COMUNE DI SANREMO
PROVINCIA DI IMPERIA

"LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA
DI PROTEZIONE COSTIERA, ABBASSAMENTO TERRAPIENO E AMPLIAMENTO PIAZZALE
ESISTENTE IN PROSSIMITA' DEI CANTIERI
DEL MEDITERRANEO IN LOCALITA' CAPO VERDE
NEL COMUNE DI SANREMO"

CC. SR - Foglio 48 - Mappali 888,923,1362,1120,1359,1359, 1519,1862,1865

PROGETTO OPERE MARITTIME

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO OPERE MARITTIME

IL PROGETTISTA OPERE MARITTIME

Dott. Ing. Giovanni SPISSU
Via Puggia, 23b
16131 - Genova (GE)
Tel: 338/4404125
E-mail: info@ingspissu.net

DocuSigned by:
Giovanni Spissu
INGEGNERE

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
Dott. Ing. GIOVANNI SPISSU N. 7105

COMMITTENTE

CANTIERI DEL MEDITERRANEO s.r.l.
Corso Mazzini - Foce Armea
18038 - Sanremo (IM)

DATA	SCALE	REDATTO DA	REVISIONE	TAV.
LUGLIO 2026	VARIE		01	REOM

LAVORI DI MANUTENZIONE ORDINARIA RELATIVI ALLA PROTEZIONE DELLA STRADA DI ACCESSO MEZZI DI EMERGENZA IN PROSSIMITA' DEI CANTIERI DEL MEDITERRANEO IN LOCALITA' CAPO VERDE NEL COMUNE DI SANREMO

(PROVINCIA DI IMPERIA)

Progetto esecutivo

RELAZIONE N°1: Relazione tecnica illustrativa idraulico-marittima

Indice

0. Premesse

1. Studio meteomarino 9

2. Soluzione progettuale.....19

3. Alerts.....38

4. Conclusioni.....39

0.Premesse

0.1. Considerazioni generali

Il presente lavoro è volto all'implementazione degli studi su modello, per lo stato attuale e per lo stato di progetto, relativi alle opere di difesa della strada privata di accesso all'Azienda Cantieri del Mediterraneo sita lungo il promontorio di Capo Verde.

La presente relazione tratta i seguenti argomenti:

a. **Paragrafo 0: Premesse.** Il paragrafo inquadra il paraggio dal punto di vista geografico, meteomarino ed illustra le risultanze delle indagini preliminari in situ;

b. **Paragrafo 1, comprendente:**

   - **studio per la determinazione delle condizioni meteomarine su acqua alta.** Lo studio rielabora le statistiche del moto ondoso disponibili al fine di determinare le altezze d'onda spettrali su profondità infinita;
   - **studio per la determinazione delle condizioni meteomarine in corrispondenza degli interventi di progetto.** Lo studio determina le condizioni meteomarine in corrispondenza degli interventi di progetto, ed è propedeutico al dimensionamento degli stessi

c. **Paragrafo 2: Calcoli esecutivi idraulico-marittimi dello stato di progetto.** Esso illustra i calcoli esecutivi idraulico-marittimi, propedeutici per il dimensionamento delle opere di difesa in progetto;

d. Paragrafo 3: Alerts. Il paragrafo illustra le indeterminazioni legate all'intervento in progetto;

e. Paragrafo 4: Conclusioni.

La figura seguente illustra il sito oggetto di intervento (foto aera tratta da google):

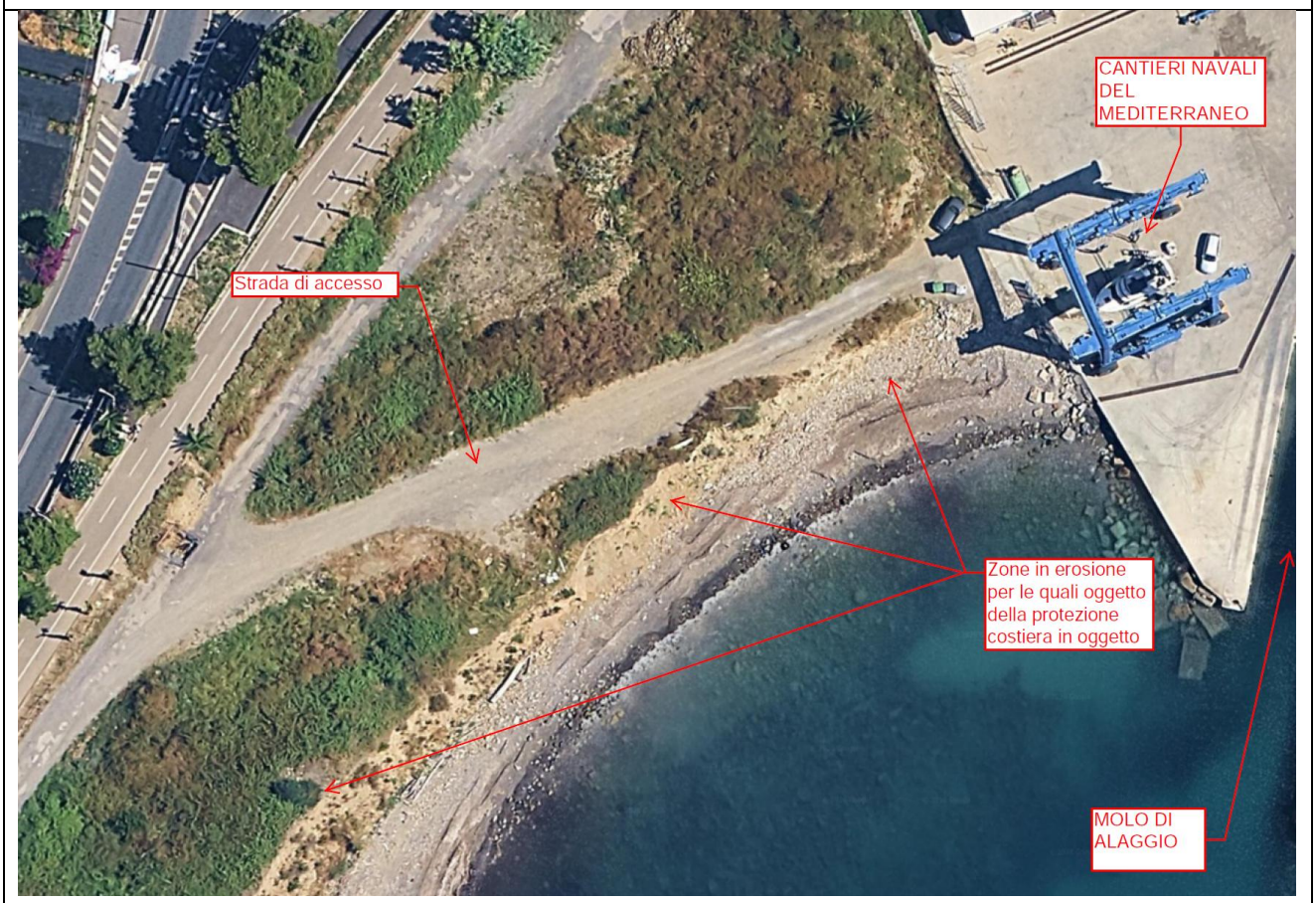
FIGURA N°1: localizzazione del sito



L'opera comporta la realizzazione degli interventi di protezione dal moto ondoso della strada di accesso al cantiere suddetto.

La figura seguente illustra la zona oggetto di intervento di protezione costiera dagli eventi ondosi (foto tratta da google):

FIGURA N°2: localizzazione del sito: strada di accesso al cantiere

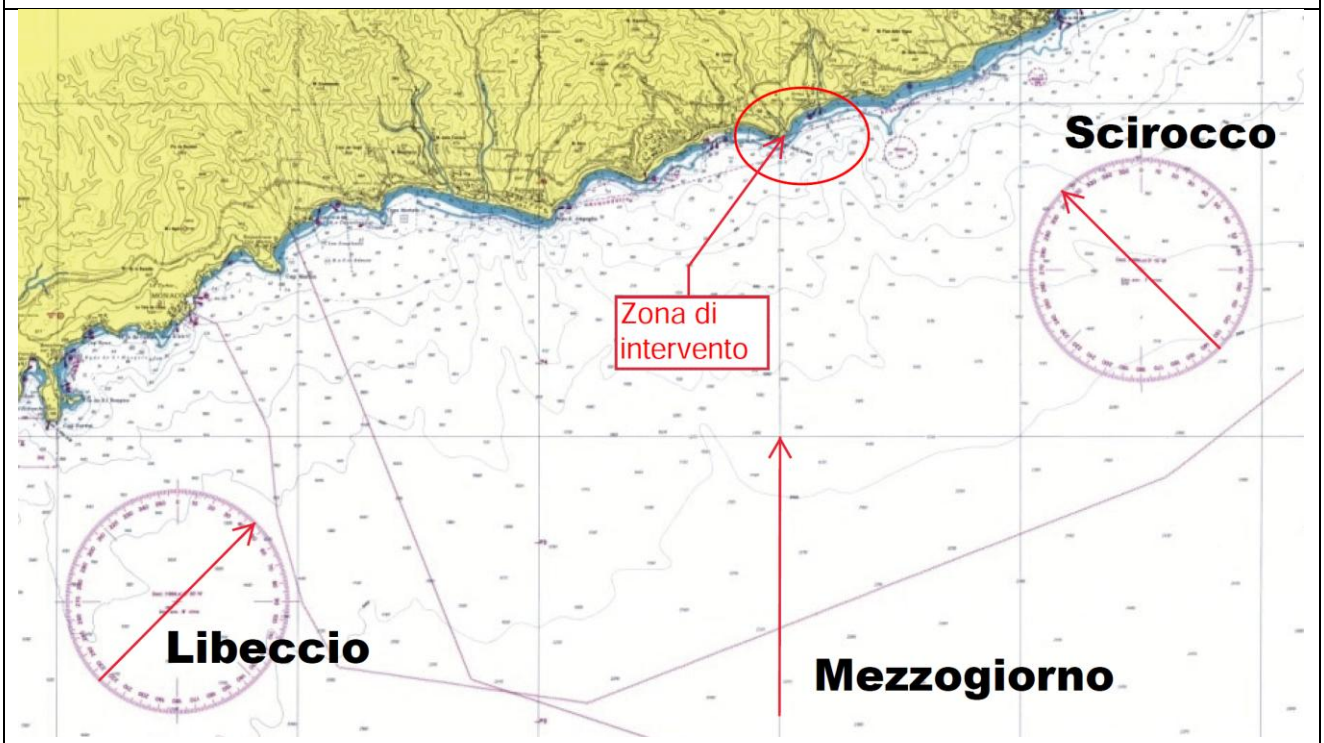


Le zone con maggiore erosione, sono quelle situate in fondo alla strada di accesso, ed al confine con i cantieri navali del mediterraneo. Si noti l'erosione causata degli eventi meteomarini, maggiormente pronunciata in corrispondenza del molto di alaggio.

