltro tende a spostare anche le nuove sabbie verso le aree di positiva rotazione della falcatura. Si introducono allora opere che tendono a conservare in sito i versamenti: le secche.
Quindi l'intervento può essere definito:
A) realizzazione secche con idoneo ripascimento
B) ripascimento con realizzazione di secche di stabilizzazione.
Proponiamo la seconda versione, che descrive il percorso storico degli interventi, iniziati con reiterati quanto sfuggenti ripascimenti e conclusi con il presente progetto che ha lo scopo di mantenere in sito i versamenti di sabbia.

Le opere previste pertanto sono:

- ripascimento di circa 15.000 mc di materiale di granulometria D_{50} = 3,5 mm ben classata, per un tratto di circa 300 ml a Sud-Ovest del pontile Tirreno Power

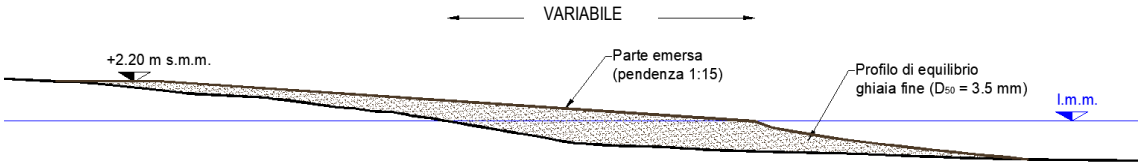


Fig. 2.1 – Sezione tipologica ripascimento

- realizzazione di due secche, in materiale lapideo, con berma a quota 0,00 l.m.m. e dimensione al coronamento ml 15.0 x ml 40.0 . Le pendenze delle scarpate sono:
  - esterna 2/1
  - interna 2/1
  - testate 2/1.

  Le mantellate sono previste in massi di III° categoria, appoggiate direttamente su uno strato di pietrame da 50 a 500 kg; tra lo scanno di imbasamento ed il fondale è previsto il posizionamento di un geocomposito, al fine di garantire un adeguato filtro, ripartire i carichi sovrastanti e pertanto evitare cedimenti del terreno di fondazione.

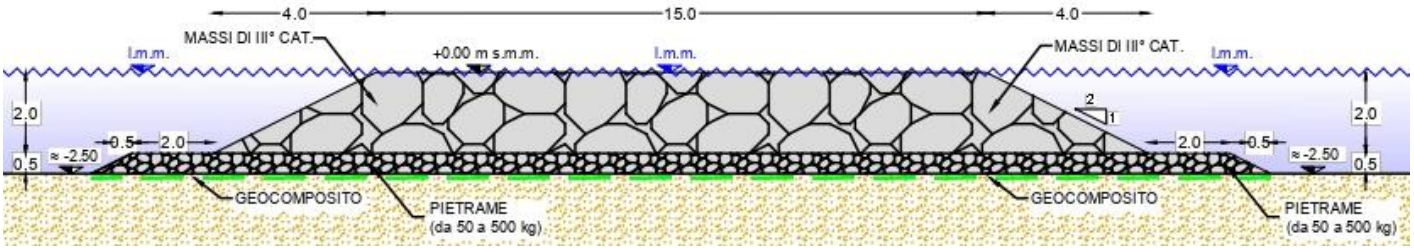


Fig. 2.2 – Sezione tipologica secca semiaffiorante

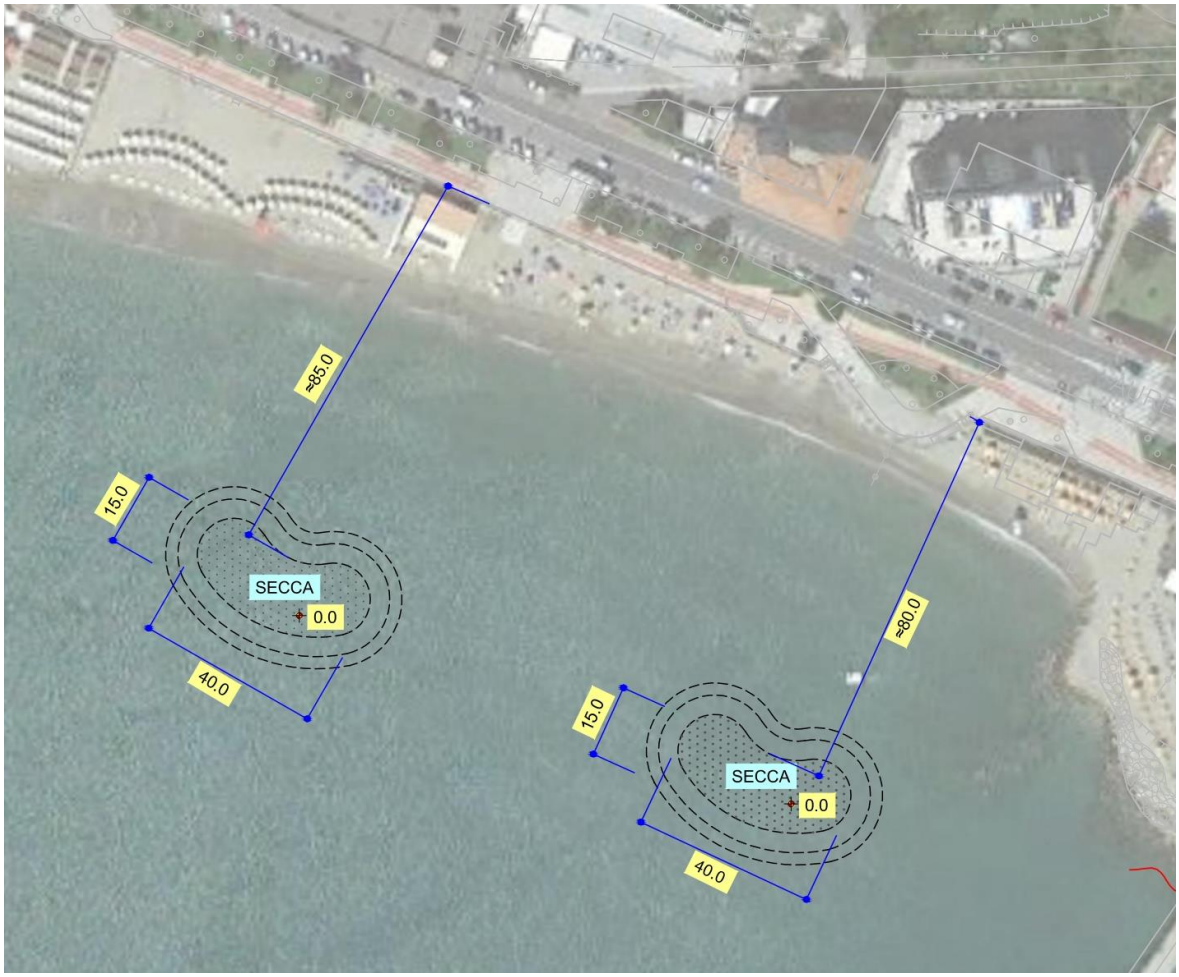


Fig. 2.3 – Planimetria di progetto secche

- modellazioni della scarpata di contenimento del terrapieno a sud della radice del pontile Tirreno Power, con formazione di due risalti perimetrali per la limitazione della velocità della corrente aderente e della conseguente erosione locale

