

AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE DI BAGNOLI - COROGLIO (NA)

D.P.C.M. 15.10.2015

Interventi per la bonifica ambientale e rigenerazione urbana dell'area di Bagnoli - Coroglio

**Infrastrutture, reti idriche, trasportistiche ed energetiche dell'area del
Sito di Interesse Nazionale di Bagnoli - Coroglio**



Presidenza del Consiglio dei Ministri
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO DEL GOVERNO
PER LA BONIFICA AMBIENTALE E RIGENERAZIONE URBANA
DELL'AREA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE
BAGNOLI - COROGLIO



STAZIONE APPALTANTE

INVITALIA S.p.a.: Soggetto Attuatore, in ottemperanza all'art. 33 del D.L. n. 133/2014, convertito con legge n. 164/2014, e del D.P.C.M. 15 ottobre 2015, ai fini della predisposizione ed esecuzione del Programma di Risanamento Ambientale e la Rigenerazione Urbana per il Sito di Rilevante Interesse Nazionale di Bagnoli-Coroglio

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Daniele BENOTTI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

PROGETTAZIONE GEOTECNICA, STRUTTURALE e STRADALE
Ing. Letterio SONNESSA

RELAZIONE GEOLOGICA
Dott. Geol. Vincenzo GUIDO

GRUPPO DI LAVORO INTERNO

Collaboratori:
Geom. Gennaro DI MARTINO
Geom. Alessandro FABBRÌ
Ing. Davide GRESIA
Ing. Nunzio LAURO
Ing. Alessio MAFFEI
Ing. Angelo TERRACCIANO
Ing. Massimiliano ZAGNI

Supporto operativo:
Ing. Irene CIANCI
Arch. Alessio FINIZIO
Ing. Carmen FIORE
Ing. Federica Jasmeen GIURA
Ing. Leonardo GUALCO

PROGETTAZIONE IDRAULICA
Ing. Claudio DONNALOIA

PROGETTAZIONE DELLA SICUREZZA
Ing. Michele PIZZA

COMPUTI E STIME
Geom. Gennaro DI MARTINO

SUPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO
Prof. Ing. Alessandro PAOLETTI
Ing. Domenico CERAUDO
Ing. Cristina PASSONI

PROGETTAZIONE ENERGETICA e TELECOMUNICAZIONI
Ing. Claudio DONNALOIA

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI

MANDATARIA



VIA INGEGNERIA Srl
Via Flaminia, 999
00189 Roma (RM)

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE
Ing. Matteo DI GIROLAMO

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI
Ing. Giovanni PIAZZA

COORDINAMENTO SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
ai sensi D.Lgs. 81/08
Ing. Massimo FONTANA

MANDANTI



QUANTICA INGEGNERIA Srl
Piazza Bovio, 22
80133 Napoli (NA)

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI SPECIALI
Ing. Francesco NICCHIARELLI

PROGETTAZIONE OPERE IMPIANTISTICHE ELETTRICHE
Ing. Paolo VIPARELLI

RELAZIONE GEOLOGICA
Geol. Maurizio LANZINI

RELAZIONE ARCHEOLOGICA
Arch. Luca DI BIANCO



WEE WATER ENVIRONMENT ENERGY Srl
Piazza Bovio, 22
80133 Napoli (NA)

PROGETTAZIONE OPERE DI VIABILITA' ORDINARIA
Ing. Giuseppe RUBINO

PROGETTAZIONE ARENA SANT'ANTONIO-HUB DI COROGLIO
Ing. Giuseppe VACCA

RELAZIONE ACUSTICA
Ing. Tiziano BARUZZO

GIOVANE PROFESSIONISTA
Ing. Veronica NASUTI
Ing. Andrea ESPOSITO
Ing. Raffaele VASSALLO
Ing. Serena ONERO



AMBIENTE SPA
Via Frassina, 21
54033 Carrara (MS)

PROGETTAZIONE OPERE IDRAULICHE A RETE
Ing. Giulio VIPARELLI

PROGETTAZIONE OPERE A MARE E IMPIANTO TAF 3
Ing. Roberto CHIEFFI



HYSOMAR SOCIETA' COOPERATIVA
Corso Umberto I, 154
80138 Napoli (NA)



ALPHATECH
Via S. Maria delle Libera, 13
80127 Napoli (NA)

ING. GIUSEPPE RUBINO
Via Riviera di Chiaia, 53
80122 Napoli (NA)

DISEGNATORI
Geom. Salvatore DONATIELLO
Geom. Paolo COSIMELLI
P.I. Ugo NAPPI
Ing. Daniele CERULLO

COMPUTI E STIME
Per. Ind. Giuseppe CORATELLA
Geom. Luigi MARTINELLI



Agenzia nazionale per l'attrazione degli investimenti e lo sviluppo d'impresa SpA

Funzione Servizi di Ingegneria

Direzione Area Tecnica
Opere civili:
Arch. Giulia LEONI

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato			DATA	NOME	FIRMA
INFRASTRUTTURE IDRICHE ADEGUAMENTO COLLETTORE ASA			REDATTO	APRILE 2024	RC
			VERIFICATO	APRILE 2024	GV
			APPROVATO	APRILE 2024	MDG
			DATA	APRILE 2024	CODICE ELABORATO
REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	SCALA	RT.05.00.01.05	
0	MAGGIO 2023	EMISSIONE	---		
1	APRILE 2024	EMISSIONE Ottemperanza prescrizioni MIC e MASE	CODICE FILE		
			2021INV-D-0-RT.05.00.01.05.doc		

SBOCCO A MARE ASA

RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DEL PARAGGIO OGGETTO DI INTERVENTO	4
3. ILLUSTRAZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO E CONFRONTO CON LE PREVISIONI DEL PFTE	6
3.1. INTERVENTI DI PROGETTO	6
3.2. CONFRONTO CON GLI INTERVENTI PREVISTI NEL PFTE	8
4. VERIFICA DELL'EFFICIENZA STRUTTURALE DELLE OPERE	10
4.1. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO.....	10
4.2. VERIFICHE DI STABILITA' IDRAULICA	11
4.2.1. Pennello emerso	11
4.2.2. Pennello sommerso e Scogliera sommersa.....	13
5. VERIFICA DELL'EFFICIENZA IDRAULICA DELLE OPERE	16
5.1. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO.....	16
5.2. VALUTAZIONE DEL GRADO DI TRASMISSIONE ONDOSA A TERGO DELLA SCOGLIERA SOFFOLTA	16
6. INTERAZIONE DEL MOTO ONDOSO CON LA CORRENTE IDRICA DI PIENA SCARICATA IN MARE	18
7. INTERAZIONE DELLE NUOVE OPERE CON IL REGIME DELLA DINAMICA COSTIERA LUNGO IL TRATTO OGGETTO DI STUDIO	21
7.1. INQUADRAMENTO DEL TRATTO DI COSTA IN ESAME NELL'AMBITO DEL "PIANO DI DIFESA DELLE COSTE"	21
7.2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA.....	23
7.3. CLIMA ONDOSO MEDIO SOTTOCOSTA	24
7.4. DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA CONNESSA AL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA.....	26
7.5. ANALISI DEI FENOMENI DI INTERAZIONE.....	28

1. PREMESSA

Nella presente relazione sono riportati i risultati delle valutazioni effettuate al fine di verificare l'efficienza strutturale ed idraulica delle opere marittime previste in progetto in corrispondenza dello sbocco a mare del tronco terminale del nuovo ramo del collettore Arena S. Antonio (ASA).

Relativamente agli aspetti strutturali delle opere a gettata, si è provveduto a verificare la stabilità del pennello e delle nuove scogliere sommerse che costituiscono il sistema di protezione del manufatto di sbocco mediante la valutazione del peso minimo dei massi di mantellata ed il relativo confronto con il peso delle unità previste in progetto.

Per quanto concerne gli aspetti idraulici, le analisi eseguite hanno riguardato, sia la valutazione del grado di trasmissione ondosa a tergo della nuova scogliera soffolta di protezione da realizzare in posizione antistante lo sbocco, sia la valutazione degli effetti dell'interazione idrodinamica tra il moto ondoso incidente e la corrente di piena allo scarico con particolare riferimento all'instaurarsi di eventuali condizioni di rigurgito.

Le caratteristiche del moto ondoso incidente sono state desunte dai risultati dello Studio meteomarinario eseguito a supporto della progettazione della terza condotta sottomarina anche essa inclusa nell'ambito degli interventi di cui al presente appalto.

Nel seguito, dopo una sintetica descrizione del paraggio in cui è ubicato il nuovo sbocco a mare ed una breve illustrazione delle opere previste in progetto, si riportano i dati relativi alle caratteristiche del moto ondoso utilizzati nelle valutazioni eseguite e, successivamente, i risultati delle verifiche effettuate sia con riferimento agli aspetti strutturali che idraulici.

2. DESCRIZIONE DEL PARAGGIO OGGETTO DI INTERVENTO

Il paraggio oggetto della realizzazione del nuovo sbocco a mare dell'ASA ricade nella sub-unità fisiografica di sviluppo pari a circa 2.0 km compresa tra l'istmo di Nisida ed il promontorio della Gaiola.

Il settore di traversia, di ampiezza complessiva pari a circa 110°, è compreso tra la DD 130° N (tangente al promontorio della Gaiola) e la DD 240° N (tangente all'istmo di Nisida ed a P.ta S. Pancrazio - Ischia); tale settore si suddivide in un settore "principale" compreso tra la DD 153°N (tangente a P.ta Campanella) e la DD 240° N (tangente a P.ta S. Pancrazio – Ischia) ed in un settore secondario compreso tra le DD 130° N e 153°N (settore Sud Est).