0.2. Inquadramento geografico

La figura seguente mostra la cartografia generale con indicazione del paraggio in esame:

FIGURA N°3: cartografia generale



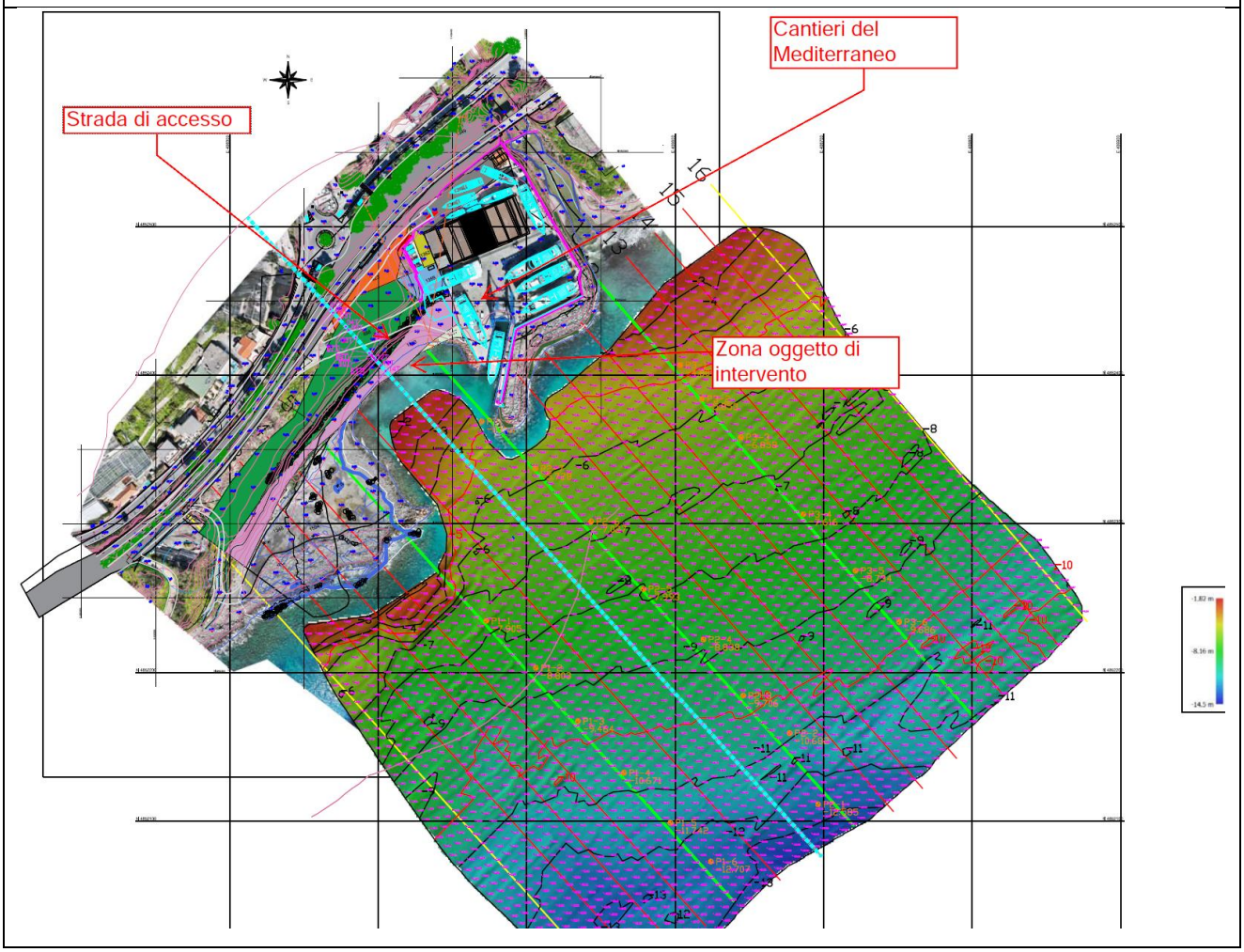
Il sito in oggetto si trova in corrispondenza del litorale di Capo Verde.

La figura seguente mostra la localizzazione geografica del sito:

FIGURA N°4: localizzazione geografica del sito



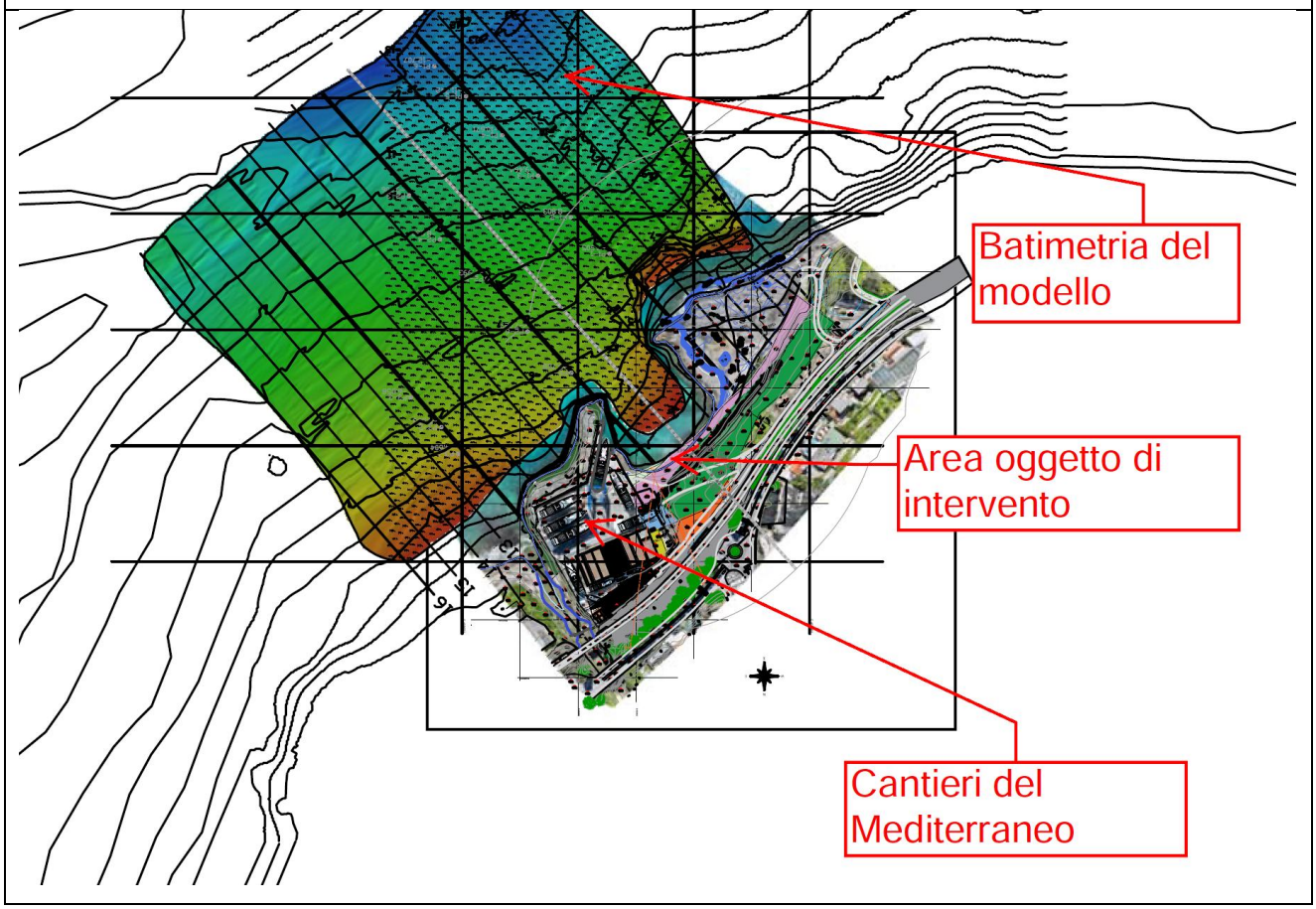
FIGURA N°5: batimetria



La figura sopra indicata mostra la batimetria del paraggio con le indicazioni delle curve di livello e l'area in oggetto di intervento.

La figura seguente mostra il particolare del rilievo batimetrico utilizzato dal modello morfodinamico tridimensionale dell'area di intervento:

FIGURA N°6: area di intervento



Nella zona evidenziata di intervento. si prevede la difesa della strada di accesso ai cantieri navali del Mediterraneo, da realizzarsi mediante scogliera emersa in massi naturali.