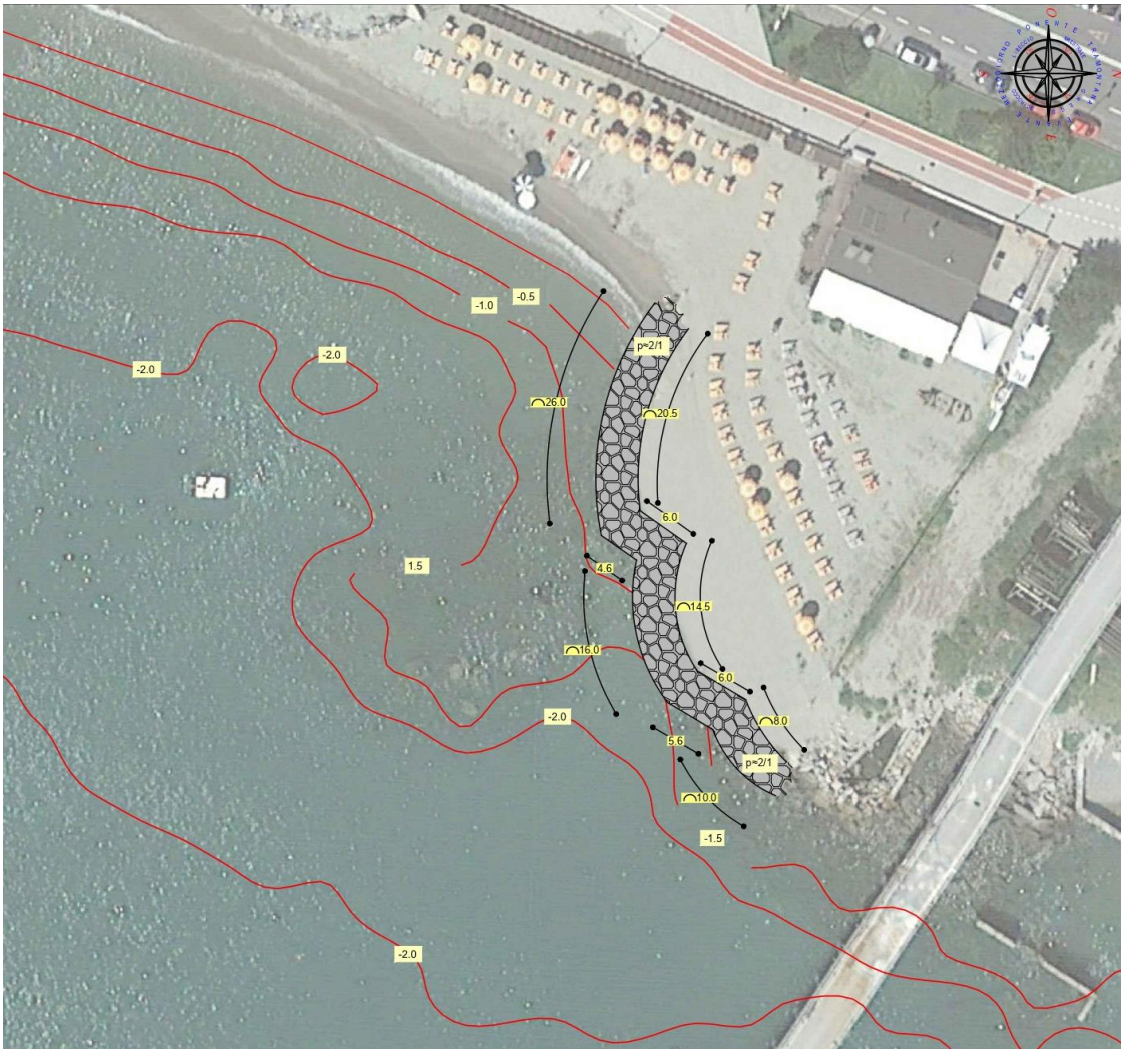
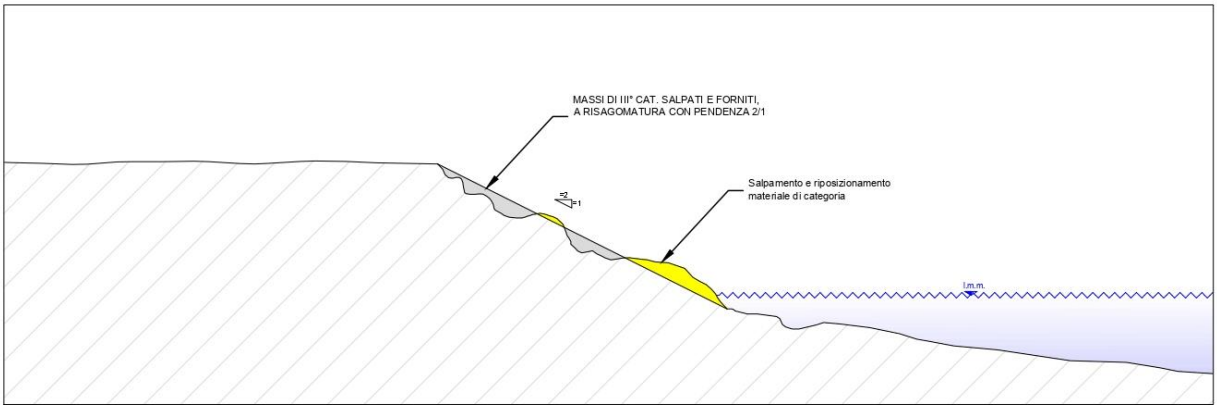


Fig. 2.4 – Planimetria di progetto scogliera radente con risalti longitudinali

SEZIONE TIPOLOGICA RIPRISTINO SCOGLIERA
Scala 1:100



SEZIONE TIPOLOGICA AVANZAMENTO TERRAPIENO
Scala 1:100

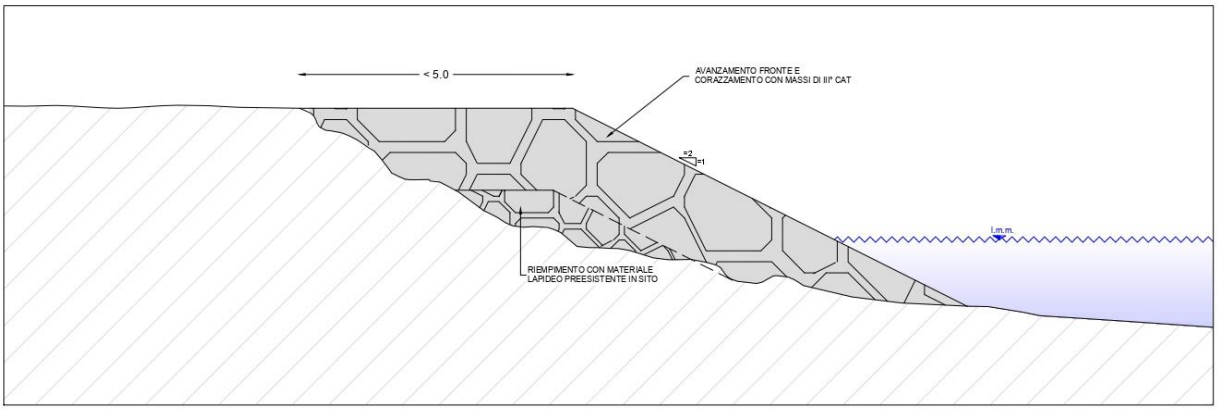


Fig. 2.5 – Sezioni tipologiche ripristino scogliera radente con risalti longitudinali