Nelle seguenti figure n. 1 e n. 2 viene rappresentato, in scala ampia e di dettaglio, l'inquadramento geografico del paraggio con l'indicazione dei settori di traversia principale e secondario.

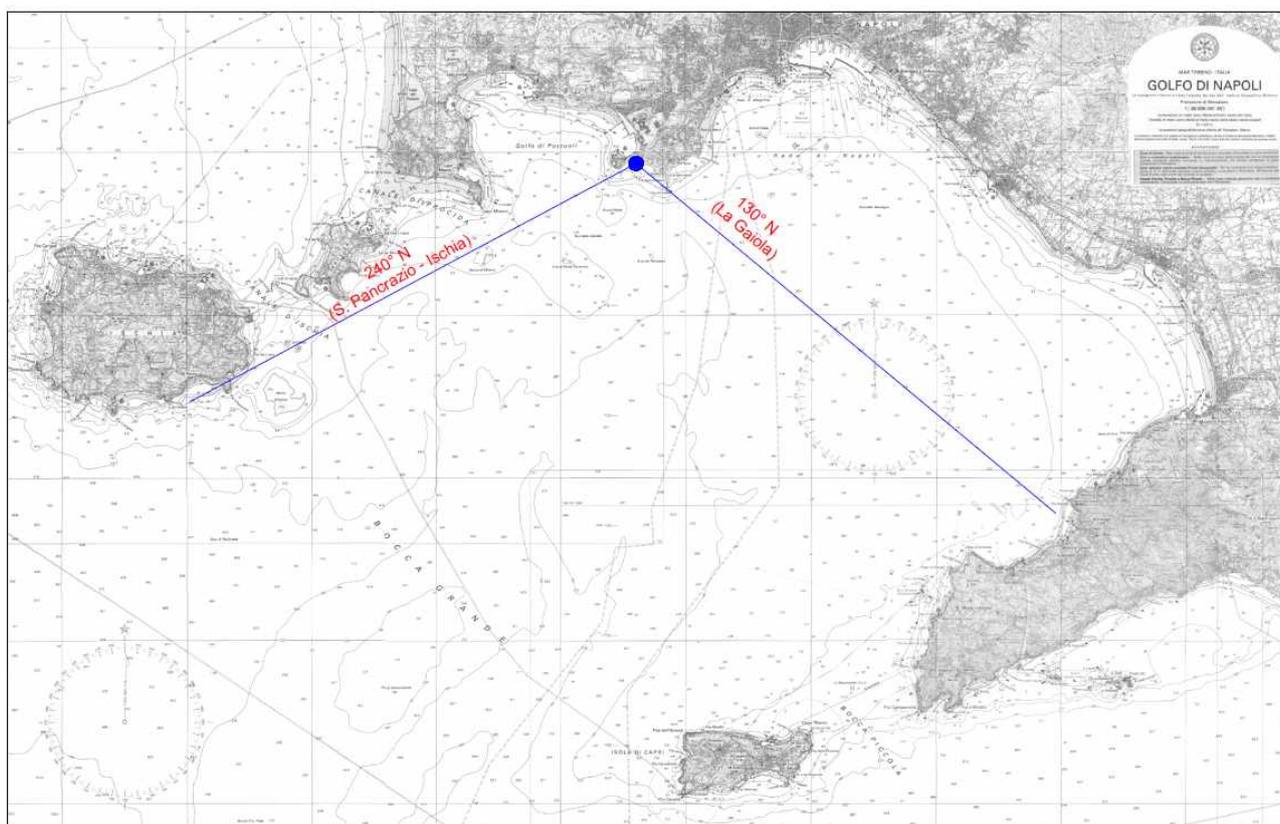


Figura 1: Settore di traversia – paraggio di Coroglio (rappresentazione in scala ampia)

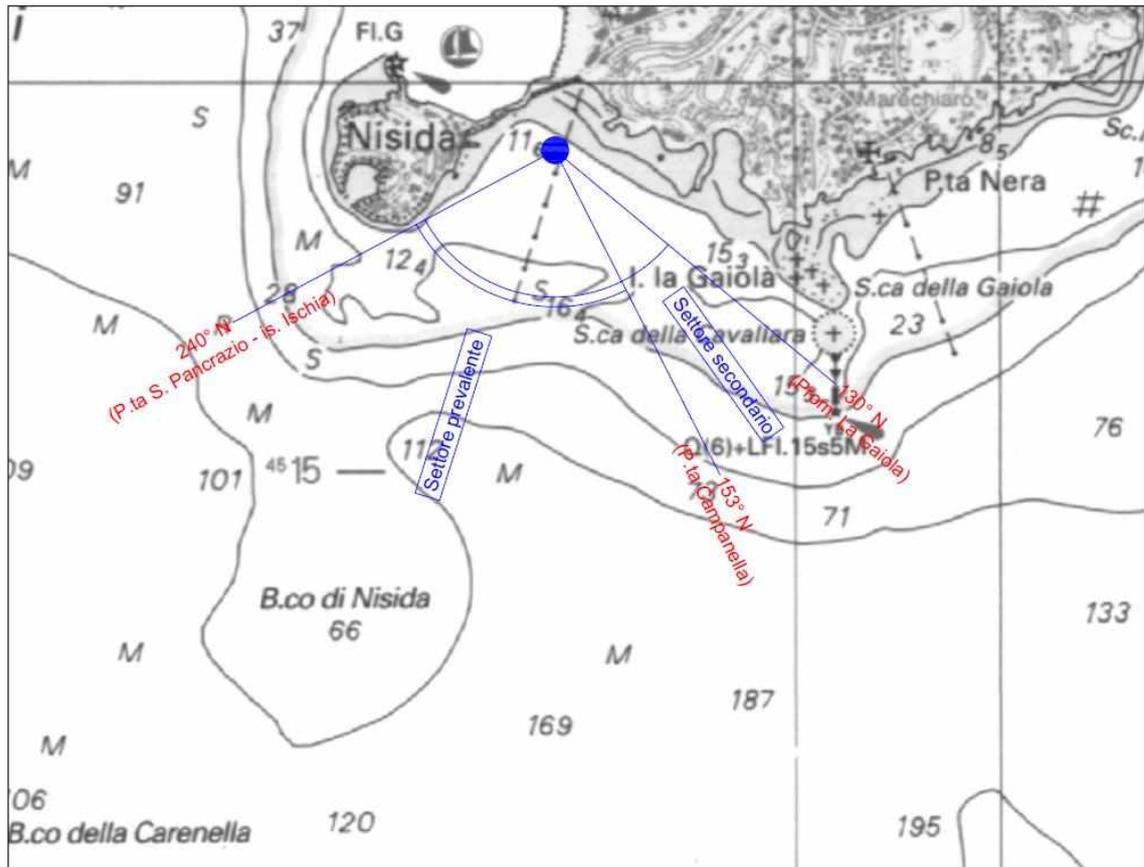


Figura 2: Settore di traversia – paraggio di Coroglio (rappresentazione in scala di dettaglio)

3. ILLUSTRAZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO E CONFRONTO CON LE PREVISIONI DEL PFTE

3.1. INTERVENTI DI PROGETTO

Nell'ambito del presente progetto definitivo, si è prevista la realizzazione un adeguato sistema di opere a gettata a protezione del nuovo sbocco a mare dell'ASA; quest'ultimo è costituito da:

- a) Un pennello di lunghezza complessiva pari a circa 165 m, in parte emerso (\cong 68 m) ed in parte sommerso (\cong 97 m), la cui radice è in aderenza alla sponda sinistra del nuovo canale di sbocco in c.a. che si protende fino alla batimetrica di -3.50 m.s.m. circa. Si evidenzia che, fermo restando la lunghezza complessiva del pennello di progetto e mantenendo sostanzialmente inalterate le prestazioni idrauliche e di protezione marittima dell'opera, in ottemperanza alle prescrizioni/indicazioni fornite nel parere prot. 26873-P del 16/11/2023 del MIC (Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Napoli), la parte emergente dello stesso è stata ridotta di 30 m passando dai 98 m indicate nella prima versione del PD ai 68 m della versione attuale (riduzione di circa il 30% di lunghezza); la presente soluzione progettuale garantisce un minore impatto visivo dell'opera ed un migliore inserimento della stessa nel contensto paesaggistico di riferimento. Il pennello è costituito da massi naturali di 4a cat. posati secondo una scarpa pari a 2/1 ed è imbasato su di uno strato di bonifica di tout-venant di spessore pari a 50 cm. Lungo la porzione emersa della struttura, la larghezza in sommità del pennello è stata prevista pari a 6.00 m, mentre la quota di coronamento è stata posta pari a +3.00 m.s.m.; lungo la porzione sommersa, viceversa, la larghezza risulta pari a 20.0 m e la quota di coronamento a -0.50 m.s.m..
- b) Una scogliera soffolta di sviluppo pari a circa 78.50 m, orientata in direzione ortogonale al suddetto pennello, che ha origine in corrispondenza della testata di quest'ultimo e che termina sulla scarpata della scogliera di protezione del molo di Nisida; la larghezza in sommità della scogliera è stata prevista anche essa pari a 20.00 m così come la sua quota di coronamento è stata fissata pari a -0.50 m.s.m., in continuità con la porzione sommersa del pennello.