1. Studio meteomarino

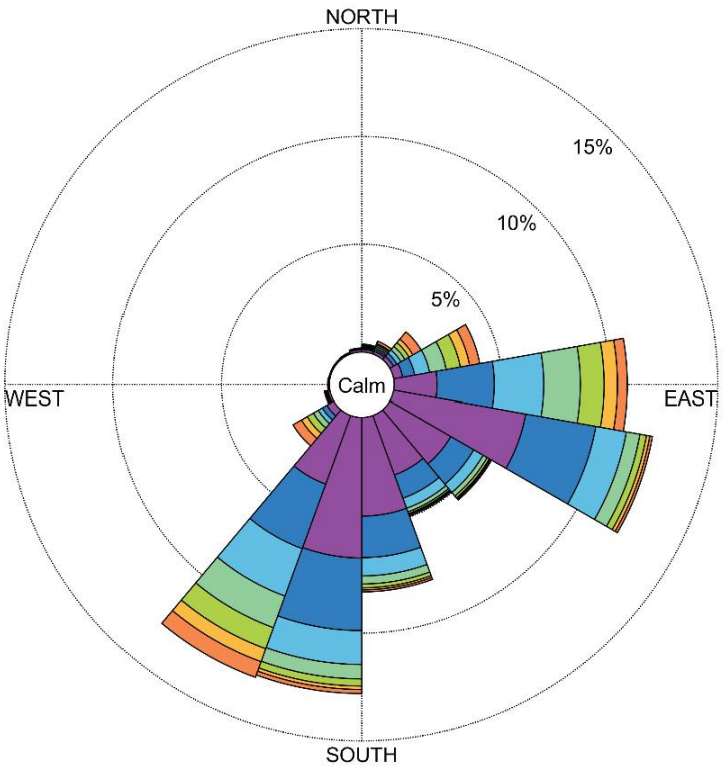
1.1 Considerazioni preliminari

Il paraggio in esame è esposto alle seguenti traversie:

- traversia principale di Libeccio: direzione media di provenienza pari a 240°N;
- traversia secondaria di mezzogiorno: direzione media di provenienza pari a 180°N;
- traversia secondaria di scirocco: direzione media di provenienza pari a 160°N;

Di seguito si mostra la rosa dei mari:

FIGURA N°7: traversie di riferimento



Le fonti ufficiali dei dati meteomarini sono state prelevate dallo studio pubblicato dalla Regione Liguria nel 2014 e riferito al paraggio compreso tra Capo Mele al Confine Francese, qui di seguito riportato:

FIGURA N°8: dati onde al largo

ZONA 4 DA CAPO MELE AL CONFINE FRANCESE
Settori di provenienza: grecale (al largo), levante, scirocco, mezzogiorno, libeccio

dir °N	TR (anni)					
	1		50		100	
	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)
45	2.6	6.9	4.9	9.4	5.2	9.7
90	1.6	5.4	3.1	7.6	3.4	7.8
135	1.1	4.4	2.9	7.2	3.1	7.5
180	1.2	4.6	3.1	7.5	3.4	7.9
225	3.8	8.3	6.7	11.0	7.2	11.4

Tabella 6: valori di altezza d'onda, periodo e direzione, associati ai diversi periodi di ritorno, derivati dallo studio UNIGE DICAT.

1.2. Periodo di ritorno dell'onda di Progetto

Con riferimento agli interventi di difesa dal moto ondoso degli edifici, Il periodo di ritorno dell'onda di progetto viene definito in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996). Il periodo di ritorno dipende dalla vita tecnica dell'opera e dalla massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera. La durata minima di vita per le opere si definita con la tabella seguente:

FIGURA N°9: Vita dell'opera

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Imponendo il livello di sicurezza 1, per l'infrastruttura di uso specifico, la vita di progetto dell'opera risulta pari a 15 anni.

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili od industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non sia chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera.

Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc..

Il livello di sicurezza 1, scelto per la presente opera, si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.).

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (come le dighe a scogliera in sopraflutto), si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Per la strada in oggetto si assume un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica bassa, come mostrato nella figura seguente

FIGURA N°10: Rischio

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Il coefficiente risulta pari a 0.5

La combinazione del tempo di vita dell'opera Tv (15 anni), del livello di rischio (limitato) e della probabilità di danneggiamento Pf (50%) (Ripercussione economica bassa), determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto Trp:

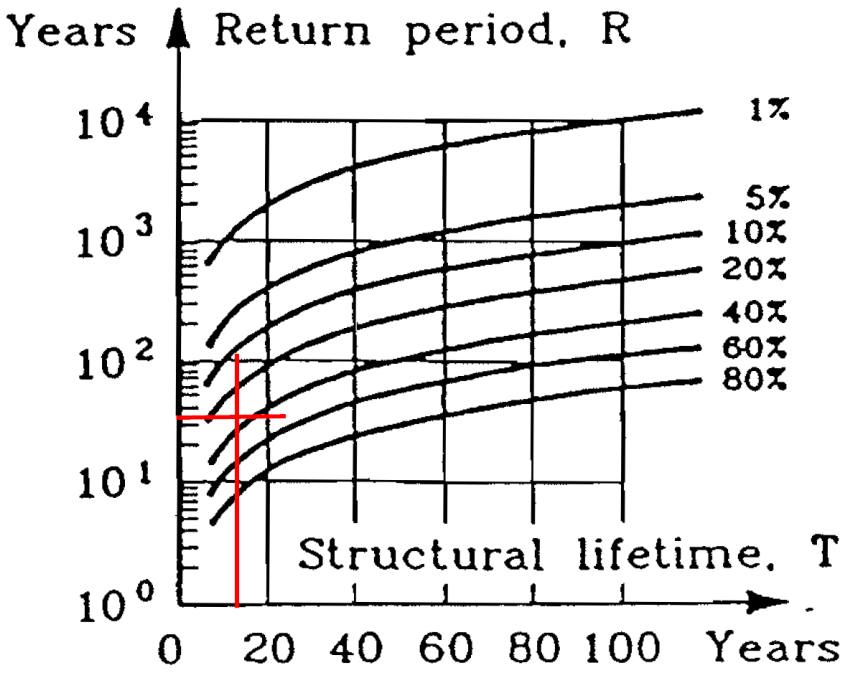
$$\mathbf{Trp = Tv/[-ln\ (1-Pf)]}$$

Sulla base delle impostazioni sopra indicate il tempo di ritorno dell'evento di progetto, viene assunto a base della progettazione pari a:

- **25 anni** per una probabilità di danneggiamento Pf pari al 50%;

La figura seguente mostra il diagramma del tempo di ritorno dell'evento di progetto:

FIGURA N°11: diagramma tempo di ritorno dell'evento di progetto



Note : P, Encouter probability

$$P = 1 - (1 - \frac{1}{R})^{T}$$

Trp è il periodo di ritorno corrispondente a una probabilità Pf che l'altezza d'onda di progetto venga superata durante il la durata dell'opera Tv (pari a 15 anni).

1.3. Stato del mare su profondità infinita

Sulla base delle statistiche di riferimento di cui al paragrafo 1.0 si illustrano di seguito i dati di altezza d'onda utilizzati per il dimensionamento delle opere foranee in progetto:

Modello dello spettro di energia

Stati del mare eventi estremi – Profondità infinita

Direzione W - SW [205°N]			**Direzione E - SE** [135° N]		
T_R (y)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	Periodo Ritorno	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)
1/25 anni	6,1	10,5	1/25 anni	2,5	6,8
1/50 anni	6,7	11,0	1/50 anni	2,9	7,2

Le direzioni medie di avanzamento delle onde di progetto sono state scelte come di seguito indicato:

- In via cautelativa, osservando le mareggiate da libeccio che si abbattono nel paraggio in oggetto, si è scelto di considerare una direzione media di avanzamento pari a 194°N della traversia di libeccio compresa tra 213°N e 174°N, che di fatto rappresenta la direzione media di avanzamento delle onde degli stati di mare compresi nella traversia principale da Libeccio;

- Per la traversia di Scirocco si è scelto di utilizzare una direzione media di avanzamento pari a 45°N-

Per completezza vengono indicati anche gli stati del mare con periodo di ritorno pari a 50 anni.

Di seguito si mostra la tabella di riferimento, ove sono raccolti gli stati del mare riferiti ad eventi frequenti sulla profondità infinita:

Modello dello spettro di energia
Stati del mare eventi frequenti – Profondità infinita

Periodo di ritorno	**Traversia di Libeccio** [Dir. Media 225°N]		**Traversia di Mezzogiorno** [Dir. Media 180°N]		**Traversia di Scirocco** [Dir. Media 135°N]	
T_R (y)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)
1/1 anni	3.8	8.3	1.2	4.6	1.1	4.4
1/5 anni	5.0	9.5	2.0	6.0	1.9	5.9
1/10 anni	5.5	10.0	2.3	6.5	2.2	6.3

1.4. Stato del mare in corrispondenza della strada in oggetto – Configurazione di stato attuale

1.4.1. Cenni Teorici

Lo spettro in frequenza su profondità infinita è assunto della forma JONSWAP medio:

$$S_{j_o}(f) = S_{PH_o}(f) * \Phi_{PM_o}(f, f_{p_o}) * \Phi_{j_o}(f, f_{p_o}, \gamma_o, \omega_o)$$

ove:

- $S_{PH_o}(f) = (\alpha_o / 2) * g^2 * (2\pi)^{-4} * f^{-5}$ è lo spettro in frequenza di Philips;
- $\Phi_{PM_o}(f, f_{p_o}) = \exp\{-1.25 * (f / f_{p_o})^{-4}\}$ è la funzione di forma di Pierson & Moskowitz;
- $\Phi_{j_o}(f, f_{p_o}, \gamma_o, \omega_o) = \exp\left\{\ln \gamma_o \exp\left[-0.5\left(f / f_{p_o} - 1\right)^2 / \omega_o{}^2\right]\right\}$ è la funzione di forma di Hasselmann;

Le relazioni impiegate per la determinazione dei parametri spettrali sono le seguenti:

1. frequenza di picco: $f_{p_o} = 3.5 \cdot \overline{x}^{-0.33} g / U_o$;

2. parametro di equilibrio: $\alpha_o = 0.076 \cdot \overline{x}^{-0.22}$;
3. fattore di amplificazione dello spettro $\gamma_o = 3.3$;
4. parametro di larghezza del picco $\omega_o = 0.07 \text{ per } f \le f_{p_o}$ $\omega_o = 0.09 \text{ per } f \ge f_{p_o}$;

Impiegando i parametri spettrali stimati, si costruisce lo spettro d'onda sulla profondità infinita. Integrando lo spettro si determina, per ognuna delle due direzioni di traversia, il momento di ordine "0" dello spettro e l'altezza d'onda spettrale corrispondente.

Lo studio della propagazione spettrale dello stato del mare, dalla profondità infinita all'opera portuale, si effettua considerando i seguenti effetti:

- Shoaling, rifrazione per effetto della variazione batimetrica dei fondali;
- effetti di dissipativi di saturazione dello spettro e di frangimento;

I risultati ottenuti sono riportati nei punti seguenti.