- il progetto contiene anche la realizzazione del pennello a sud della foce del rio Valletta, già facente parte del progetto di sistemazione del torrente Segno e per il quale sono stata proposte alcune migliorie (vedi paragrafo 6.2 della Relazione di calcolo).
  Le caratteristiche del pennello sono:
  - lunghezza circa 50.0 ml
  - quota berma + 1.50 ml sul l.m.m.
  - ampiezza berma 5.00 ml
  - pendenza scarpate3/2.

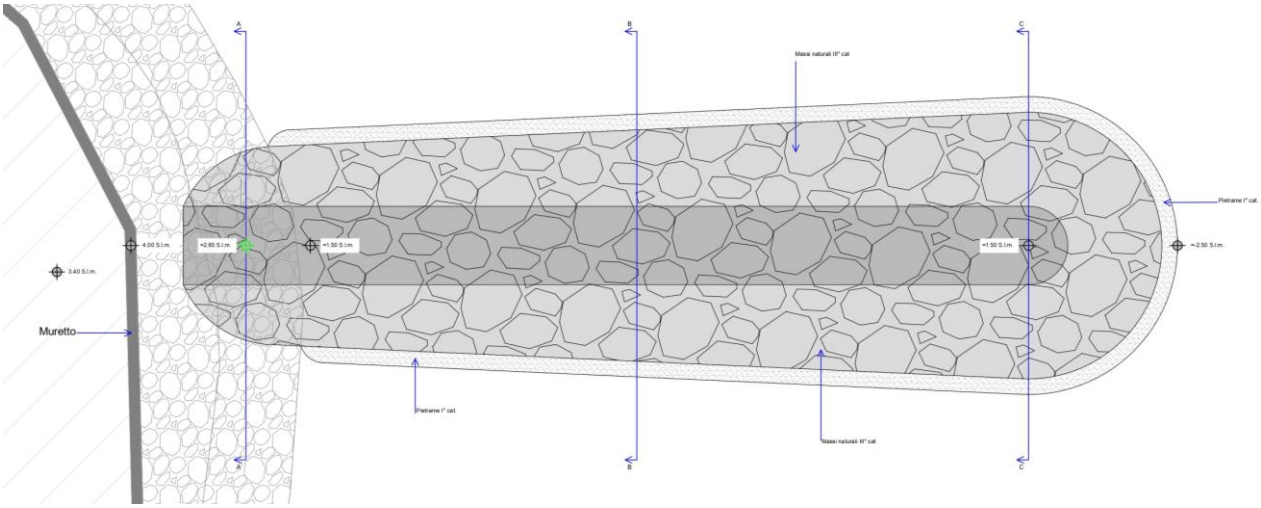


Fig. 2.6 – Planimetria pennello

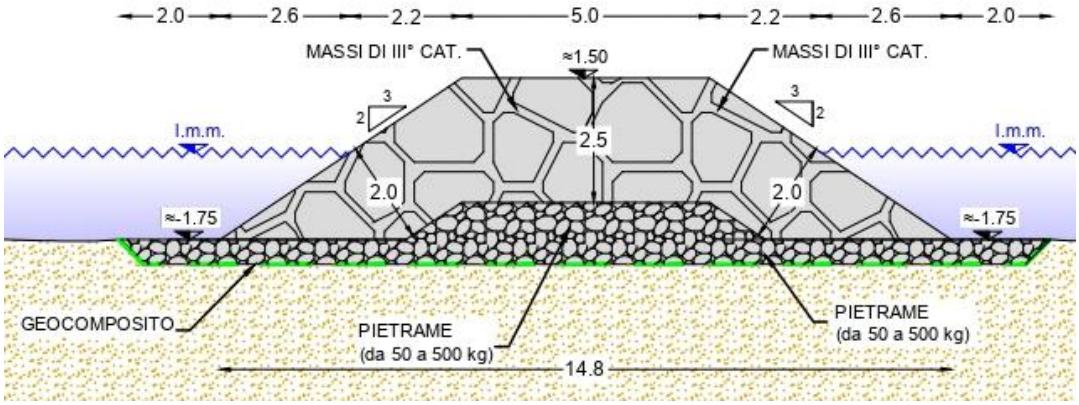


Fig. 2.7 – Sezione trasversale tipologica

3 CARATTERISTICHE DELL'ONDA DI PROGETTO

Il dimensionamento e la verifica delle opere in progetto è stato condotto con riferimento ai più recenti studi e dati disponibili, forniti dal Committente.
Per quanto riguarda le caratteristiche meteomarine del paraggio si è fatto riferimento alla "Relazione meteo marina" redatta nell'aprile 2015 da APM TERMINALS VADO LIGURE S.p.A. per conto dell'Autorità Portuale di Savona nell'ambito della "Progettazione definitiva ed esecutiva, esecuzione dei lavori della nuova piastra multifunzionale del porto di Vado Ligure e gestione della parte relativa al terminal contenitori".

In merito alle caratteristiche topobatimetriche dell'area di intervento, il Committente ha messo a disposizione uno specifico rilievo con l'andamento della batimetria del tratto di costa compreso tra la foce del Torrente Segno e il pontile Enel (rilievo datato aprile 2010).

3.1 Caratteristiche meteomarine al largo del paraggio

Il tratto di litorale oggetto di studio è situato sulla costa occidentale della Regione Liguria, in provincia di Savona, ed è compreso tra la foce del Torrente Quiliano, a Nord-Est, e il porto commerciale di Vado, a Sud-Ovest (Fig. 3.1). Più in dettaglio, l'area di interesse è ubicata immediatamente a Nord-Est della foce del torrente Segno e del pontile Vadoil.

Le caratteristiche meteomarine (settore di traversia e moto ondoso al largo) del paraggio sono state estratte dallo studio meteomarino redatto nell'aprile 2015 nell'ambito del Progetto della nuova piastra multifunzionale del porto di Vado Ligure.
Il settore di traversia caratteristico del paraggio è compreso tra le direzioni 50°N e 190°N, come evidenziato nella successiva Fig. 3.1; in particolare, si possono individuare 3 sottosettori di traversia, con caratteristiche di esposizione e ondametriche simili:

- settore di Greco-Levante (50÷100°N);
- settore di Scirocco (100÷150°N);
- settore di Mezzogiorno (150÷190°N).