In aggiunta ai suddetti interventi di difesa, si prevede inoltre di realizzare un'apposita protezione per il fondale antistante lo sbocco costituita da uno strato di blocchi prefabbricati di cls di dim. 2.00 x 2.00 mq ed altezza 0.80 m, tra loro affiancati; la funzione di tale strato di blocchi è appunto quella di scongiurare l'innesco di eventuali fenomeni erosivi determinati dall'impatto della corrente di piena sul fondale marino, conferendo in tal modo adeguate condizioni di stabilità allo stesso fondale in posizione antistante lo scarico. I blocchi saranno anche essi imbasati su apposito strato di bonifica in tout-venant di spessore 50 cm; in senso longitudinale essi costituiranno una sorta di "scivolo" avente come struttura di contenimento un'ulteriore piccola scogliera sommersa di

larghezza pari a 6.00 m e quota di coronamento posta a -0.50 m.s.m..

Si evidenzia infine che, lungo la sponda destra del canale di sbocco, in aderenza all'attuale scogliera di protezione del molo di Nisida, si prevede un ulteriore intervento consistente nel rifiorimento della stessa scogliera per il tutto il tratto interessato dal nuovo sistema di protezione.

Nella figura seguente viene riportato uno stralcio planimetrico degli interventi previsti nel presente PD.

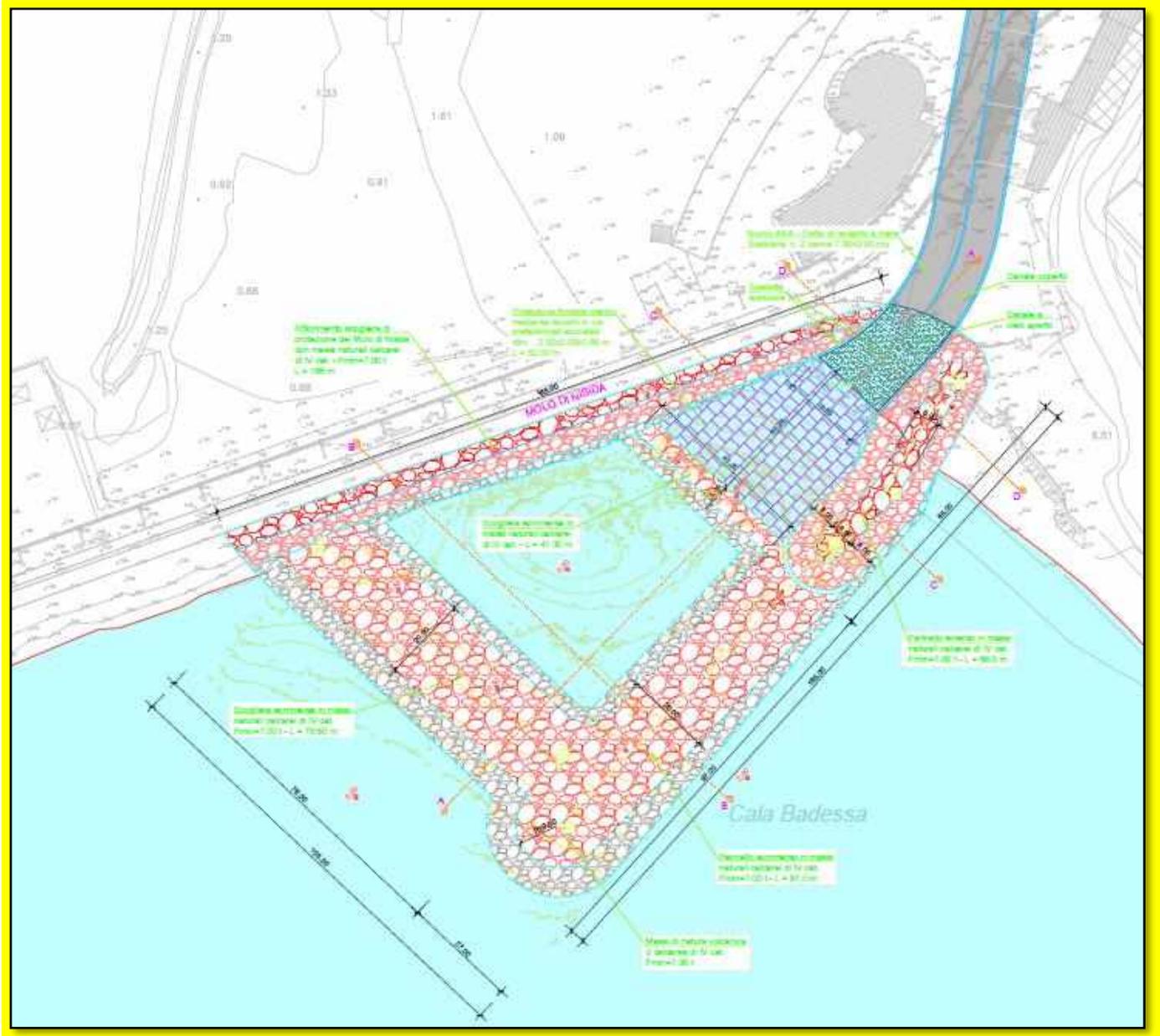


Fig. 3 – Stralcio planimetrico sbocco a mare (Progetto Definitivo)

3.2. CONFRONTO CON GLI INTERVENTI PREVISTI NEL PFTE

Nel PFTE a base di gara si prevedeva che il tratto terminale del nuovo canale dell'ASA attraversasse in direzione ortogonale il molo di Nisida, all'incirca in prossimità della radice dello stesso, per sboccare a mare nell'area di specchio acqueo posta immediatamente a Sud del molo esistente; per la protezione del nuovo sbocco a mare, nel PFTE si prevedeva la realizzazione di una scogliera sommersa, anche essa orientata in direzione ortogonale al molo di Nisida e quindi in direzione sub-parallela alla linea di riva dell'arenile esistente. Nella figura seguente viene riportato uno stralcio planimetrico degli interventi previsti nel PFTE.

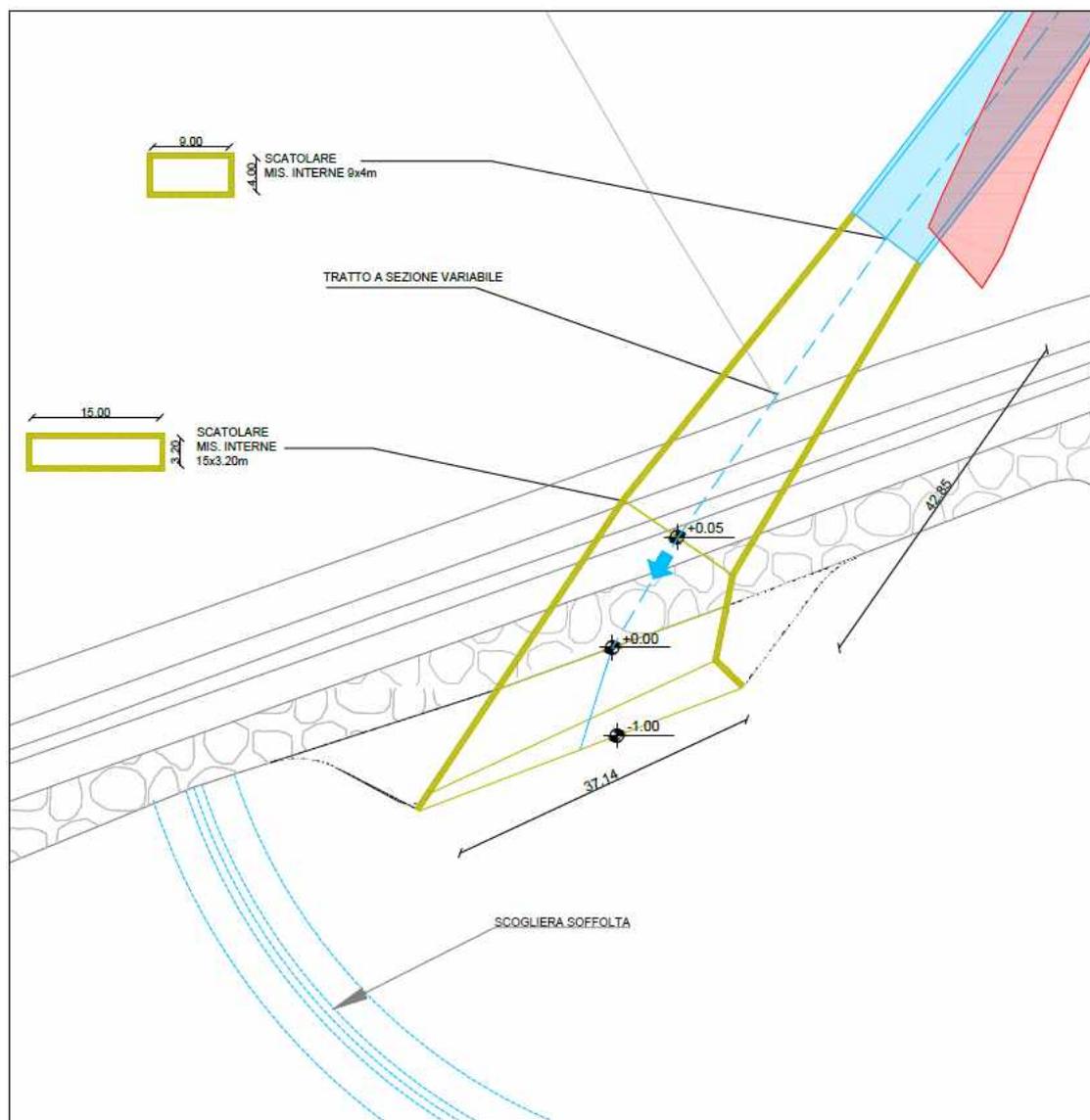


Fig. 4 – Stralcio planimetrico sbocco a mare (PFTE)