1.4.2. Risalita dell'onda in corrispondenza della battigia nella configurazione di stato attuale

Si prendono in considerazioni le mareggiate più intense provenienti dalla traversia di Libeccio, e si considera un periodo di ritorno pari a 25 anni. La tabella seguente mostra lo stato del mare in corrispondenza del paraggio in esame, per diverse profondità:

Modello dello spettro di energia

Stato del mare Tr 25 anni – Profondità finita – H_{inf}=6,1 m– H_{picco}=10,5 s

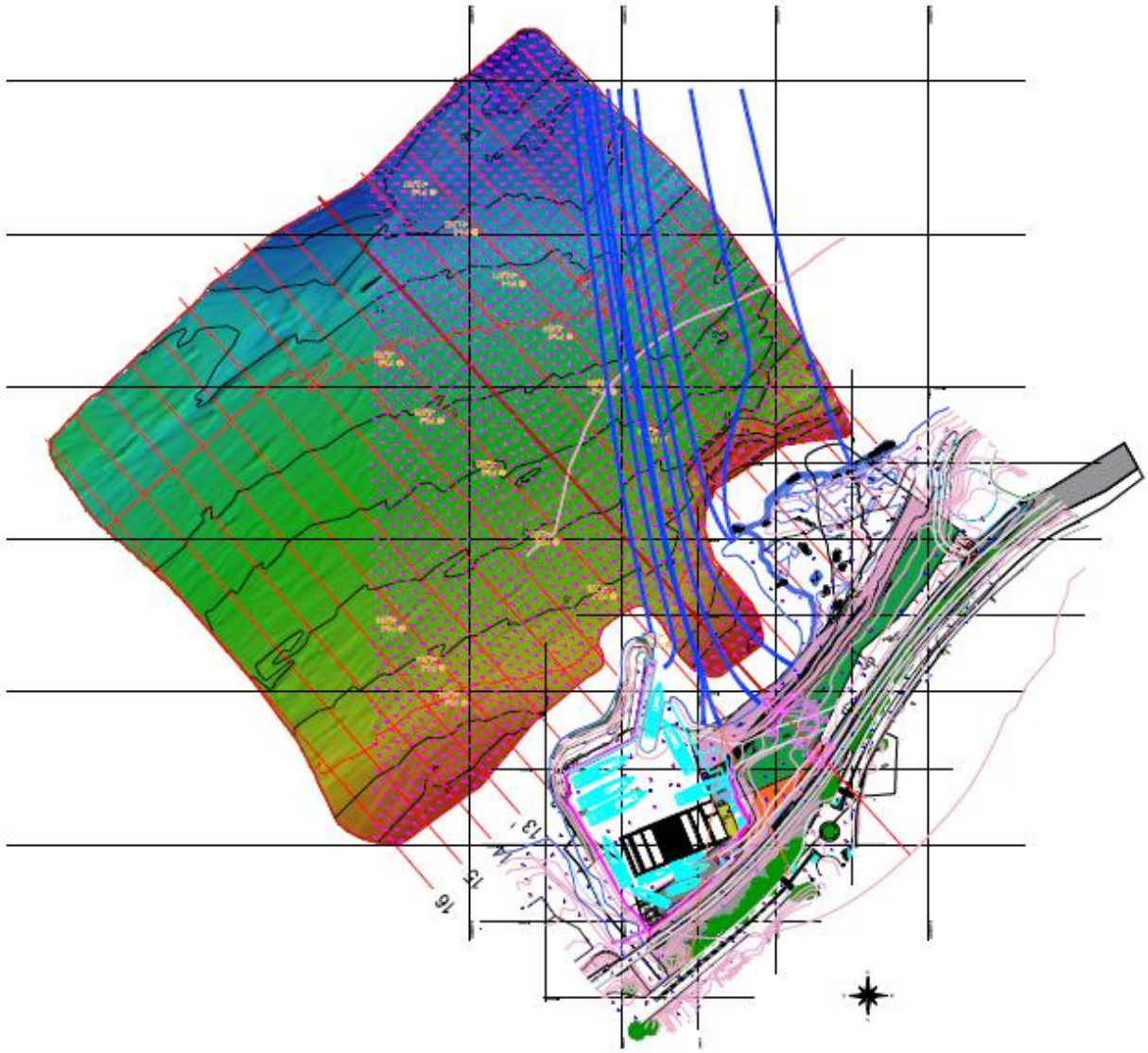
Direzione W - SW
[195°N]

Profondità (m)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	ϕ_{mo} (m)	L_{mo} (m)	Note
1.0	0.8	10.5	188	33	Onda frangente
1.5	1.2	10.5	190	41	Onda frangente
2.0	1.6	10.5	192	46	Onda frangente

Le tavole allegate al presente studio, mostrano per completezza, anche le ortogonali d'onda provenienti dalla traversia di Scirocco.

La figura seguente mostra le ortogonali d'onda incidenti da Libeccio sulla spiaggia in esame:

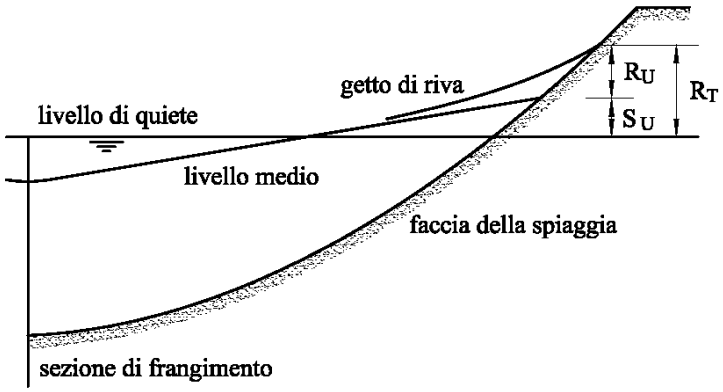
FIGURA N°12: ortogonali d'onda



Le ortogonali d'onda, nella parte terminale della propagazione dal largo a riva, tendono a disporsi perpendicolari alla linea di riva per effetto della rifrazione che il moto ondoso subisce dal largo a riva.

La figura seguente mostra in dettaglio lo schema di calcolo per la determinazione delle condizioni meteomarine sulla spiaggia di fronte agli insediamenti in oggetto:

FIGURA N°13: schema di calcolo



Si noti che quando l'onda perviene alle condizioni di frangimento incipiente, si riscontrano gli effetti della risacca determinata dalla sopraelevazione del livello medio del mare dovuta all'azione delle onde (setup) e dalle fluttuazioni del livello medio (swash).

Per la determinazione della risalita totale dell'onda sulla spiaggia, in corrispondenza della battigia (getto di riva) si è agito considerando la formulazione proposta da Van Der Meer (1992):

$$R_T=Ru_{2\%} = 1{,}6 \times H_s \times \gamma \times \zeta_p = 1.25 \text{ m circa (con un massimo di } 3.2 \times \gamma = 3 \text{ m)}$$

Si considerino i seguenti parametri di input:

H_s = 4,1 m pari all'altezza d'onda significativa in corrispondenza della sezione di frangimento (profondità pari a 5,5 m);

γ = coefficiente riduttivo pari ad 1 (assunto a favore della sicurezza);

ζ_p = 0,19 circa pari al numero di Iribarren pari al rapporto tra la pendenza media della spiaggia sommersa (pari a circa il 2.8%) e la ripidità d'onda. La pendenza è stata valutata nel tratto di costa sommerso (compreso tra la batimetrica a +10 s.m.m. e la battigia), dai rilievi a disposizione.

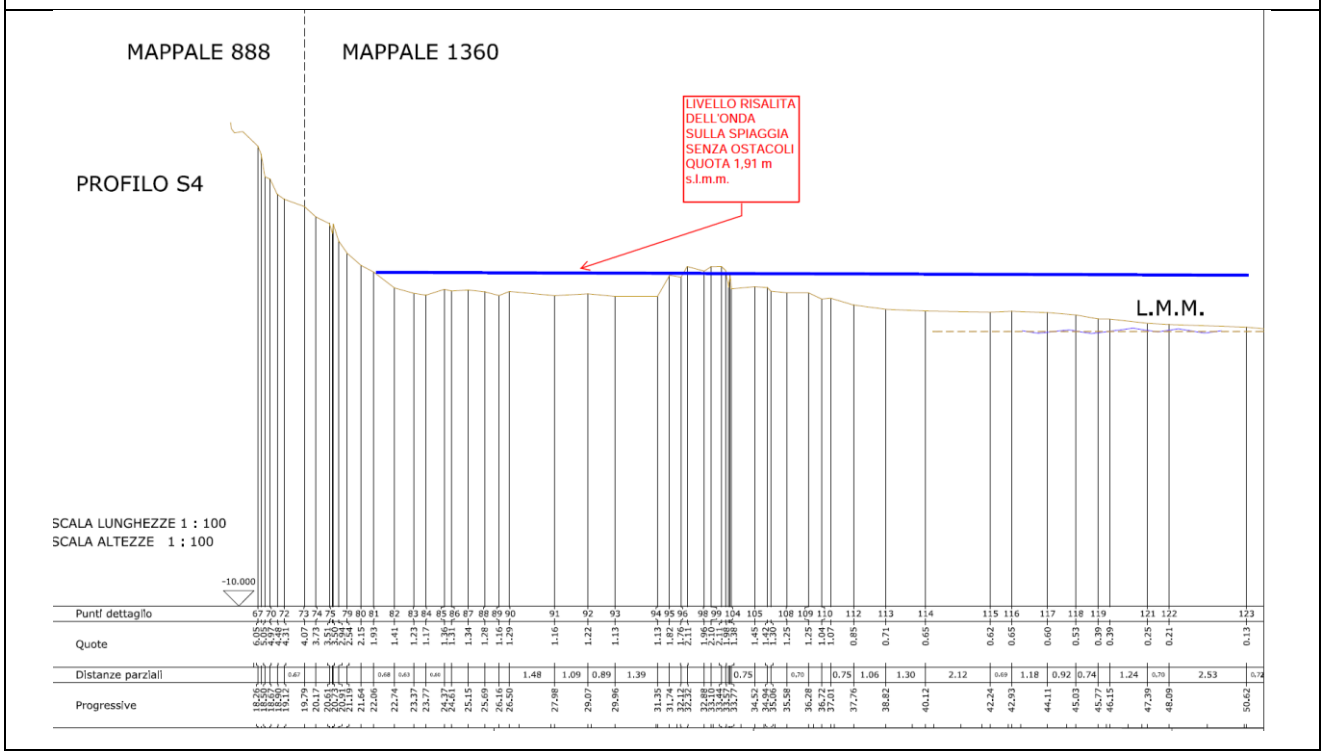
Al valore di R_T (pari ad 1,25 m) si aggiunge la sopraelevazione dovuta alla marea astronomica e valutata pari a 65 cm (valore assunto per un periodo di ritorno pari a 25 anni e tenendo conto

dell'innalzamento progressivo del livello marino osservato negli ultimi anni) e si perviene ad un valore complessivo di 1.25+0.65=1,9 m circa.