Il clima ondoso al largo del paraggio di Vado Ligure è stato definito utilizzando i dati U.K.M.O., forniti dal centro meteorologico inglese "UK Meteorological Office". In particolare, per lo studio in oggetto si è fatto riferimento al punto di coordinate geografiche 44.0°N, 8.73°E, situato nel Mar Ligure tra Imperia e Genova su un fondale di oltre 1000 m; i dati analizzati nello studio del 2105 si basano sulla rianalisi della serie di dati dell'UKMO relativi al periodo 1989-2008. Oltre alla ricostruzione del clima medio annuale (utilizzata per gli studi di dettaglio della dinamica litoranea; cfr. Elaborato B.01), è stata condotta anche l'analisi statistica degli eventi estremi per ciascuno dei 3 settori di provenienza precedentemente individuati e per tempi di ritorno compresi tra 1 e 1000 anni. In Tab. 3.1 si riportano le caratteristiche dell'onda al largo per i diversi tempi di ritorno e per ciascun sotto-settore individuato.



Fig. 3.1 - Inquadramento geografico del paraggio (foto aerea Google Earth 2018)

	SETTORE 50°-100°N		SETTORE 100°-150°N		SETTORE 150°-190°N	
Tempo di ritorno T [anni]	Altezza d'onda significativa Hs [m]	Periodo Tp [s]	Altezza d'onda significativa Hs [m]	Periodo Tp [s]	Altezza d'onda significativa Hs [m]	Periodo Tp [s]
5	2.3	7.3	3.1	8.6	3.2	8.7
10	2.6	7.8	3.5	9.1	3.7	9.3
20	2.9	8.3	4.0	9.7	4.1	9.9
50	3.3	8.8	4.6	10.4	4.7	10.6
100	3.6	9.2	5.0	10.9	5.2	11.1
250	4.1	9.8	5.7	11.6	5.9	11.8
500	4.7	10.5	6.1	12.0	6.4	12.3

Tab. 3.1 – Statistica degli eventi estremi (punto U.K.M.O. - periodo 1989-2008)

3.2 Periodo di ritorno caratteristico dell'opera

In linea generale, le opere rigide sono dimensionate in funzione della loro prevedibile durata nel tempo (vita dell'opera), del rischio di danneggiamento e delle relative conseguenze.
In mancanza di specifici riferimenti normativi, per definire il periodo di ritorno degli eventi ondosi da considerare nel dimensionamento delle strutture che verranno realizzate nell'ambito del presente intervento (pennello e secche), si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 2.1.4.5 delle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore LL.PP., con le ipotesi descritte di seguito e riassunte nella successiva **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

L'opera in oggetto è identificabile come del tipo ad "uso generale" (*opere di difesa di singole installazioni .... di depositi o piattaforme di carico e scarico ....*), alla quale è richiesto un "livello di sicurezza 1" (*opere o installazioni di interesse locale o ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane ...*), da cui risulta una durata minima di vita di 25 anni.

Con riferimento alla condizione di "danneggiamento incipiente", si ipotizza un rischio di perdita di vite umane limitato e una ripercussione economica bassa; la probabilità di danneggiamento P_F nel periodo di vita operativa dell'opera risulta quindi fissata a 0.50.

La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v (25 anni) e della probabilità di danneggiamento P_F (0.5), determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp}:

$$T_{rP} = \frac{T_V}{\left[-\ln(1-P_F)\right]} \cong 36 anni.$$

A favore di sicurezza è stato assunto un valore di T_{rp} di 50 anni.

Parametro	Valore prescelto	Rif. Istr. Tecniche C.S.LL.PP.
Tipo dell'opera	Infrastrutture per uso generale	
Livello di sicurezza richiesto	1	
Durata minima di vita	T_v= 25 anni	Tab. 1
Condizione di danneggiamento	Incipiente	
Rischio per la vita umana	Limitato	
Ripercussione economica	Bassa	
Max probabilità di danno ammissibile	P_F = 0.50	Tab. 2

Tab. 3.2 - Ipotesi progettuali di base per il calcolo del periodo di ritorno dell'azione ondosa

3.3 Onda di progetto

Una volta definiti il periodo di ritorno di progetto e le condizioni di moto ondoso estreme al largo del paraggio (cfr. precedenti paragrafi 3.1 e 3.2), è possibile determinare le caratteristiche dell'onda di progetto, che verranno utilizzate per il dimensionamento delle opere rigide.

Trattandosi di strutture che verranno realizzate sotto costa (su fondali di circa -2.5 m s.m.m.), in zona frangente, l'onda di progetto che si assume a base dei calcoli è quella caratterizzata dall'altezza massima compatibile con la profondità al piede dell'opera stessa. Ne consegue che l'altezza d'onda risulta limitata dalla quota del fondale (d), per cui l'altezza d'onda massima è sostanzialmente coincidente con l'altezza d'onda frangente H_b:

$$H_{s,\max} \approx H_b = 0.78\, d\ .$$

A favore di sicurezza, nel calcolo è stato considerato anche un sovralzo del livello medio del mare di +0.68 m s.m.m. (cfr. Elaborato B.01), da cui risulta un valore dell'altezza d'onda massima di circa 2.48 m.

In merito al periodo da associare all'onda di progetto, si è fatto riferimento al periodo corrispondente alle onde al largo caratterizzate da un tempo di ritorno di 50 anni (cfr. precedente Tab. 3.1). Nel caso specifico è stato assunto un valore del periodo di picco pari a 10.6 s, valore più elevato caratteristico delle mareggiate provenienti da Mezzogiorno.

In conclusione, l'onda di progetto utilizzata nei dimensionamenti delle opere è caratterizzata dai seguenti parametri:

- profondità del fondale = -2.5 m s.m.m.;
- sovralzo = +0.68 m s.m.m.;
- altezza d'onda massima = 2.48 m;
- periodo di picco = 10.6 s.

4 DIMENSIONAMENTO DELLE SECCHE

Il presente paragrafo descrive l'approccio utilizzato per il calcolo del peso degli elementi che costituiscono la mantellata delle secche sommerse, che si rifà alle indicazioni contenute nel Coastal Engineering Manual (CEM) edito dallo US Army Corps of Engineers (USACE), nella versione del 31 dicembre 2007. Si riportano inoltre le formule proposte in letteratura per la verifica dei criteri di ritenzione dei filtri granulari e di geotessile utilizzati nel progetto.

4.1 Formula di Van der Meer per scogliere sommerse

La metodologia proposta da Van der Meer per il calcolo dei massi di mantellate di scogliere sommerse propone l'impiego di un numero di stabilità N_s^* funzione della profondità h al piede dell'opera, della quota h_c del coronamento della struttura rispetto al fondo e del grado di danneggiamento ammissibile S:

$$\frac{h_c}{h} = (2.1 + 0.1S)e^{-0.14 N_s^*}.$$

Il diametro nominale medio dei massi (D_{n50}) che garantisce la stabilità della mantellata nelle ipotesi descritte risulta secondo Van der Meer pari a:

$$D_{n50} = \frac{H^{\frac{2}{3}} L^{\frac{1}{3}}}{N_s^* \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_a} - 1 \right)}$$

dove

- H è l'altezza dell'onda di progetto;
- L la lunghezza d'onda al largo, riferita al periodo di picco ($L = 1.56 * T_P^2$);
- γ_S il peso specifico dei massi (pari a 2.6 t/m^3);
- γ_a il peso specifico dell'acqua di mare (pari a 1.03 t/m^3).