Gli elementi migliorativi introdotti con il presente PD relativamente al manufatto di sbocco a mare dell'ASA ed

relativo sistema di protezione possono essere così sintetizzati:

- a) Considerato l'orientamento prescelto (ortogonale alla linea di costa e non parallelo ad essa), il nuovo manufatto di sbocco indirizza le correnti di piena direttamente verso il "largo" e quindi in condizioni di "mare aperto", diversamente da quanto sarebbe avvenuto con il manufatto previsto nel PFTE; in tal caso, infatti, lo scarico sarebbe stato indirizzato verso l'arenile con possibili conseguenti fenomeni di ristagno ed intrappolamento della massa liquida scaricata nella fascia di mare compresa tra la scogliera sommersa prevista nel PFTE e la riva.
- b) Le opere di protezione previste nel PD si protendono fino ad una batimetrica di circa -3.50 m.s.m. contro i circa -2.00 m.s.m. relativi alla quota di imbasamento della scogliera di protezione prevista nel PFTE; grazie alla maggiore profondità cui si perviene con le suddette opere in corrispondenza della sezione di sbocco terminale, le portate convogliate dall'ASA scaricano in mare in una massa liquida di altezza maggiore (e quindi in un volume liquido maggiore), con conseguenti effetti benefici ai fini della diluizione delle acque sversate.
- c) In ultimo si evidenzia che la geometria individuata nel PD per il sistema di difesa del manufatto di sbocco a mare dell'ASA presenta l'ulteriore beneficio rispetto alla soluzione del PFTE, consistente nella maggiore protezione offerta nei confronti dei fenomeni di interrimento determinati dalle correnti marine; infatti la presenza del nuovo pennello in sponda sinistra e del molo di Nisida (opportunamente rifiorito) in sponda destra, nonchè della scogliera sommersa trasversale scongiurano il verificarsi di eventuali fenomeni di sedimentazione in posizione antistante lo sbocco a mare, costituendo, di fatto, una vera e propria "schermatura" nei confronti del trasporto di materiale solido ad opera delle correnti marine, sia sul fondo che in sospensione. Viceversa, la scogliera sommersa prevista nel PFTE in direzione parallela alla riva non offre le stesse garanzie di protezione in quanto il materiale trasportato in senso longitudinale alla costa (direzione Sud-Nord) tenderebbe a depositarsi in prossimità dell'area a Sud della radice del molo di Nisida (e quindi in posizione antistante lo sbocco a mare), senza essere preventivamente intercettato; anzi tale tendenza verrebbe accentuata proprio dalla presenza della nuova scogliera sommersa che darebbe origine ad una "zona d'ombra" a tergo di essa, favorendo inevitabilmente il deposito del materiale solido trasportato dalle correnti marine longitudinali (effetto di "tombolizzazione").

4. VERIFICA DELL'EFFICIENZA STRUTTURALE DELLE OPERE

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati delle valutazioni effettuate al fine di verificare l'efficienza strutturale delle opere in progetto; in particolare è stata verificata la stabilità del nuovo pennello emerso in sponda sinistra dello sbocco dell'ASA e del pennello e della scogliera di protezione sommersi, mediante la valutazione del peso minimo dei massi naturali costituenti ed il relativo confronto con il peso delle unità previste in progetto.

4.1. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO

Come accennato in premessa, per la valutazione dell'altezza d'onda di progetto, si sono presi a riferimento i risultati relativi allo Studio meteomarinario eseguito a corredo della progettazione delle nuove condotte sottomarine (elab. RC.05.04.02); nell'ambito di tale Studio è stato ricavato che le condizioni ondose più gravose sottocosta nell'area di specchio acqueo in esame sono quelle connesse alla mareggiata proveniente dalla DD di largo 230°N, cui corrispondono i seguenti valori di H_s (altezza d'onda significativa), T_s (periodo significativo), T_p (periodo di picco) e DD (direzione di provenienza) alle diverse profondità:

Onda 2	Hs [m]	Ts (s)	DD (°N)
caratteristiche di largo	7,70	11,63	230,00
Risultati modello			
Batimetriche	Hs [m]	Tp (s)	DD (°N)
-5	3,49	10,91	210,66
-10	5,79	11,30	217,80
-15	6,71	11,59	219,72
-20	6,31	11,73	217,62
-25	6,12	11,78	219,10
-30	6,31	11,79	222,46
-40	6,92	11,81	226,98
-50	7,09	11,82	228,10

Tab. 1 – Risultati dell'analisi di propagazione della mareggiata proveniente dalla DD230°N ($T_r = 100$ anni)

Gli interventi di protezione in esame (imbasati ad una profondità al più pari a 3.50 m) ricadono in zona frangente per la mareggiata considerata e pertanto l'altezza d'onda presa a riferimento nelle successive verifiche di stabilità è quella frangente al piede delle opere di progetto e cioè alla profondità di 3.50 m.

Tale valore è stato determinato mediante la nota relazione di Kamphuis:

$$H_f = 0.56 \cdot \exp(3.5m) h_f \quad (1)$$

in cui:

H_f = altezza d'onda significativa al piede dell'opera;

m = pendenza del fondale marino antistante ($m = 0.035$);

h_f = profondità del fondale al piede dell'opera.

In via cautelativa, si assume che il livello medio mare possa essere interessato da un fenomeno di sovrizzo idrico dovuto alla concomitanza di alta marea e set-up dovuto al moto ondoso (wave set-up) ed al vento (wind set-up); il valore complessivo di sovrizzo può essere assunto pari a:

$d = 1.00$ m.

Pertanto si ha che la profondità del fondale da considerare nella (1) risulta:

$h_f = h + d = 3.50 + 1.00 = 4.50$ m

Si ottiene quindi:

$H_f = 2.85$ m

A tale valore di H_s è associato un periodo d'onda significativo pari a:

$T_s = 11.63$ s

4.2. VERIFICHE DI STABILITA' IDRAULICA

4.2.1. Pennello emerso

La verifica di stabilità dei pennelli emersi è stata effettuata mediante l'applicazione delle note relazioni di Van der Meer (ICCE, 1992) di seguito riportate:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 6.2 p^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad (2)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{50}} = 1.0 \cdot p^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot g \alpha} \xi_m^p \quad (3)$$

in cui:

H_s = altezza d'onda incidente.

D_{50} = diametro caratteristico dei massi di mantellata;

$\Delta = \gamma_s / \gamma_0 - 1$;

p = indice di permeabilità della struttura a gettata;

S = grado di danneggiamento;

N = numero di onde della mareggiata di progetto;

ξ_m = numero di Iribarren;

ξ_{mc} = numero di Iribarren critico;

$\cot\alpha$ = cotangente dell'angolo di scarpa della mantellata.

La (2) è relativa al caso di frangimento di tipo "plunging" che si verifica allorchè il numero di Iribarren, ξ_m , risulta inferiore al valore critico ξ_{mc} ; la (3) si applica nel caso di frangimento di tipo "surging" che si verifica quando ξ_m , risulta superiore al valore critico ξ_{mc} .

I valori di ξ_m e ξ_{mc} risultano:

$$\xi_m = \text{tg}\alpha \cdot s_m^{-0.5} \quad (4)$$

$$\xi_{mc} = \left(6.2 p^{0.31} \sqrt{\text{tg}\alpha}\right)^{\frac{1}{p+0.5}} \quad (5)$$

in cui, oltre ai simboli già indicati:

$\text{tg}\alpha$ = tangente dell'angolo di scarpa della mantellata;

s_m = ripidità dell'onda incidente valutata con riferimento al periodo medio del treno d'onde incidenti ottenuta dalla seguente relazione:

$$s_m = \frac{2\pi H_s}{g T_m^2} \quad (6)$$

essendo T_m = periodo medio del treno d'onde incidenti ($T_m = 0.89 T_s$);

Nel caso in esame si ha:

$H_s = 2.85$ m;

$T_s = 11.63$ s;

$T_m = 10.35$ s;

$s_m = 0.017$;

$\text{tg}\alpha = 0.50$ (1/2);

$p = 0.40$;

e pertanto:

$$\xi_m = 3.83$$

$$\xi_{mc} = 3.77$$

Risultando $\xi_m > \xi_{mc}$ la valutazione di D_{50} è stata effettuata mediante l'applicazione della (3).

In definitiva, avendo posto nella (3):

$$H_s = 2.85 \text{ m};$$

$$\gamma_s = 2.60 \text{ t/m}^3 \text{ (peso di unità di volume dei massi naturali calcarei)}$$

$$\Delta = 1.52;$$

$$p = 0.40;$$

$S = 2$ (ipotesi di danneggiamento nullo "no damage");

$N =$ numero di onde della mareggiata di progetto ($N = 3000$);

$$\xi_m = 3.83$$

si ha:

$$D_{50} = 1.33 \text{ m}$$

Il peso minimo dei massi di mantellata risulta, pertanto:

$$P_{\min} = \gamma_s D_{50}^3 \cong 6.10 \text{ t}$$

Per la costituzione dell'opera a gettata, è stato previsto l'impiego di massi naturali di IV cat., disposti su una scarpa pari a 2/1, con peso minimo superiore a quello risultante dalle verifiche ed, in particolare, fissato pari a **7.00 t**.