In tali condizioni, supponendo ipoteticamente che la spiaggia fosse libera da ostacoli (ed avesse pendenza uniforme pari al 2,8%), la fascia dinamica attiva della spiaggia sarebbe pari a circa 30 m in base alla conformazione della spiaggia.

La figura seguente mostra uno schema dei risultati del calcolo ipotetico, effettuato in corrispondenza della sezione S4, senza la difesa in progetto prospiciente il mare, si noti il livello della risalita dell'onda sulla spiaggia pari a circa 1,9 m:

FIGURA N°14: Run-Up sulla riva



Lo schema sopra riferito si riferisce alla sezione 04 che risulta rappresentativa dello stato attuale.

Si noti che la risalita dell'onda si manifesta per gran parte della spiaggia emersa, ed interessa la scarpata a valle dell'attuale strada di accesso ai cantieri, provocandone l'erosione.

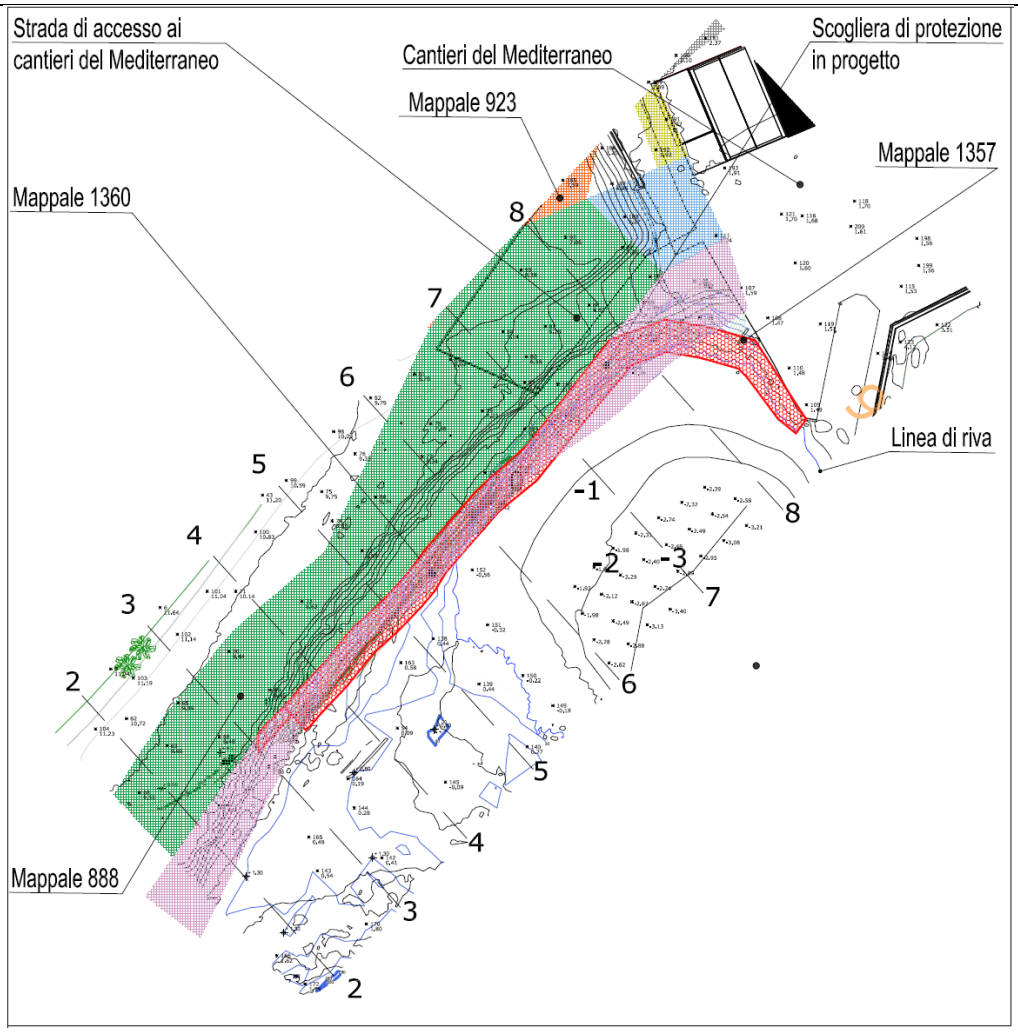
Per tale motivo il progetto prevede la protezione da tali eventi, mediante la realizzazione di una scogliera in massi naturali (come indicato nei paragrafi seguenti).

2. Soluzione progettuale

2.1 Considerazioni preliminari

Di seguito si illustra la soluzione che prevede una mantellata in massi naturali, sulla spiaggia emersa, con sommità +2.7 m s.l.m.m. e con pendenza delle scarpate pari ad 1:2.5, a protezione della strada di accesso ai cantieri navali:

FIGURA N°15: planimetria di progetto



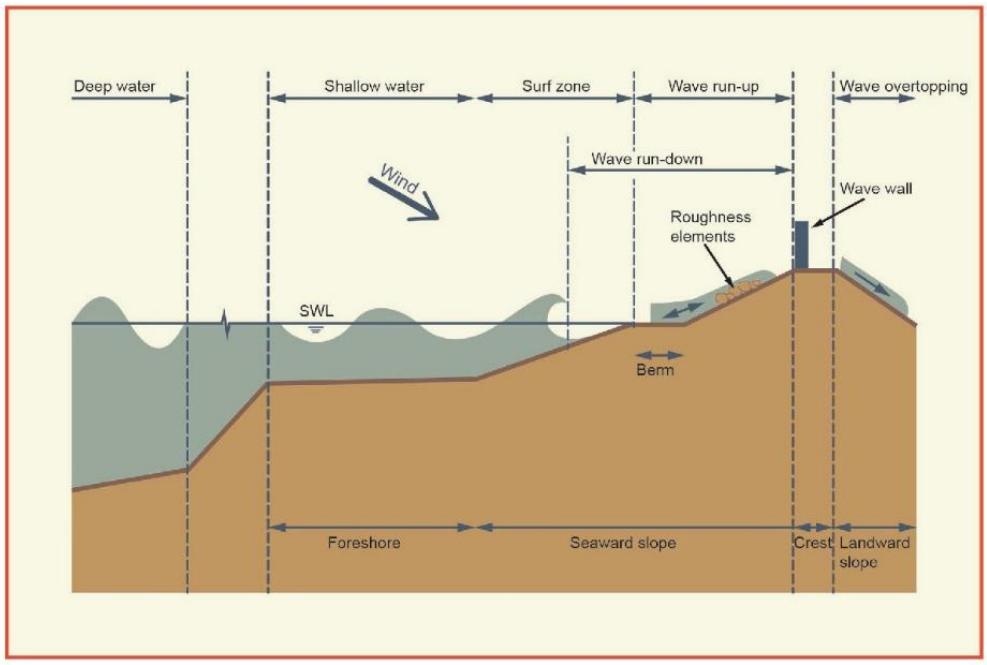
La figura sopra indica la scogliera in progetto (in rosso). I paragrafi seguenti, illustrano le verifiche di calcolo per le sezioni di progetto interessate dall'intervento (dalla 4 alla 8).

2.2 Verifica della tracimazione delle sezioni di progetto

2.2.0. Considerazioni generalo

Di seguito si illustra la formulazione impiegata per la verifica della tracimazione delle sezioni di progetto. Si utilizza lo schema proposto da Eurotop 2018:

FIGURA N°16: risultato stato attuale



$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.026}{\sqrt{\tan\alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp\left[-\left(2.5 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right)^{1.3} \right] \qquad 8.27$$

with a maximum of: $$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.1035 \exp\left[-\left(1.35 \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma^*} \right)^{1.3} \right] \qquad 8.28$$

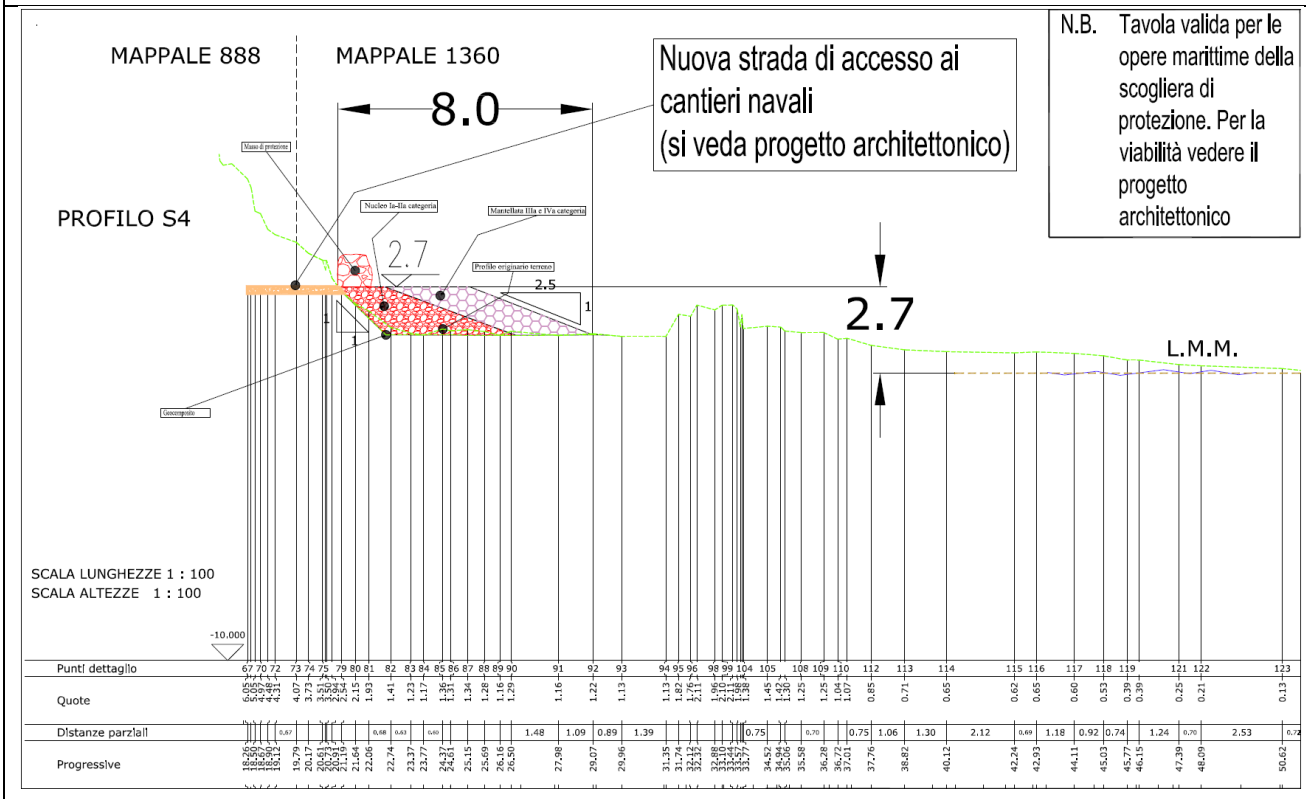
Le figure sopra mostrano lo schema grafico di calcolo e le formulazioni impiegate.