In caso di altezza d'onda limitata dal frangimento, il CEM consiglia di ricavare l'altezza significativa attraverso la relazione che lega l'altezza significativa alla $H_{2\%}$, ragionevolmente assimilabile all'altezza H_b, massima in relazione al fondale. Per fondali a debole pendenza, si può assumere H_b = 0.78 d, dove d indica la profondità al piede dell'opera. Va tuttavia segnalato che nei casi sperimentali analizzati da Van der Meer il frangimento era di modesta intensità e comunque del tipo spilling: si ritiene pertanto ragionevole e cautelativo seguire le indicazione dello stesso autore, che, in caso di frangimento molto intenso e di tipo plunging, raccomanda di utilizzare $H = H_{2\%}/1.1 \div 1.2$ (nel caso specifico è stato assunto un valore medio pari a 1.15).

Il peso medio dei massi, pertanto, risulta pari a:

$$W_{50} = \gamma_s D_{n50}^3.$$

Il CEM non specifica il campo di validità della formula, anche se l'autore ha interpretato dati sperimentali nei quali la profondità del coronamento era non inferiore a D_{n50}.

4.2 Criteri di ritenzione

La progettazione dei filtri richiede la conoscenza delle caratteristiche del terreno di base, del filtro e delle condizioni al contorno di carattere idraulico, geometrico e meccanico.
I criteri di ritenzione sono prevalentemente basati su considerazioni di carattere geometrico. L'effetto della forza di trascinamento esercitata dal flusso sui grani del terreno di base non viene, pertanto, considerata, ipotizzando quindi che la possibilità di movimento sia legata al rapporto tra la dimensione dei grani del terreno da proteggere e la dimensione dei pori del filtro.

4.2.1 CERC

Il criterio proposto dal CERC SPM (1984) è valido per mantellate di granulometria uniforme in condizioni di flusso non stazionario (esposte al moto ondoso).
Il criterio si basa sulla limitazione del rapporto tra il diametro degli elementi del filtro (D_f), o del materiale a granulometrica più maggiore, e quello degli elementi del materiale di base (D_b), o del materiale a granulometrica più fine:

$$\frac{D_f}{D_b} \leq 2.2 .$$

Tale verifica viene condotta con riferimento a strati contigui di materiali granulari aventi differente pezzatura (ad esempio tra mantellata e nucleo della scogliera o mantellata/nucleo e imbasamento).

4.2.2 Criterio di Terzaghi

Il criterio di Terzaghi (1922) si basa sul principio che la granulometria del corpo filtrante deve impedire la migrazione della frazione più fine del terreno esistente in situ (terreno di base) attraverso il corpo drenante, al fine di evitare l'intasamento di questo e la progressiva erosione del terreno all'intorno. La formula di verifica proposta da Terzaghi (criterio di ritenzione) è la seguente:

$$\frac{D_{15f}}{D_{85b}} < 4$$

dove:
- D_{15f} rappresenta il diametro corrispondente al 15% del passante in peso del materiale drenante;
- D_{85b} rappresenta il diametro corrispondente all'85% del passante in peso del terreno da drenare.

4.2.3 Heerten

Il metodo proposto da Heerten (1982), applicato all'interfaccia geotessile-terreno di base, è espresso dalla seguente formula:

$$D_w < D_{50} ,$$

dove
- D_w rappresenta l'apertura efficace di filtrazione determinata mediante test tipo "wet sieving" (EN ISO 12956);
- D_{50} rappresenta il diametro mediano del materiale di base.

4.2.4 Criterio di idoneità meccanica

La lacerazione rappresenta il meccanismo di rottura più probabile per un geotessile utilizzato con funzione di filtro al di sotto di una protezione in pietrame. Il danneggiamento, in questo tipo di costruzioni, avviene prevalentemente durante la messa in opera.

Per la verifica dell'idoneità meccanica del geotessile, cioè della capacità del geotessile stesso di sopportare le sollecitazioni meccaniche conseguenti alle fasi di costruzione, si fa riferimento al criterio proposto da Lawson (1992).

I parametri di riferimento per la verifica secondo il criterio di Lawson sono la dimensione degli elementi lapidei posti sopra il geotessile (rappresentata dal D_{85} del materiale lapideo), e la resistenza caratteristica alla lacerazione del geotessile (F_T [N]), valutata secondo la prova ASTM D4533 ("trapezoidal tear test method"). La resistenza caratteristica può anche essere dedotta da prove standard analoghe a quella descritta dall'ASTM, quali la ISO 13434 o UNI 8279.

La resistenza alla lacerazione richiesta al geotessile è data in questo caso dalla relazione:

$$F_T \geq 1500\left(D_{85}\right)^{0.75}$$

Generalmente si applica un coefficiente di sicurezza pari a 4.

4.3 Dimensionamento della mantellata

Il dimensionamento della mantellata delle secche sommerse è stato condotto con riferimento all'approccio di calcolo proposto da Van der Meer, descritto al precedente paragrafo 4.1.
Il valore locale dell'altezza d'onda di progetto considerato nel dimensionamento della mantellata è stato determinato considerando che le opere verranno realizzate in zona frangente (cfr. precedente paragrafo 3.3). Il valore dell'altezza d'onda massima su un fondale di -2.5 m s.m.m. è stato opportunamente ridotto utilizzando il coefficiente proposto da Van der Meer. A favore di sicurezza, trattandosi di una struttura semiaffiorante (quota di coronamento coincidente con il livello medio mare), il dimensionamento è stato condotto sia considerando un sovralzo del livello medio del mare di +0.68 m s.m.m. che con livello coincidente con il medio mare:

$$H = H_{2\%}/1.15 \approx H_b/1.15 = 0.78\,d/1.15 \cong 2.16m \qquad \text{con sovralzo;}$$

$$H = H_{2\%}/1.15 \approx H_b/1.15 = 0.78\,d/1.15 \cong 1.70m \qquad \text{senza sovralzo;}$$

Il periodo di picco associato all'onda di progetto è pari a 10.6 s..

Il dimensionamento è stato pertanto condotto considerando i valori dell'altezza d'onda e del periodo di picco di progetto sopra definiti; è stato, inoltre, assunto un grado di danneggiamento ammissibile pari a 2 (grado di danneggiamento iniziale).

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso degli elementi della mantellata compatibile con massi di II categoria (cfr. successiva Tab. 4.1). A favore di sicurezza, considerando anche la possibilità di futuri approfondimenti dei fondali nelle aree in cui verranno realizzate le secche, si prevede di utilizzare per la mantellata massi di III categoria.
Considerando gli spessori della scogliera in relazione alle limitate profondità del fondale, si ritiene opportuno realizzare la struttura con mantellata e nucleo costituiti da un'unica pezzatura, ovvero con massi di III categoria (con peso minimo di 3 t).