4.2.2. Pennello sommerso e Scogliera sommersa

Le verifiche di stabilità delle opera a gettata sommerse sono state effettuate mediante l'applicazione della relazione di Van der Meer (1990) derivata dalle prove sperimentali di Givler e Sorensen, di seguito riportata:

$$\frac{h'_c}{h} = (2.1 + 0.1 \cdot S) \exp(-0.14 N_s^i) \quad (7)$$

in cui:

$h'_c =$ altezza del coronamento della scogliera rispetto al fondale (= 3.00 m);

h = profondità del fondale rispetto al l.m.m. (si assume in tal caso cautelativamente $d = 0 \rightarrow h = 3.50$ m);

S = grado di danneggiamento ($S = 2$ – danneggiamento nullo);

N_s^* = numero di stabilità.

Il valore di N_s^* si ricava dalla seguente relazione:

$$N_s^* = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} s_p^{-1/3} \quad (8)$$

in cui:

H_s = altezza d'onda significativa incidente (= 2.85 m);

D_{n50} = diametro minimo caratteristico dei massi di mantellata;

γ_s = peso per unità di volume dei massi (= 2.60 t/m³);

γ_0 = peso per unità di volume dell'acqua di mare (= 1.03 t/m³);

$\Delta = \gamma_s / \gamma_0 - 1$;

s_p = ripidità dell'onda riferita al periodo di picco del treno d'onde incidenti ($T_p = 1.1 T_s = 12.80$ s).

Il valore di s_p viene calcolato con l'applicazione della seguente relazione:

$$s_p = \frac{H_s}{L_p} \quad (9)$$

Essendo:

L_p = lunghezza d'onda riferita al periodo di picco calcolata alla profondità h mediante la formula di Airy:

$$L_p = \frac{gT_p^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_p}\right) \quad (10)$$

Risulta:

$s_p = 0.039$;

Dalle (7) e (8) si ricava:

$N_s^* = 7.09$;

e quindi:

$$D_{n50} = 0.78 \text{ m}$$

Si ha pertanto:

$$P_{\min} = \gamma_s D_{n50} \cong 1.23 \text{ t}$$

Per la costituzione del pennello e della scogliera sommersi, è stato, tuttavia, previsto l'impiego di massi naturali di IV cat., disposti su una scarpa pari a 2/1, aventi peso minimo pari a **7.00 t**, omogeneizzando tale pezzatura a quella dei massi costituenti il pennello emerso (v. par. 4.2.1).

5. VERIFICA DELL'EFFICIENZA IDRAULICA DELLE OPERE

Nel presente paragrafo relazione sono riportati i risultati delle valutazioni effettuate al fine di verificare l'efficienza idraulica delle opere in progetto; queste ultime sono state finalizzate alla valutazione dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della barriera sommersa, orientata in direzione parallela alla linea di costa ed ubicata in posizione antistante il nuovo manufatto sbocco a mare dell'ASA.

Tale barriera, costituita come detto da una scogliera soffolta avente q.ta di coronamento pari a -0.50 m.s.m., ha la funzione di dissipare il contenuto energetico dell'onda incidente sottocosta, riducendone l'altezza e, conseguentemente, limitando gli effetti derivanti dall'"impatto" della stessa sul manufatto di sbocco.

5.1. ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO

Le caratteristiche dell'altezza d'onda di progetto sono quelle già prese a riferimento nel caso precedente per le verifiche di stabilità idrauliche delle opere a gettata.

Esse risultano:

$$H_f = 2.85 \text{ m}; T_s = 11.63 \text{ s}$$

5.2. VALUTAZIONE DEL GRADO DI TRASMISSIONE ONDOSA A TERGO DELLA SCOGLIERA SOFFOLTA

A partire dall'altezza d'onda significativa incidente, H_i , il valore dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della scogliera sommersa, H_t , risulta pari a:

$$H_t = K_t H_i \quad (11)$$

Con riferimento allo schema di fig. 3, il coefficiente di trasmissione K_t si esprime in funzione delle caratteristiche geometriche delle scogliere di protezione e di quelle relative al moto ondoso incidente, secondo la seguente relazione (Van der Meer, 1992):

$$K_t = p \cdot \frac{R_c}{D} + q \quad (12)$$

in cui:

D = diametro dei massi costituenti le scogliere;

R_c = quota del coronamento rispetto al livello medio mare;

b = larghezza del coronamento della scogliera;

p, q = parametri adimensionali forniti dalle seguenti espressioni:

$$p = 0.031 \cdot \frac{H_i}{D} - 0.24 \quad (13)$$

$$q = -5.42 \cdot \frac{H_i}{L_{op}} + 0.0323 \cdot \frac{H_i}{D} - 0.0017 \cdot \left(\frac{b}{D}\right)^{1.84} + 0.51 \quad (14)$$

in cui, oltre ai simboli noti:

L_{op} = lunghezza d'onda di largo corrispondente al periodo di picco ($T_p = 12.80$ s), fornita dalla relazione di Airy:

$$L_{op} = \frac{gT_p^2}{2\pi} \quad (15)$$

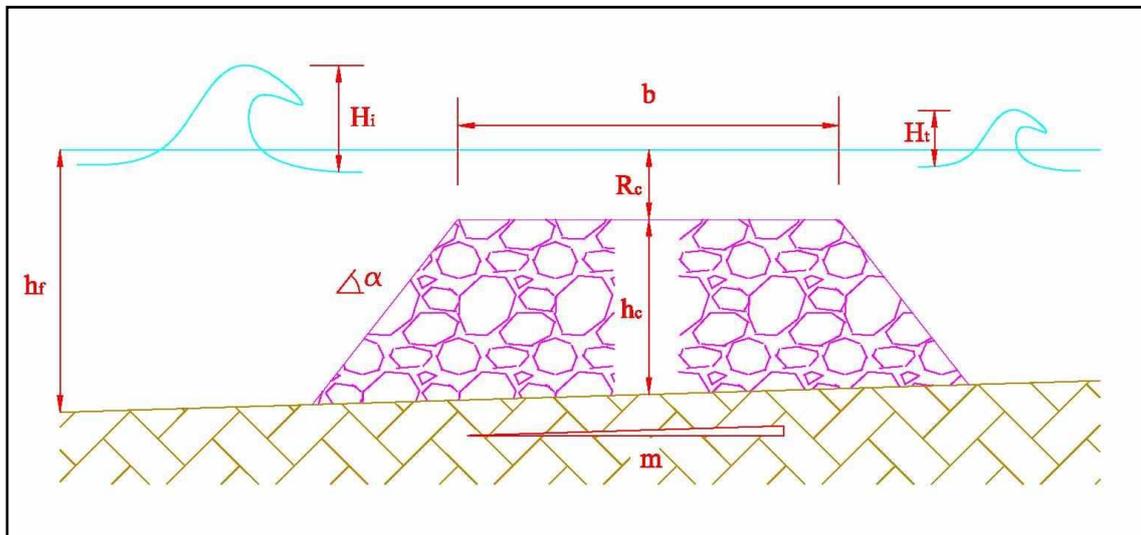


fig. 5 – Schema di calcolo trasmissione ondosa a tergo di barriere soffolte

Posto:

$b = 20$ m;

$R_c = -1.50$ m (si considera anche in tal caso un sovrizzo idrico pari a 1.00 m rispetto al livello medio mare);

$D = 1.40$ m (diametro corrispondente al masso di peso 7.0 ton);

$H_i = H_f = 2.85$ m.

Dall'applicazione delle (12)-(13)-(14)-(15), si ha:

$K_t = 0.47 \rightarrow H_t = 0.47 \times 2.85 = 1.33$ m.

6. INTERAZIONE DEL MOTO ONDOSO CON LA CORRENTE IDRICA DI PIENA SCARICATA IN MARE

E' stata esaminata l'interazione del moto ondoso incidente con la corrente di piena scaricata in mare in modo da verificare il corretto funzionamento idraulico del manufatto di sbocco; le analisi e le relative verifiche sono state eseguite facendo riferimento alle condizioni di moto ondoso più severe, corrispondenti al verificarsi della mareggiata centennale e del concomitante deflusso della massima corrente di piena nel collettore (tale portata è connessa ad un periodo di ritorno pari a $T = 50$ anni ed al caso in cui l'imbocco della galleria di Seiano sia ostruito).

Nel caso esaminato la portata di piena risulta pari a $Q = 197 \text{ m}^3/\text{s}$; la quota di sbocco a mare del collettore ASA è pari a $+0.03 \text{ m.s.m.}$. Le caratteristiche idrauliche della corrente di piena ricavate dalle verifiche idrauliche (v. elab. RT.05.00.01.01 – Allegato 1) risultano:

- h (tirante idrico) = 2.34 m; l (larghezza della sez. idrica) = 14.60 m; V (velocità media) = 5.76 m/s.