Si è tenuto conto che la sopraelevazione dovuta alla marea astronomica si valuta pari a 65 cm (valore assunto per un periodo di ritorno pari a 25 anni e tenendo conto dell'innalzamento progressivo del livello marino osservato negli ultimi anni).

2.2.1. Sezione 04

La sezione 04 si illustra di seguito:

FIGURA N°17: Sezione S4



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m], calcolato considerando la sopraelevazione del livello medio del mare;
b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m (altezza significativa massima imposta a favore della sicurezza non tenendo conto della riduzione provocata da Capo Verde);
c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;
d. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;
e. q= portata di tracimazione [l/s/m]

f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;

g. Tan α= pendenza mantellata;

h. γ_b = parametro di influenza della berma posto pari ad 1;

i. γ_f = parametro di influenza della scabrosità posto pari ad 0.7 (a favore della sicurezza);

j. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga posto pari ad 1 (a favore della sicurezza);

k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro posto pari a d 1;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per il periodo di ritorno di progetto, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs	Ru2%	Q	POW	V
	(m)	(m)	(l/s/m)	(%)	(l/m)
Sezione 04	0,8	**1,85**	**<0.1**	**1**	**< 1**

I simboli indicati in tabella sono:

- Hs = altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2% = run-up come sopraindicato;
- Q = portata di tracimazione;
- V = volume di tracimazione;
- POW=percentuale di onde che tracimano oltre il muro di difesa.

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione di progetto, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°18: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione

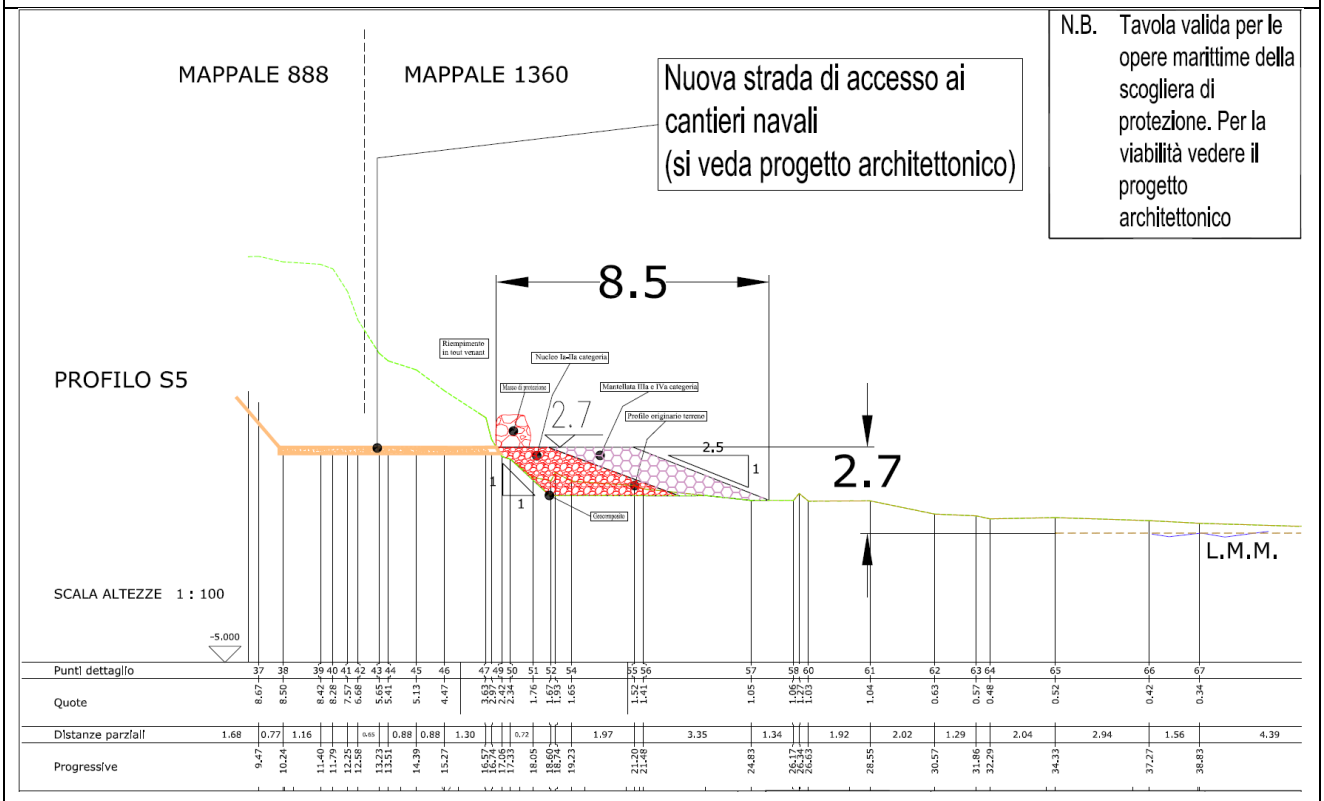
Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H_{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H_{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Nello stato di progetto le strutture sono sollecitate da un moto ondoso con altezza d'onda compresa tra 1 e 3 m, e la portata di tracimazione risulta ben al di sotto il limite raccomandato pari ad 1 l/s.
Si noti, inoltre che la sezione di difesa è stata completata in sommità con un masso di protezione (posto al di sopra della quota di progetto pari a 2,7 m), al fine di proteggere maggiormente la scarpata da eventuali onde random facenti parte della mareggiata di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni).

2.2.2. Sezione 05

La sezione 05 si illustra di seguito:

FIGURA N°19: Sezione S5



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m], calcolato considerando la sopraelevazione del livello medio del mare;
b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m (altezza significativa massima imposta a favore della sicurezza non tenendo conto della riduzione provocata da Capo Verde);
c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;
d. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;
e. q= portata di tracimazione [l/s/m]

f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;

g. Tan α= pendenza mantellata;

h. γ_b = parametro di influenza della berma posto pari ad 1;

i. γ_f = parametro di influenza della scabrosità posto pari ad 0.7 (a favore della sicurezza);

j. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga posto pari ad 1 (a favore della sicurezza);

k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro posto pari a d 1;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per il periodo di ritorno di progetto, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs	Ru2%	Q	POW	V
	(m)	(m)	(l/s/m)	(%)	(l/m)
Sezione 04	0,8	**1,85**	**<0.1**	**1**	**< 1**

I simboli indicati in tabella sono:

- Hs = altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2% = run-up come sopraindicato;
- Q = portata di tracimazione;
- V = volume di tracimazione;
- POW=percentuale di onde che tracimano oltre il muro di difesa.

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione di progetto, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°20: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H_{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H_{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

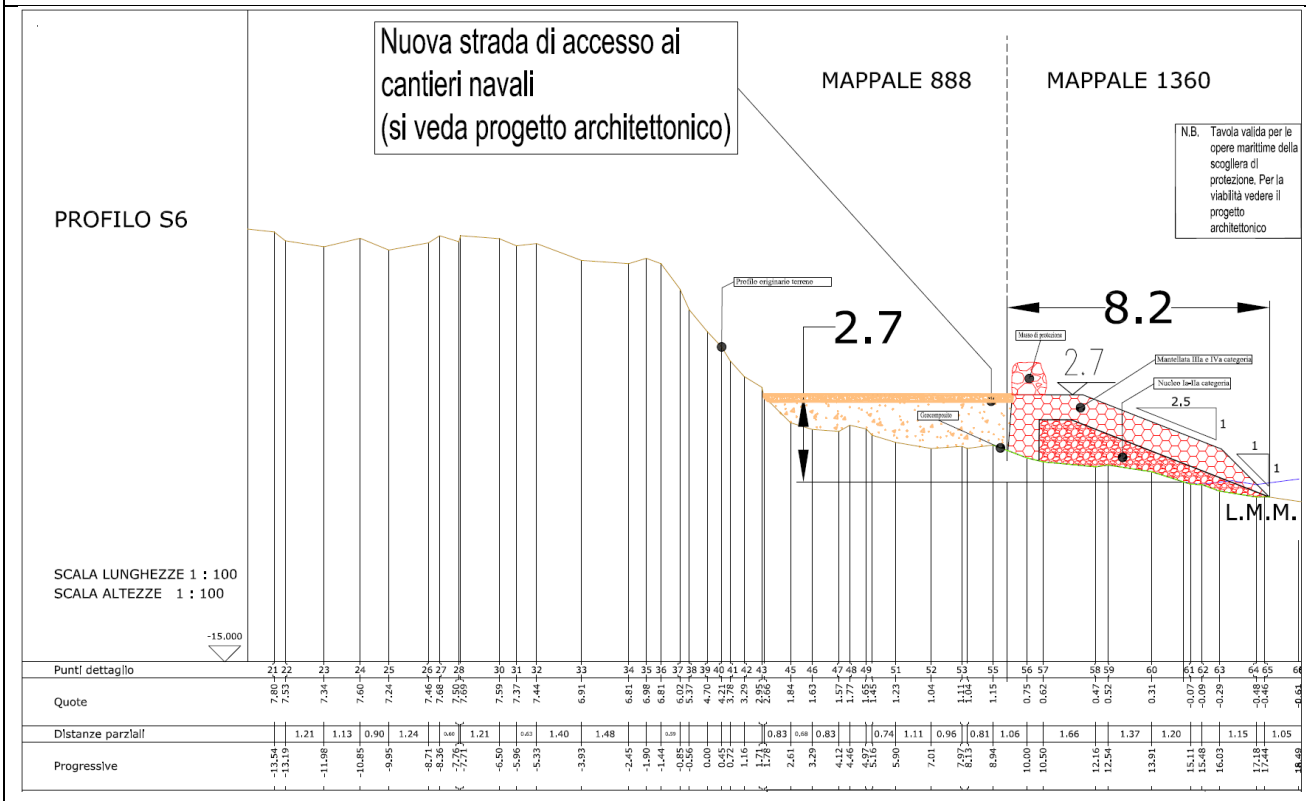
Nello stato di progetto le strutture sono sollecitate da un moto ondoso con altezza d'onda compresa tra 1 e 3 m, e la portata di tracimazione risulta ben al di sotto il limite raccomandato pari ad 1 l/s.