Profondità (m s.m.m.)	*Quota coronamento (m s.m.m.)*	*Sovralzo (m s.m.m.)*	*H_s (m)*	*T_p (s)*	*W_{50} (t)*	*W (t)*	*CAT.*
-2.50	+0.00	+0.68	2.16	10.6	1.2	0.9÷1.5	II
-2.50	+0.00	-	1.70	10.6	1.7	1.3÷2.2	II

Tab. 4.1 - Dimensionamento della mantellata delle secche artificiali (Van der Meer)

4.4 Dimensionamento dei filtri

Come descritto nel precedente paragrafo 2, le secche saranno realizzate con una mantellata/scogliera in massi di III categoria (peso minimo 3 t), poggiante su uno strato di imbasamento in pietrame (pezzatura compresa tra 50 e 500 kg). Tra il terreno di fondazione (fondale) e lo strato di imbasamento sarà interposto un geocomposito avente la duplice funzione di filtro e rinforzo (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

4.4.1 Verifica della transizione mantellata/imbasamento

La mantellata delle secche poggia direttamente sullo strato di imbasamento in pietrame. La verifica della transizione tra mantellata (in massi di III categoria) e imbasamento (in pietrame) è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC.
Il valore del diametro del filtro D_f (rappresentato dagli elementi della mantellata in massi di III cat.) è stato assunto pari a quello di un masso naturale da 3 t (limite inferiore della pezzatura utilizzata per la mantellata), mentre il diametro del materiale di base D_b (costituito dagli elementi dello strato di imbasamento) è stato assunto pari a quello di un masso naturale da 500 kg (limite superiore della pezzatura utilizzata). Procedendo con la verifica, si ottiene:

$$\frac{D_f}{D_b} = \frac{1.049}{0.577} = 1.82 < 2.2 .$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.

4.4.2 Verifica della transizione imbasamento/terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi per i materiali granulari.

La formula di verifica proposta da Terzaghi (criterio di ritenzione) è stata applicata considerando come valore di D_{15f} (diametro corrispondente al 15% del passante in peso del materiale drenante) quello corrispondente al masso che rappresenta il limite inferiore della pezzatura scelta (50 kg), da cui si ottiene:

$$D_{85b} > \frac{D_{15f}}{4} = \frac{0.268}{4} = 0.067\ m .$$

Ne consegue che, per soddisfare la verifica, il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Considerando che il fondale nell'area oggetto di intervento è costituito prevalentemente da sabbia medio-fine avente D_{50} pari a circa 0.2 mm (cfr. caratteristiche sedimentologiche descritte nell'elaborato B.01), risulta necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che il terreno di fondazione è costituito da sabbia media, con diametro medio dei grani pari a 0.2 mm, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.2 mm.

4.4.3 Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. La geogriglia si trova a contatto con il pietrame che costituisce lo strato di imbasamento dei pennelli. Il valore di D_{85}, considerato nella verifica, è quello corrispondente al diametro di un masso da 500 kg (limite superiore della pezzatura utilizzata).

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito è data in questo caso dalla relazione:

$$F_T \geq 1500(D_{85})^{0.75} \qquad \Rightarrow \qquad F_T \geq 1500(0.577)^{0.75} \geq 993.3N$$

In ragione del fatto che i massi verranno posizionati in acqua e con procedure che consentono di minimizzare le sollecitazioni meccaniche sul sottostante geocomposito, si ritiene sufficiente ai fini della verifica applicare un coefficiente di sicurezza pari a 3, che tiene conto anche della fragilità e dell'invecchiamento. In questo modo si ottiene:

$$F_T \geq 3.0\,kN\,,$$

ovvero, tenendo conto anche della larghezza del provino sottoposto a trazione pari a 76 mm, si ottiene il risultato equivalente:

$$F_T \geq 39.4\,kN/m\,.$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 kN/m

5 CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO DI RIPASCIMENTO

L'intervento di ripascimento, oggetto del presente progetto unitamente alla realizzazione delle secche, del pennello alla foce del torrente Segno e al ripristino delle scogliere radenti , prevede il versamento di materiale grossolano (ghiaia fine) per complessivi 15'000 m^3, lungo circa 300 m di litorale a Sud-Ovest del pontile Tirreno Power.

Il ripascimento sarà realizzato impiegando ghiaia proveniente da cava (D_{50} ipotizzato pari a 3.5 mm), con caratteristiche granulometriche affini a quelle del materiale nativo, che si trova attualmente sulla spiaggia emersa. Per una descrizione dettagliata dell'intervento si rimanda al precedente paragrafo 2 e agli elaborati grafici di progetto.
Il ripascimento verrà eseguito stendendo il materiale da terra verso mare alla quota di +2.20 m s.m.m.. Il profilo di ripascimento verrà quindi raccordato al profilo esistente con una pendenza di 1:15 (fino al livello del mare), mentre, per il tratto al di sotto del livello del mare, il materiale verrà steso verso mare e, sotto l'azione del mare, assumerà naturalmente il "profilo di equilibrio" che compete alla granulometria impiegata (cfr. successivo paragrafo 5.1). Si prevede un avanzamento medio della linea di riva all'atto del versamento pari a circa 17 m.

5.1 Profilo di equilibrio

Il profilo sommerso di ripascimento (profilo trasversale di equilibrio della spiaggia) è stato determinato con riferimento alle caratteristiche granulometriche del materiale versato (ovvero D_{50} pari a 3.5 mm), assumendo che la forma del profilo trasversale sia esprimibile tramite la semplice relazione proposta da Bruun (1954) e Dean (1977), che lega la profondità d alla distanza dalla linea di riva y:

$$d = A y^{2/3},$$

dove A rappresenta un parametro semiempirico, definito da Moore (1982), funzione del diametro caratteristico D_{50} (espresso in mm e corrispondente al diametro del vaglio che trattiene il 50% in peso del materiale) del sedimento che costituisce la spiaggia attiva.
Di seguito, si riportano le formule proposte da Larson e Kraus nel 1992 (CERC 1995), e successivamente rielaborate dal Kraus per ottenere una funzione continua, per il calcolo del parametro A, in funzione del diametro mediano dei grani:

$A = 0.2665(d_{50})^{0.614}$ se $D_{50} \leq 0.26$ mm
$A = 0.2275(d_{50})^{0.496}$ se $0.26 < D_{50} \leq 0.47$ mm
$A = 0.2143(d_{50})^{0.4161}$ se $0.47 < D_{50} \leq 0.70$ mm
$A = 0.2101(d_{50})^{0.361}$ se $0.70 < D_{50} \leq 1.00$ mm
$A = 0.21(d_{50})^{0.48}$ se $1.00 < D_{50} \leq 1.77$ mm
$A = 0.23(d_{50})^{0.32}$ se $1.77 < D_{50} < 10.0$ mm
$A = 0.263(d_{50})^{0.261}$ se $10.0 \leq D_{50} < 40.0$ mm
$A = 0.46(d_{50})^{0.11}$ se $D_{50} \geq 40.0$ mm.