In fig. 6 è stato rappresentato lo schema idraulico preso a riferimento nelle valutazioni eseguite e sono stati evidenziati i parametri significativi del problema da analizzare:

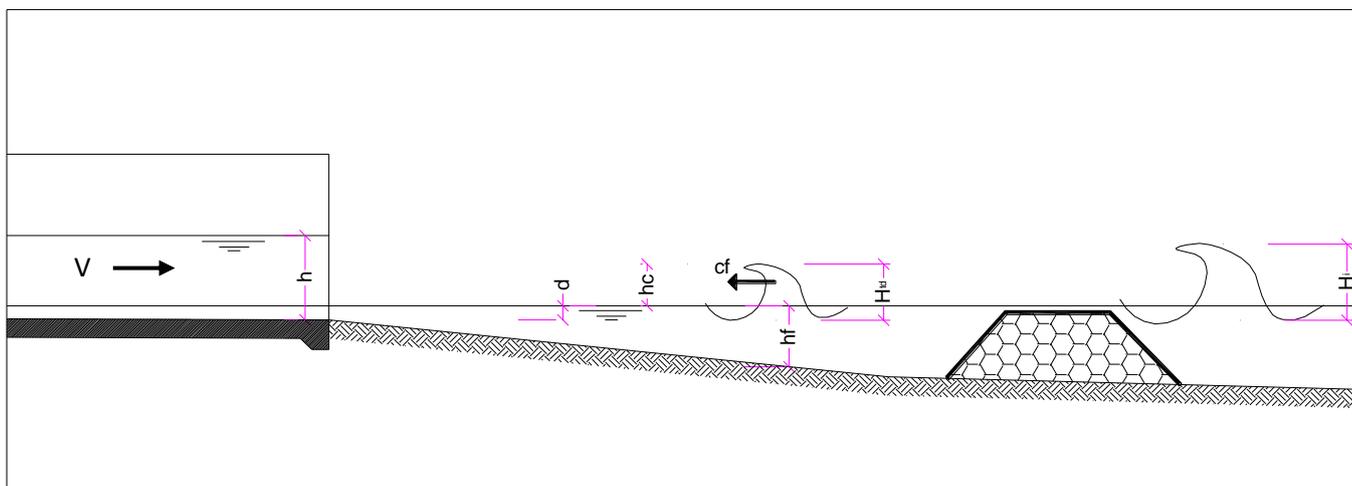


fig. 6 – Schema idraulico di riferimento

- $h \Rightarrow$ tirante idrico della corrente indisturbata allo sbocco;
- $V \Rightarrow$ velocità media della corrente indisturbata allo sbocco;
- $d \Rightarrow$ sovralzato idrico dovuto a marea e set-up (rispetto alla quota di sbocco);
- $H_i \Rightarrow$ altezza d'onda incidente in prossimità dello sbocco;
- $H_t \Rightarrow$ altezza d'onda trasmessa a tergo della scogliera sommersa;

- $h_f \Rightarrow$ profondità di frangimento corrispondente al valore di H_t ;
- $h_c \Rightarrow$ sovralzò della cresta d'onda rispetto al l.m.m.: $h_c = 0.78 H_t$ - Wiegel - S.P.M., 1984.
- $c_f \Rightarrow$ celerità d'onda al frangimento: $c_f = (g h_f)^{0.5}$ - S.P.M., 1984.

Il valore dell'altezza d'onda trasmessa a tergo della barriera soffolta H_t risulta pari a (v. par. 4.2):

$H_t \cong 1.33$ m.

La celerità dell'onda incidente, c_f , è stata calcolata in corrispondenza della profondità di frangimento dell'onda trasmessa H_t ; in tal caso h_f risulta pari a $h_f = H_t / 0.78 \cong 1.70$ m e pertanto si è ottenuto:

$c_f \cong 4.10$ m/s.

Il valore di h_c è stato calcolato a partire dall'altezza d'onda H_t e risulta, in particolare, pari a:

$h_c = 1.04$ m.

Considerando che la quota di scorrimento in corrispondenza dello sbocco a mare del canale è praticamente coincidente con il livello medio mare (essa come detto risulta pari a +0.03 m.s.m.), il valore di d calcolato rispetto alla suddetta quota risulta pari a quello ottenuto considerando contemporaneamente gli effetti dovuti all'oscillazione di marea oltre che al set-up dovuto al moto ondoso (wave set-up) ed al vento (wind set-up); quest'ultimo è stato assunto in via cautelativa pari a:

$d = 1.00$ m.

Ciò premesso, pur evidenziando che lo studio del fenomeno di interazione idrodinamica tra la corrente e il treno di onde frangenti presenta notevoli complessità idrodinamiche, nel seguito si è fatto riferimento ad uno schema semplificato, finalizzato solo alla verifica dell'instaurarsi di condizioni di rigurgito, piuttosto che all'analisi puntuale del campo di moto risultante dalla interazione. Più in particolare sono state fatte le seguenti ipotesi:

- il fenomeno di interazione avviene in uno schema di moto piano;
- il sistema di onde frangenti viene assimilato ad una corrente di traslazione di altezza $d+h_c$ che si propaga in direzione opposta a quella della corrente di scarico;
- la velocità media della suindicata corrente viene assunta pari alla celerità di propagazione c_f dell'onda frangente;

- l'interazione idrodinamica viene esaminata confrontando le spinte totali M_1 ed M_2 che, nella parte terminale dello sbocco a mare (v. fig. 4), corrispondono rispettivamente alla corrente idrica scaricata ed a quella dovuta all'azione delle onde frangenti;
- nella valutazione delle spinte totali vengono trascurati i termini inerziali (hp. di moto permanente).

Posto pertanto:

$$M_1 = \gamma \sigma_1 \zeta_1 + \gamma V_1^2 / g \sigma_1 \quad (\text{spinta totale della corrente di scarico}) \quad (16)$$

$$M_2 = \gamma \sigma_2 \zeta_2 + \gamma V_2^2 / g \sigma_2 \quad (\text{spinta totale della corrente dovuta al frangimento}) \quad (17)$$

affinchè non si verificino condizioni di rigurgito della corrente scaricata deve risultare:

$$M_1 > M_2$$

Si ha pertanto:

Corrente di scarico allo sbocco:

$$\sigma_1 = l \times h = 14.60 \times 2.34 = 34.20 \text{ m}^2$$

$$\zeta_1 = h/2 = 1.17 \text{ m}$$

$$V_1 = 5.76 \text{ m/s}$$

$$M_1 \cong 155.665 \text{ kg}$$

Corrente dovuta al frangimento:

$$\sigma_2 = l \times (d+h_c) = 14.60 \times 2.04 = 29.80 \text{ m}^2$$

$$\zeta_2 = (d+h_c) / 2 = 2.04 / 2 = 1.02 \text{ m}$$

$$V_2 = c_f = 4.10 \text{ m/s}$$

$$M_2 \cong 81.464 \text{ kg}$$

Si ha dunque:

$$M_1 > M_2$$

Pertanto, nel caso più gravoso esaminato, è possibile escludere la presenza di fenomeni di rigurgito della corrente scaricata.

7. INTERAZIONE DELLE NUOVE OPERE CON IL REGIME DELLA DINAMICA COSTIERA LUNGO IL TRATTO

OGGETTO DI STUDIO

Sono stati analizzati i fenomeni di interazione delle nuove opere di protezione dello sbocco a mare dell'ASA con la dinamica costiera del breve tratto di litorale ove è prevista l'ubicazione dell'intervento di progetto; tale tratto di costa, che si trova in posizione adiacente al Molo di protezione dell'istmo di Nisida, immediatamente a Sud Est dello stesso, ha uno sviluppo longitudinale molto limitato (circa 130 m) e si configura come una classica "pocket beach" delimitata a Nord Ovest dal suddetto molo di Nisida ed a Sud Est dal promontorio di Cala Badessa.

In primis, si è provveduto ad inquadrare il tratto di costa oggetto di intervento nell'ambito delle perimetrazioni riportate nel Piano per la Difesa delle Coste dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino della Campania Centrale) relative ai fenomeni di inondazione ed erosione (carte della pericolosità e del rischio da inondazione e da erosione costiera).

Di seguito, dopo aver sinteticamente illustrato i risultati dell'analisi "storica" della linea di riva, ricostruita mediante la sovrapposizione delle linee di riva del periodo 2007-2024 desunte dai rilievi satellitari disponibili (google earth), si riportano le valutazioni effettuate circa la distribuzione del clima ondoso sottocosta con la relativa distribuzione energetica ottenuta. Prendendo a riferimento i risultati di tali valutazioni e tenuto conto dell'evoluzione storica osservata per il tratto di litorale in esame, è stato possibile determinare analizzare la natura dei fenomeni di modellamento in atto e comprendere le cause della tendenza erosiva riscontrata.

7.1. INQUADRAMENTO DEL TRATTO DI COSTA IN ESAME NELL'AMBITO DEL "PIANO DI DIFESA DELLE COSTE"

Nell'ambito del Piano di Difesa delle Coste dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino della Campania Centrale), il tratto di costa oggetto di intervento è compreso nell'Unità fisiografica UF.08 "Marechiaro".

Si riportano di seguito gli stralci planimetrici delle seguenti cartografie estratte dal suddetto Piano di Difesa delle Coste:

- "Carta della pericolosità da inondazione ed erosione della costa bassa";
- "Carta del Rischio da inondazione ed erosione della costa bassa".