Si noti, inoltre che la sezione di difesa è stata completata in sommità con un masso di protezione (posto al di sopra della quota di progetto pari a 2,7 m), al fine di proteggere maggiormente la scarpata da eventuali onde random facenti parte della mareggiata di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni).

2.2.3. Sezione 06

La sezione 06 si illustra di seguito:

FIGURA N°21: Sezione S6



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m], calcolato considerando la sopraelevazione del livello medio del mare;
b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m (altezza significativa massima imposta a favore della sicurezza non tenendo conto della riduzione provocata da Capo Verde);
c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;
d. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;
e. q= portata di tracimazione [l/s/m]

f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;

g. Tan α= pendenza mantellata;

h. γ_b = parametro di influenza della berma posto pari ad 1;

i. γ_f = parametro di influenza della scabrosità posto pari ad 0.7 (a favore della sicurezza);

j. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga posto pari ad 1 (a favore della sicurezza);

k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro posto pari a d 1;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per il periodo di ritorno di progetto, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs	Ru2%	Q	POW	V
	(m)	(m)	(l/s/m)	(%)	(l/m)
Sezione 04	0,8	**1,85**	**<0.1**	**1**	**< 1**

I simboli indicati in tabella sono:

- Hs = altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2% = run-up come sopraindicato;
- Q = portata di tracimazione;
- V = volume di tracimazione;
- POW=percentuale di onde che tracimano oltre il muro di difesa.

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione di progetto, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°22: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H_{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H_{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

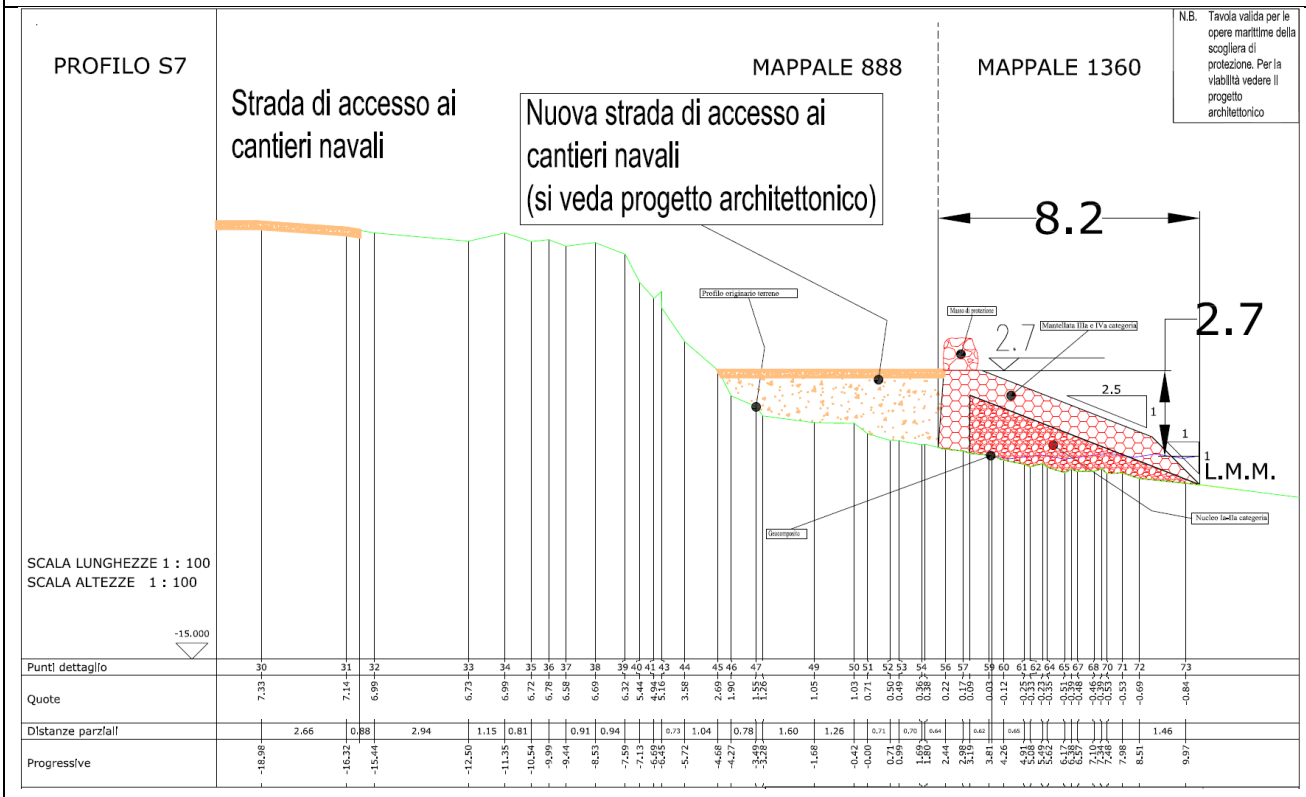
Nello stato di progetto le strutture sono sollecitate da un moto ondoso con altezza d'onda compresa tra 1 e 3 m, e la portata di tracimazione risulta ben al di sotto il limite raccomandato pari ad 1 l/s.

Si noti, inoltre che la sezione di difesa è stata completata in sommità con un masso di protezione (posto al di sopra della quota di progetto pari a 2,7 m), al fine di proteggere maggiormente la scarpata da eventuali onde random facenti parte della mareggiata di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni).

2.2.4. Sezione 07

La sezione 07 si illustra di seguito:

FIGURA N°23: Sezione S7



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m], calcolato considerando la sopraelevazione del livello medio del mare;

b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m;

c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;

d. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;

e. q= portata di tracimazione [l/s/m]

f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;

g. Tan α= pendenza mantellata;

h. γ_b = parametro di influenza della berma posto pari ad 1;

i. γ_f = parametro di influenza della scabrosità posto pari ad 0.7 (a favore della sicurezza);

j. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga posto pari ad 1 (a favore della sicurezza);

k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro posto pari a d 1;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per il periodo di ritorno di progetto, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs	Ru2%	Q	POW	V
	(m)	(m)	(l/s/m)	(%)	(l/m)
Sezione 04	0,8	**1,85**	**<0.1**	**1**	**< 1**

I simboli indicati in tabella sono:

- Hs = altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2% = run-up come sopraindicato;
- Q = portata di tracimazione;
- V = volume di tracimazione;
- POW=percentuale di onde che tracimano oltre il muro di difesa.

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione di progetto, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°24: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H_{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H_{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

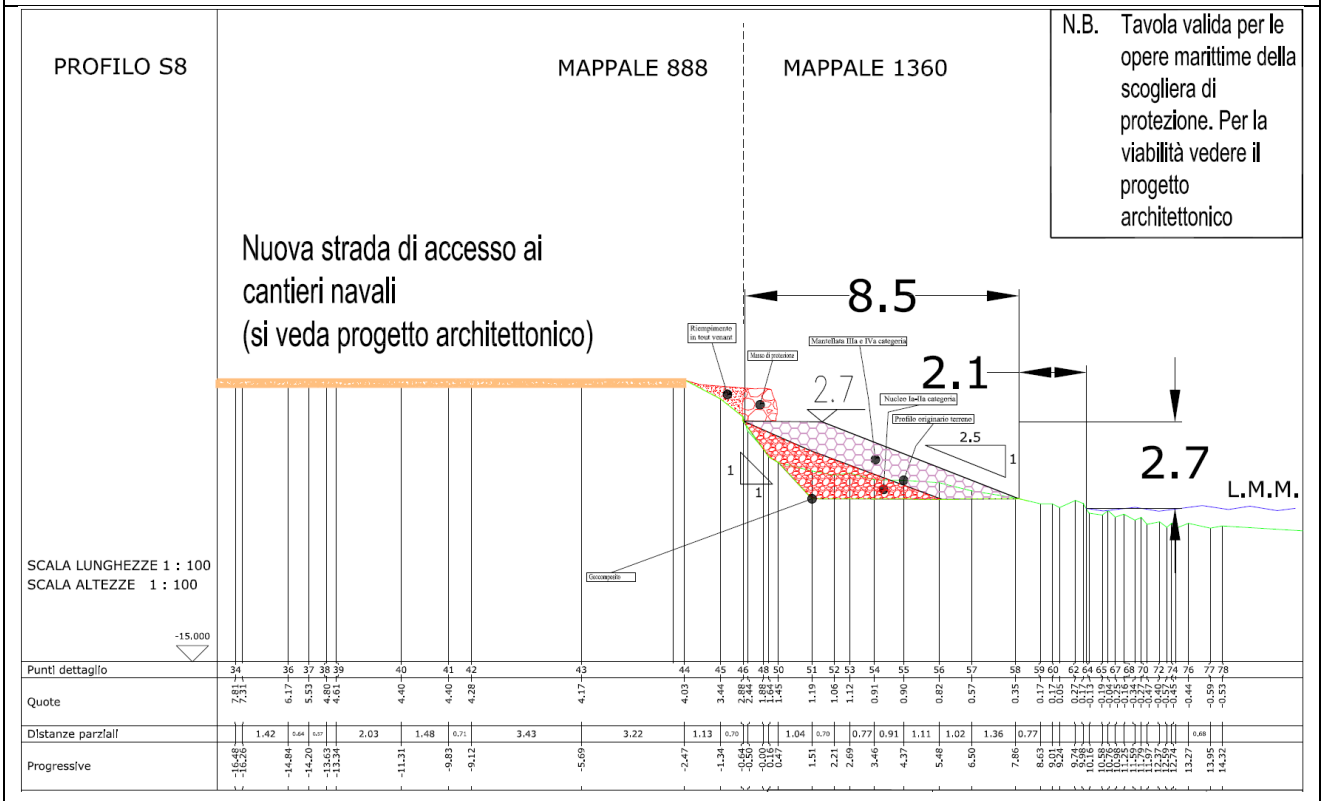
Nello stato di progetto le strutture sono sollecitate da un moto ondoso con altezza d'onda compresa tra 1 e 3 m, e la portata di tracimazione risulta ben al di sotto il limite raccomandato pari ad 1 l/s.