Nel caso specifico, considerando di versare sedimenti caratterizzati da un valore medio di D_{50} di 3.5 mm (ghiaia fine), si ottiene un valore del parametro A pari a 0.34. Per quanto riguarda il calcolo dei quantitativi di materiale versato nel tratto di intervento, la stima è stata condotta con riferimento al rilievo di aprile 2010 fornito dal Committente.
L'intervento proposto consiste nel versamento di circa 50 m^3/ml di materiale; considerando la lunghezza del tratto di intervento (circa 300 m di litorale protetto dalle nuove secche a Sud-Ovest del pontile Tirreno Power), risulta un quantitativo complessivo pari a circa 15'000 m^3.

Nelle successive Fig. 5.1 si riporta la sezione tipologiche di progetto prevista per il ripascimento.

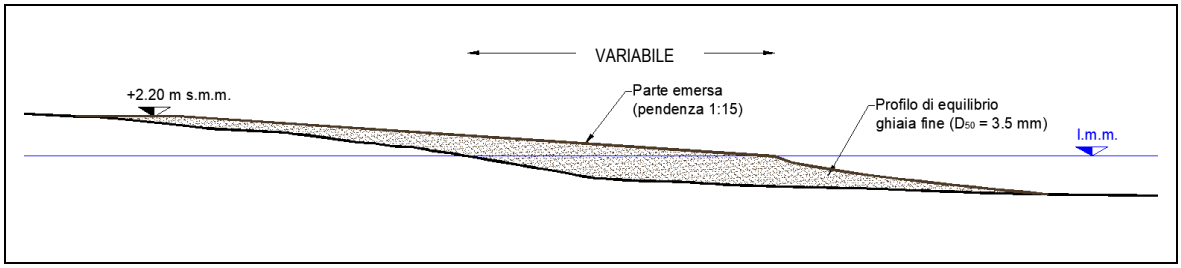


Fig. 5.1 – Sezione tipologica del ripascimento

6 PENNELLO ALLA FOCE DEL TORRENTE SEGNO

6.1 Progetto Definitivo del 2015

Come anticipato in premessa, per il progetto e il dimensionamento del pennello alla foce del torrente Segno si è fatto riferimento agli elaborati (calcoli e i disegni progettuali) redatti dall'Ing. Misurale nell'ambito del Progetto Definitivo di "sistemazione del tratto terminale dell'asta del torrente Segno finalizzata alla mitigazione del rischio idraulico" (ottobre 2015).

Il Progetto Definitivo del 2015 si è basato sugli studi su modello della dinamica litoranea condotti da HydroSoil S.r.l. per conto dell'Autorità Portuale di Savona (cfr. "Studio idraulico-marittimo relativo alla sistemazione idraulica del tratto terminale del torrente Segno", luglio 2014). Gli studi su modello erano stati condotti nell'ambito del progetto preliminare relativo alla sistemazione idraulica del tratto terminale del torrente Segno, e riportavano la modellazione e l'analisi della dinamica del litorale adiacente alla foce del torrente Segno. Venivano inoltre evidenziate le potenziali interazioni tra la sistemazione del corso d'acqua (e della sua foce) e la dinamica litoranea, sia nella configurazione attuale del porto di Vado Ligure che in quella prevista dal nuovo P.R.P..

A conclusione degli studi, si evidenziava come la principale problematica legata all'interazione tra la sistemazione della foce del Segno e la dinamica litoranea risiedesse nel fatto che il trasporto solido litoraneo tende ad occludere la foce, compromettendo la funzionalità dello sbocco a mare del corso d'acqua. In secondo luogo, si evidenziava come la configurazione di P.R.P. determinasse una locale modifica del trend evolutivo dei fondali e della linea di riva, con un possibile peggioramento del trend erosivo già manifestato dalla spiaggia attualmente oggetto di intervento.
In tale contesto era stato individuato come intervento ottimale di mitigazione la realizzazione di un corto pennello tra la foce del Segno e la spiaggia più a Nord, in grado di arrestare il flusso di sedimenti verso Sud, che si sviluppa a breve distanza dalla riva, con il duplice risultato di ridurre l'insabbiamento della foce e la perdita di sedimenti della spiaggia a Nord.
Pertanto, in accordo con le indicazioni contenute nello studio preliminare, nell'ambito del progetto di sistemazione del tratto terminale del torrente Segno del 2015, era stata prevista la realizzazione di un pennello in massi naturali radicato all'estremità meridionale della spiaggia a Nord dello sbocco a mare del torrente (Fig. 6.1).

Il pennello ha un andamento rettilineo in direzione O-E (perpendicolare alla linea di costa), una lunghezza di circa 50 m e raggiunge, in testata, una profondità di circa - 2.5 m rispetto al medio mare. La sezione trasversale è di forma trapezia con larghezza in sommità costante pari a 5 m e pendenza delle scarpe pari a 3:2. Il nucleo centrale è composto da tout venant di cava (da 50 a 200 kg) con quota di sommità a -0.5 m s.l.m. e spessore variabile da 0 a 2.0 m. La mantellata esterna è costituita da un doppio strato di massi naturali di terza categoria, da 3 a 7 t (Fig. 6.2). La quota di sommità è prevista a +1.5 m s.m.m..
Il pennello verrà radicato a terra raccordandosi con la scogliera esistente, a ridosso del muro di protezione che separa l'area propriamente urbana dalla spiaggia. Nel progetto è previsto anche il ripristino della scogliera radente.

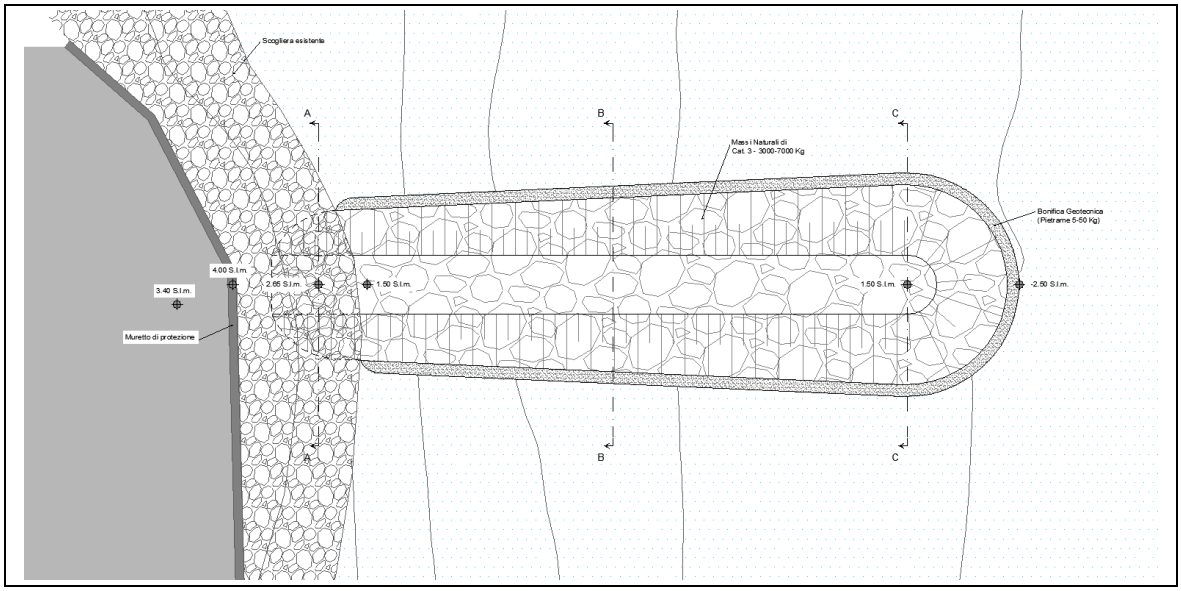


Fig. 6.1 – Planimetria di dettaglio del pennello del Segno (estratto da Progetto Definitivo del 2015)