Dall'esame di entrambe le cartografie allegare si evince che **il tratto di costa in esame non è classificato nè a pericolosità da inondazione ed erosione, nè tanto meno a rischio da inondazione ed erosione.**

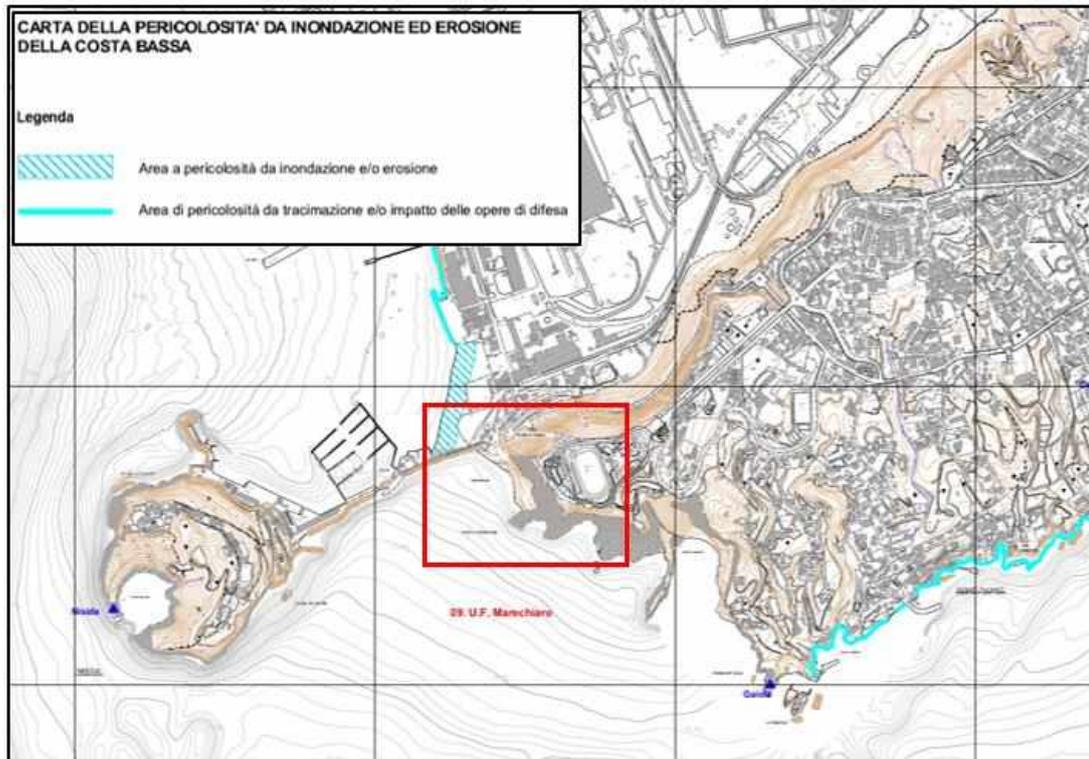


fig. 7 – Stralcio planimetrico – Carta della pericolosità da inondazione ed erosione

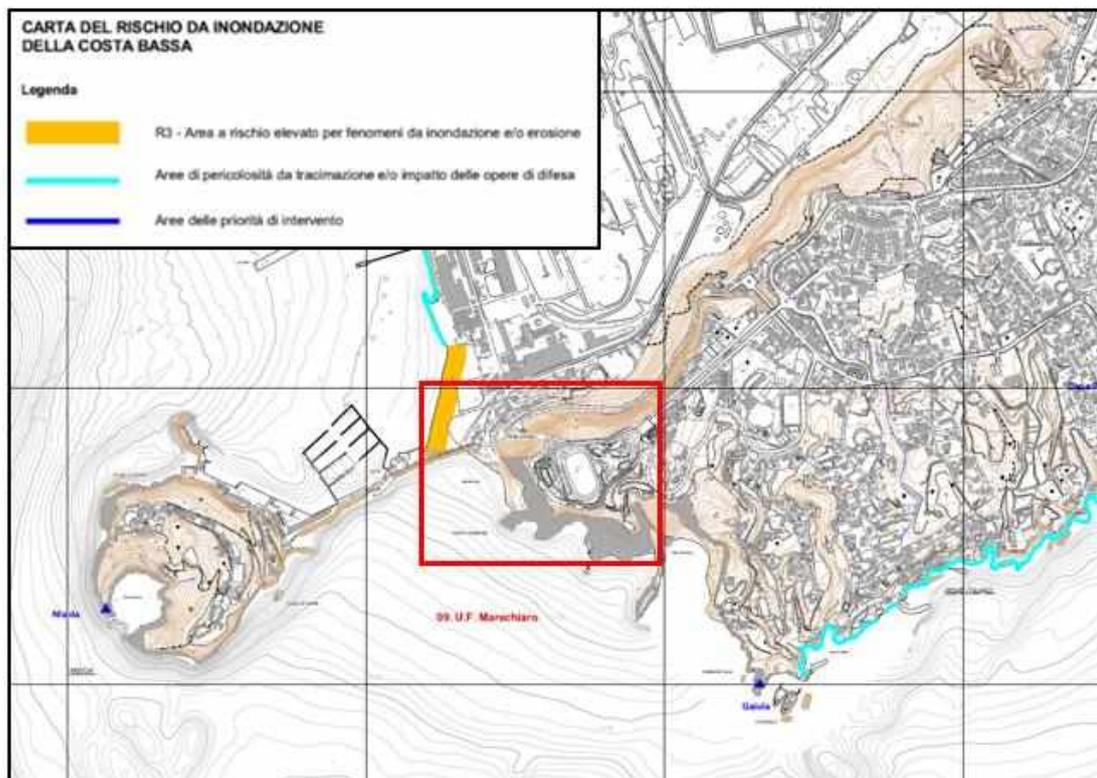


fig. 8 – Stralcio planimetrico – Carta del rischio da inondazione ed erosione

7.2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA

Nella tavola grafica allegata (fig. 9) viene rappresentata l'evoluzione planimetrica della linea di riva nel periodo temporale di durata pari a circa 15 anni compreso tra il settembre 2007 ed il febbraio 2024.

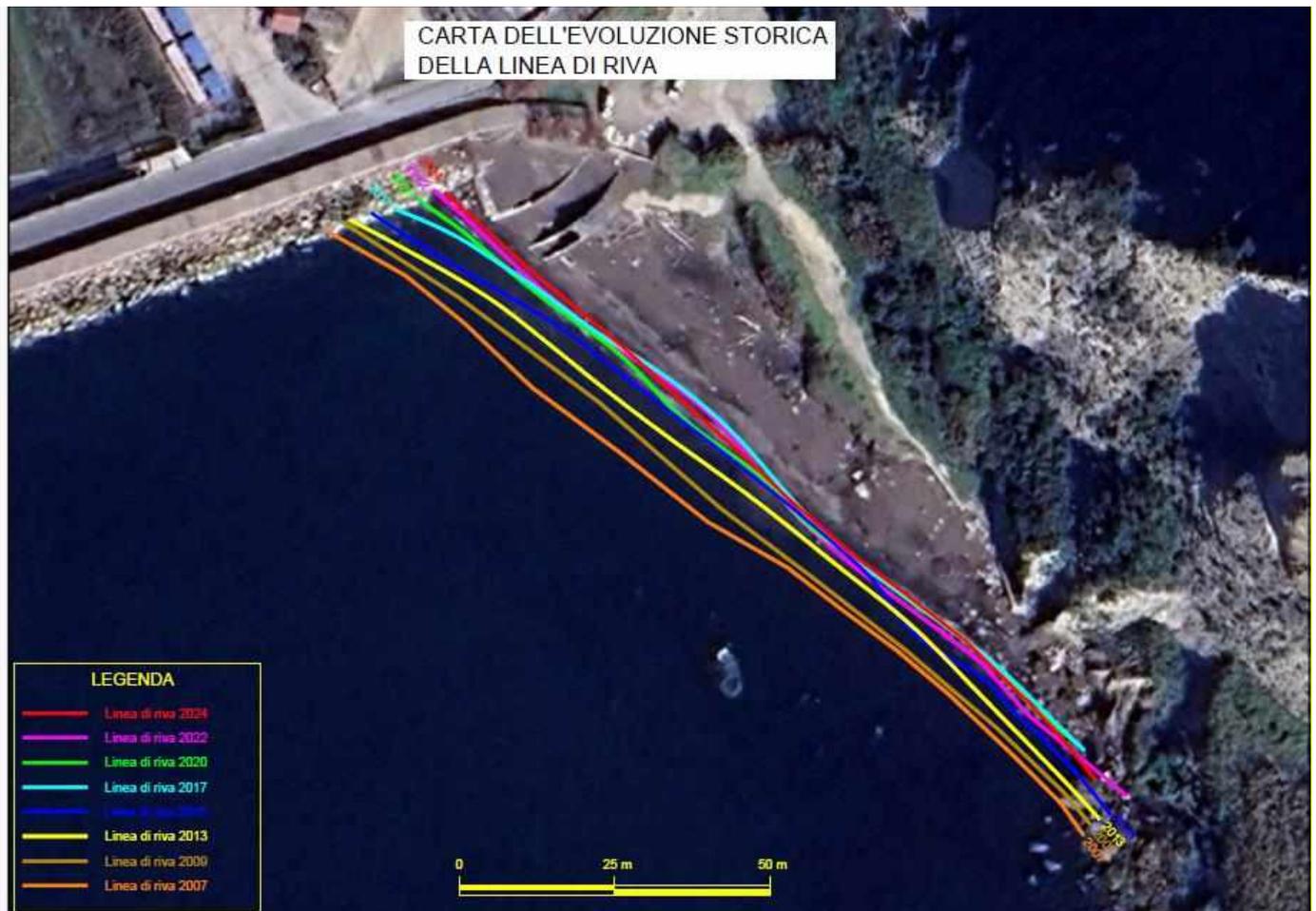


fig. 9 – Evoluzione storica della linea di riva

Dall'analisi dell'evoluzione storica della linea di costa in esame, si evince una marcata tendenza erosiva nel decennio 2007-2017 (arretramento medio di circa 15 m lungo il tratto di costa analizzato) ed una sostanziale stabilità della linea di riva nell'ultimo periodo (2017-2024).