Si noti, inoltre che la sezione di difesa è stata completata in sommità con un masso di protezione (posto al di sopra della quota di progetto pari a 2,7 m), al fine di proteggere maggiormente la scarpata da eventuali onde random facenti parte della mareggiata di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni).

2.2.5. Sezione 08

La sezione 08 si illustra di seguito:

FIGURA N°25: Sezione S8



I parametri sopra indicati sono i seguenti:

a. $R_{u2\%}$= altezza di risalita dell'onda incidente con probabilità di superamento del 2% [m], calcolato considerando la sopraelevazione del livello medio del mare;
b. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m;
c. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;
d. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;
e. q= portata di tracimazione [l/s/m]
f. $\zeta_{m-1,0}$ = surf similarity parameter;
g. Tan α= pendenza mantellata;

h. γ_b = parametro di influenza della berma posto pari ad 1;

i. γ_f = parametro di influenza della scabrosità posto pari ad 0.7 (a favore della sicurezza);

j. γ_β = parametro di influenza dell'angolo di attacco sulla diga posto pari ad 1 (a favore della sicurezza);

k. γ^* = parametro di influenza combinato moto ondoso-massicciata-muro posto pari a d 1;

Utilizzando gli stati di mare di progetto, per il periodo di ritorno di progetto, sulla base della formulazione indicata nelle figure sopra, la portata di tracimazione e l'altezza d'onda trasmessa oltre la diga sopraflutti, risultano pari a:

Periodo ritorno	Hs	Ru2%	Q	POW	V
	(m)	(m)	(l/s/m)	(%)	(l/m)
Sezione 04	0,8	**1,85**	**<0.1**	**1**	**< 1**

I simboli indicati in tabella sono:

- Hs = altezza d'onda significativa al piede della diga frangiflutti (SEZIONE 4SP);
- Ru2% = run-up come sopraindicato;
- Q = portata di tracimazione;
- V = volume di tracimazione;
- POW=percentuale di onde che tracimano oltre il muro di difesa.

I valori di portata di tracimazione e di altezza d'onda trasmessa a tergo della diga sopraflutti, in corrispondenza della sezione di progetto, risultano compatibili con le assunzioni fatte per la determinazione dell'altezza d'onda di progetto in base al periodo di vita dell'opera.

La figura seguente mostra i livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione:

FIGURA N°26: livelli di rischio riferiti alla portata media di tracimazione

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s per m)	Max volume V_{max} (l per m)
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} > 5 m	>10	>5,000 – 30,000
Significant damage or sinking of larger yachts; H_{m0} = 3-5 m	>20	>5,000 – 30,000
Sinking small boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m Damage to larger yachts	>5	>3,000-5,000
Safe for larger yachts; H_{m0} > 5 m	<5	<5,000
Safe for smaller boats set 5-10 m from wall; H_{m0} = 3-5 m	<1	<2,000
Building structure elements; H_{m0} = 1-3 m	≤1	<1,000
Damage to equipment set back 5-10m	≤1	<1,000

Nello stato di progetto le strutture sono sollecitate da un moto ondoso con altezza d'onda compresa tra 1 e 3 m, e la portata di tracimazione risulta ben al di sotto il limite raccomandato pari ad 1 l/s.

Si noti, inoltre che la sezione di difesa è stata completata in sommità con un masso di protezione (posto al di sopra della quota di progetto pari a 2,7 m), al fine di proteggere maggiormente la scarpata da eventuali onde random facenti parte della mareggiata di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni).

2.3 Verifica della scogliera

2.3.1. Dimensionamento dei massi

Il dimensionamento dei massi della risagomatura e rifioritura in progetto, viene eseguito utilizzando le formule di Van Der Meer illustrate nella figura seguente:

FIGURA N°27: formula di Van Der Meer

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 \cdot S^{0.2} P^{0.18} N_z^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad \text{Plunging waves : } \xi_m < \xi_{mc}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 \cdot S^{0.2} P^{-0.13} N_z^{-0.1} (\cot\alpha)^{0.5} \xi_m^{P} \quad \text{Surging waves : } \xi_m > \xi_{mc}$$

$$\xi_m = s_m^{-0.5} \tan\alpha \qquad \xi_{mc} = \left(6.2\, P^{0.31} (\tan\alpha)^{0.5}\right)^{1/(P+0.5)}$$

where

H_s	Significant wave height in front of breakwater
D_{n50}	Equivalent cube length of median rock
ρ_s	Mass density of rocks
ρ_w	Mass density of water
Δ	$(\rho_s/\rho_w) - 1$
S	Relative eroded area (see Table VI-5-21 for nominal values)
P	Notional permeability (see Figure VI-5-11)
N_z	Number of waves
α	Slope angle
s_m	Wave steepness, $s_m = H_s/L_{om}$
L_{om}	Deepwater wavelength corresponding to mean wave period

Validity:

1) Equations VI-5-68 and VI-5-69 are valid for non-depth-limited waves. For depth-limited waves H_s is replaced by $H_{2\%}/1.4$.
2) For $\cot\alpha \geq 4.0$ only Eq VI-5-68 should be used.
3) $N_z \leq 7,500$ after which number equilibrium damage is more or less reached.
4) $0.1 \leq P \leq 0.6$, $0.005 \leq s_m \leq 0.06$, $2.0\ tonne/m^3 \leq \rho \leq 3.1\ tonne/m^3$
5) For the 8 tests run with depth-limited waves, breaking conditions were limited to spilling breakers which are not as damaging as plunging breakers. Therefore, Eqs VI-5-68 and VI-5-69 may not be conservative in some breaking wave conditions.

L'altezza d'onda significativa incidente sulla diga si trova in condizioni di frangimento, per tutte le sezioni considerate. Il tipo di frangimento è sempre di tipo "plunging" come individuato dalla seguente relazione basata sul parametro di Van Der Meer:

$$\xi_m = \tan\alpha / (2\,\pi\,H_s / g\,T_m^2)^{0.5} < \xi_{mc}$$

La formula utilizzata per il dimensionamento della diga è quella riferita alle "plunging waves" (la prima in alto della figura sopra).

I dati del calcolo sono i seguenti:

a. H_{m0}= altezza d'onda al piede della massicciata [m] supposta pari a circa 0.8 m (altezza significativa massima imposta a favore della sicurezza non tenendo conto della riduzione provocata da Capo Verde);
b. Rc= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 m;
c. Rc^*= altezza di cresta della struttura [m] pari a 2.7 – 0.65 = 2.05 m;
d. Indice di danneggiamento pari ad S=3
e. Porosità P=0.4
f. Numero delle onde (calcolato per una durata di 12 h)=5.500 circa
g. Pendenza della mantellata valutata con il coefficiente cotg(α)=2.5
h. Parametro di Van der Meer ξ_m = 4,4 circa
i. Parametro critico di Van der Meer ξ_{mc} = 3,3 circa

Adottando un peso specifico dei massi pari a 2400 kg/mc (a favore della sicurezza), in base a tale formulazione il diametro dei massi risulta pari a DN50=0.5 m circa, con un peso W50 pari a 0.3 t.

Tali massi risultano perfettamente compatibili con i massi di terza/quarta categoria (peso minimo 3 t) prescritti nel presente progetto per la parte esterna della scogliera.

2.3.2. Verifica della transizione mantellata/strato filtro

La verifica della transizione mantellata/strato filtro si effettua con la seguente formulazione:

D_{mf} = 1,049 t diametro minimo massi della mantellata (massi di terza categoria)

D_f = 0.577 t diametro minimo pezzatura strato filtro (massi di prima categoria)

Il rapport tra i due diametric D_m/D_f = 1.82 risulta inferiore al limite massimo raccomandato pari a 2,2 e la verifica risulta dunque soddisfatta.

3. Alerts

Di seguito si illustrano gli alerts per le varie tematiche:

a. **Ottenimento autorizzazioni:** l'intervento in progetto non interferisce con la dinamica costiera e dunque non si interpone al trasporto dei sedimenti lungo la costa, che comunque risulta piuttosto limitato.
b. **Azioni delle mareggiate sul litorale costiero interessato dall'intervento:** l'altezza d'onda significativa di calcolo, si riferisce alla media del terzo delle onde più alte nella mareggiata di progetto avente periodo di ritorno pari a 25 anni. Si consideri dunque che durante gli eventi più intesi, le onde più alte potrebbero provocare il rotolamento dei massi della mantellata, od eventuali spostamenti fuori sede degli stessi. Si fa presente dunque, la necessità di eseguire interventi periodici di manutenzione ordinaria, al fine di mantenere l'assetto delle scarpate come da progetto.

4. Conclusioni

La presente relazione illustra l'analisi del litorale situato in località "Cantieri Navali del Mediterraneo", presso Capo Verde e nel Comune di Sanremo. La modellazione dello stato attuale, mostra una riproduzione piuttosto fedele del getto di riva che si manifesta durante gli eventi meteomarini di progetto (periodo di ritorno pari a 25 anni), che comporta la risalita dell'onda per circa 30 m della zona di spiaggia prospicente la battigia. Tale aspetto, provoca l'erosione delle scarpate immediatamente a valle della strada di accesso ai suddetti Cantieri Navali. Inoltre, come anche riportato nei paragrafi precedenti, risulta possibile che durante una mareggiata di periodo d'onda pari a 25 anni, alcune onde random più alte dell'onda significativa, sommergano la strada suddetta nello stato attuale (tracimando la scarpata attuale), soprattutto nella zona di accesso ai cantieri (sezioni 7 ed 8).

Per tale motivazione, il presente progetto prevede una scogliera di protezione avente quota sommitale pari a 2,7 m, in modo da evitare l'erosione della scarpata a valle della suddetta strada di accesso, e la limitazione del rischio di overtopping delle onde incidenti sulla strada.

La modellazione dello stato di progetto, mostra portate di tracimazione verso la strada di accesso molto contenute, e molto al di sotto del valore limite raccomandato pari ad 1 l/m/s.