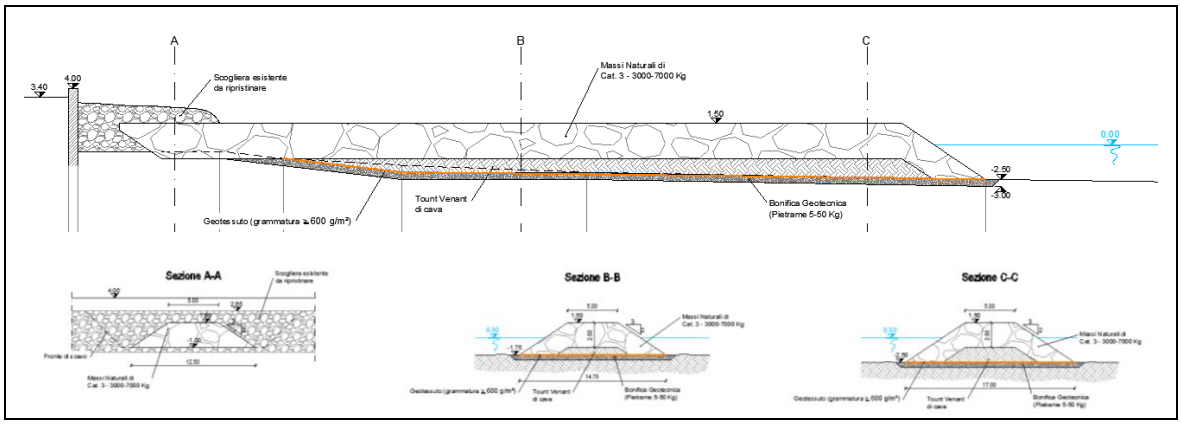


Fig. 6.2 – Sezioni di progetto del pennello del Segno (estratto da Progetto Definitivo del 2015)

6.2 Proposte migliorative

Con l'obiettivo di ottimizzare la funzionalità dell'intervento e garantire una maggiore stabilità e durabilità delle opere, si propongono, nell'ambito del presente progetto definitivo, alcune ottimizzazioni della sezione del pennello. Le modifiche proposte non comportano di fatto variazioni della sagoma e della geometria dell'opera, né variazioni significative dei dimensionamenti precedentemente condotti (per cui rimangono valide tutte le considerazioni alla base dello studio redatto nel 2015) o della funzionalità dell'opera.

Le modifiche/ottimizzazioni della struttura sono (Fig. 6.3):

- Lavorazione a specchio del coronamento dell'opera al fine di migliorarne l'impatto visivo.
- Realizzazione del nucleo e dello strato di imbasamento dell'opera con pietrame di pezzatura 50÷500 kg al posto del tout-venant e del pietrame 5÷50 kg per garantire una maggiore stabilità del piede dell'opera nel rispetto dei criteri di ritenzione dei filtri granulari.
- Eliminazione dello scavo di imbasamento e realizzazione di una protezione al piede della larghezza di due metri.
- Sostituzione del geotessile previsto alla base della scogliera con un geocomposito, con la finalità di garantire un adeguato filtro e ripartire i carichi soprastanti evitando cedimenti del terreno di fondazione.

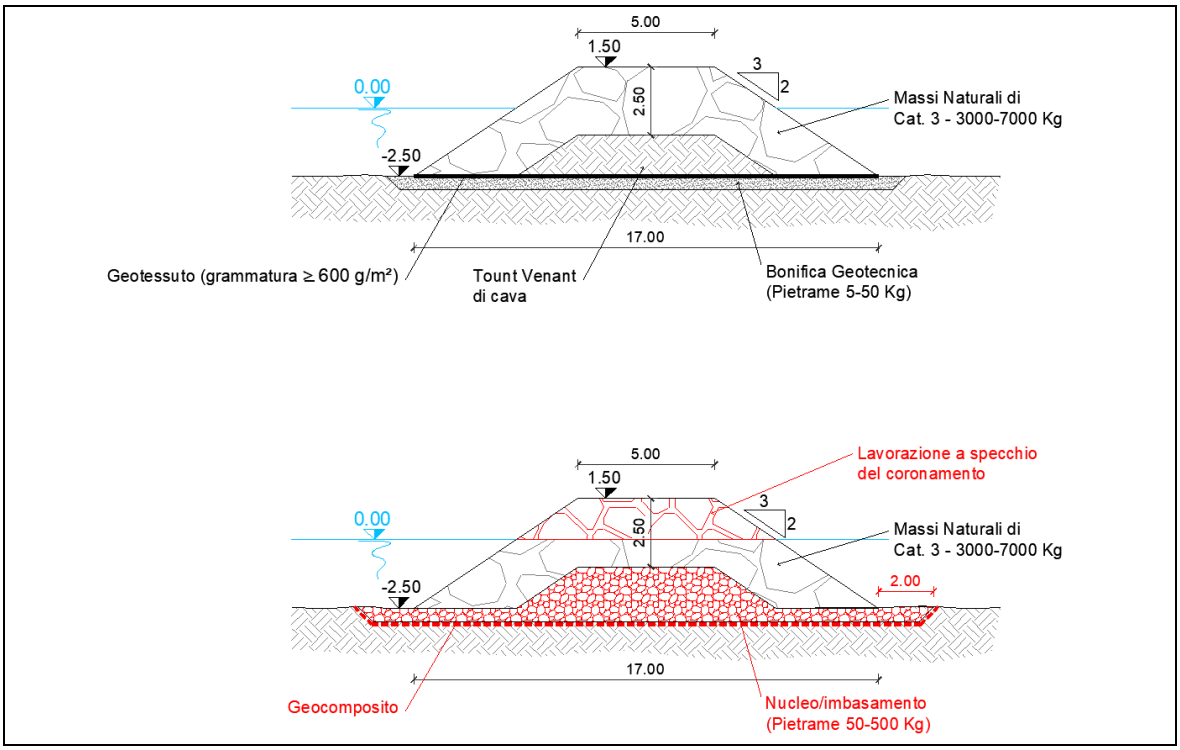


Fig. 6.3 – Sezioni del pennello- a confronto PD 2015 (in alto) e proposte migliorative (in basso in rosso)