Si evidenzia inoltre che l'arretramento riscontrato è sostanzialmente avvenuto in maniera uniforme lungo il tratto di costa in esame e cioè che la linea di riva è "traslata" verso l'interno costa in direzione praticamente "parallela" a sè stessa, senza dare origine a "falcate" di avanzamento in una direzione o l'altra (e cioè verso Nord Ovest o Sud Est); in sostanza, dall'analisi della tendenza evolutiva storica della linea di costa, è presumibile che il fenomeno erosivo in atto sia da attribuire ad una dinamica in direzione prevalentemente trasversale alla linea di

costa e non a fenomeni di modellamento/trasporto in senso longitudinale, non avendo riscontrato la formazione di aree di marcato arretramento da un lato associate ad aree di accrescimento dall'altro.

7.3. CLIMA ONDOSI MEDIO SOTTOCOSTA

La valutazione del clima ondoso sottocosta risulta necessaria al fine di determinare la distribuzione energetica del moto ondoso lungo il tratto di costa oggetto di studio e, conseguentemente, individuare le cause dell'attuale trend erosivo della linea di costa, come ricavato dall'analisi storica precedentemente descritta al precedente par.

7.2.

Per la caratterizzazione del clima ondoso medio annuo sottocosta, ci si è riferiti ai risultati riportati nella "Relazione Idraulico-marittima" allegata al succitato Piano di Difesa delle Coste; in detta Relazione, con riferimento al paraggio in esame, sono riportate le persistenze medie annue e le frequenze di apparizione degli eventi ondosi sottocosta, classificati per direzione di provenienza e suddivisi per classi di altezza d'onda.

In particolare sono state considerate le seguenti 5 classi:

$$H_s = 0 \div 1.0 \text{ m}$$

$$H_s = 1.0 \div 2.0 \text{ m}$$

$$H_s = 2.0 \div 3.0 \text{ m}$$

$$H_s = 3.0 \div 4.0 \text{ m}$$

$$H_s > 4.0 \text{ m}$$

Per ciascuna classe è stato, altresì, fissato un valore rappresentativo della classe stessa, assunto pari a:

$$H_s = \frac{H_{s1} + H_{s2}}{2} \quad (18)$$

in cui:

H_{s1} = estremo superiore dell'intervallo;

H_{s2} = estremo inferiore dell'intervallo.

Il periodo significativo associato a ciascuna classe d'onda è stato ricavato dalla nota relazione di Grancini di seguito riportata :

$$T_s = 4.082 \cdot H_s^{0.513} \quad (19)$$

I valori di altezza e periodo significativi rappresentativi di ciascuna classe sono riportati nella successiva Tab. 1.

Classe	H _s (m)	T _s (s)
0 ÷ 1.0 m	0,50	2,90
1.0 ÷ 2.0 m	1,50	5,00
2.0 ÷ 3.0 m	2,50	6,50
3.0 ÷ 4.0 m	3,50	7,80
> 4.0 m	4,50	8,80

Tab. 1 – Classi di altezza d'onda significativa e relativi periodi

Nella Tab. 2 (rif. Tab. 1.43 inclusa nella Relazione Idraulico-marittima allegata al Piano di Difesa delle Coste), per ciascuna delle suindicate classi e per le diverse direzioni di provenienza, sono stati riportati i valori delle persistenze medie annue (ore/anno) valutate relativamente ad ogni direzione del settore di traversia; relativamente all'opera di sbocco di progetto, ubicata immediatamente a ridosso del molo di Nisida, il settore di traversia sottocosta è compreso tra le DD130°N e 240°N.

Località: Coroglio (Napoli)					
DD (°N)	0 < H _s ≤ 1,0 m	1,0 m < H _s ≤ 2,0 m	2,0 m < H _s ≤ 3,0 m	3,0 m < H _s ≤ 4,0 m	H _s > 4,0 m
0	1.70	-	-	-	-
10	6.32	-	-	-	-
20	18.59	-	-	-	-
30	5.35	-	-	-	-
40	0.12	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-
60	0.61	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-
100	0.12	-	-	-	-
110	0.67	-	-	-	-
120	0.67	-	-	-	-
130	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-
150	139.98	-	-	-	-
160	663.43	-	-	-	-
170	381.29	-	-	-	-
180	358.81	31.53	-	-	-
190	386.94	92.04	6.08	-	-
200	493.62	137.30	27.22	1.88	-
210	94.41	168.23	43.92	3.40	-
220	1126.12	140.04	0.18	-	-
230	1513.61	-	-	-	-
240	487.18	-	-	-	-
250	10.87	-	-	-	-
260	13.79	-	-	-	-
270	13.73	-	-	-	-
280	0.14	-	-	-	-
290	5.95	-	-	-	-
300	6.26	-	-	-	-
310	6.14	-	-	-	-
320	6.56	-	-	-	-
330	32.69	-	-	-	-
340	49.03	-	-	-	-
350	15.31	-	-	-	-

Tab. 2 – Persistenze medie annue (h/anno) per classe d'onda e direzione di provenienza

Dall'esame dei dati ricavati emergono le seguenti osservazioni, riferite al solo settore 130-240°N:

- le onde con la più elevata frequenza di apparizione sono quelle provenienti dal sub-settore 180°N-220°N, con una frequenza media annua complessivamente pari a circa il 47% del totale;
- le onde con altezze significative comprese nell'intervallo $0 < H_s < 1.00$ m risultano avere la maggiore frequenza di apparizione, valutata, complessivamente pari a circa il 94% del totale;
- i valori massimi di altezza d'onda, caratterizzati da un'altezza d'onda significativa, $H_s > 4.0$ m, sono connessi alle mareggiate provenienti dal settore 200°-210° N.

7.4. DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA CONNESSA AL MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Con riferimento a ciascuno degli stati di mare corrispondenti alle classi d'onda ed alle direzioni di provenienza prima indicati, si è proceduto alla valutazione del contenuto energetico globale medio annuo sottocosta connesso a ciascuna classe e ad ogni direzione.

Detta energia, per unità di lunghezza del fronte d'onda incidente, è data dall'espressione:

$$E = nH_s^2 T_s \text{ (m}^2\text{s)} \quad (20)$$

in cui:

n = numero di onde ($n = d \times 3600 / T_s$);

d = durata dell'evento (h)

H_s = altezza d'onda significativa sottocosta (m);

T_s = periodo d'onda significativo (s)

Il valore di $n H_s^2 T_s$ è stato calcolato per ciascuno degli stati di mare relativi alle diverse classi d'onda e direzioni ricadenti nel settore di traversia, caratterizzati da una determinata persistenza; nella tabella seguente (tab. 3), per ciascuna delle classi d'onda e direzioni di provenienza del moto ondoso di largo, sono stati riportati i valori delle persistenze medie annue, d , espresse in ore/anno ed i valori dei prodotti $n_i H_{si}^2 T_{si}$ rappresentativi, come detto, del contenuto energetico connesso allo stato di mare considerato.

DD (°N)	Hs	T s	d (h)	n	nHs ² Ts	nHs/Ts ²
130	0,50	2,90	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
130	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
130	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
130	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
130	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	0,00E+00	0,00E+00
140	0,50	2,90	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
140	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
140	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
140	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
140	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	0,00E+00	0,00E+00
150	0,50	2,90	139,98	1,74E+05	1,26E+05	1,03E+04
150	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
150	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
150	3,50	7,80	0,96	4,42E+02	4,23E+04	2,54E+01
150	4,50	8,80	0,22	9,19E+01	1,64E+04	5,34E+00
				Totale:	1,85E+05	1,04E+04
160	0,50	2,90	663,43	8,24E+05	5,97E+05	4,90E+04
160	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
160	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
160	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
160	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	5,97E+05	4,90E+04
170	0,50	2,90	381,29	4,73E+05	3,43E+05	2,81E+04
170	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
170	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
170	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
170	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	3,43E+05	2,81E+04
180	0,50	2,90	358,81	4,45E+05	3,23E+05	2,65E+04
180	1,50	5,00	31,53	2,27E+04	2,55E+05	1,36E+03
180	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
180	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
180	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	5,78E+05	2,78E+04
190	0,50	2,90	386,94	4,80E+05	3,48E+05	2,86E+04
190	1,50	5,00	92,04	6,63E+04	7,46E+05	3,98E+03
190	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
190	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
190	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	1,09E+06	3,25E+04
200	0,50	2,90	493,62	6,13E+05	4,44E+05	3,64E+04
200	1,50	5,00	137,30	9,89E+04	1,11E+06	5,93E+03
200	2,50	6,50	27,22	1,51E+04	6,12E+05	8,92E+02
200	3,50	7,80	1,88	8,68E+02	8,29E+04	4,99E+01
200	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	2,25E+06	4,33E+04
210	0,50	2,90	94,41	1,17E+05	8,50E+04	6,97E+03
210	1,50	5,00	168,23	1,21E+05	1,36E+06	7,27E+03
210	2,50	6,50	43,92	2,43E+04	9,88E+05	1,44E+03
210	3,50	7,80	3,40	1,57E+03	1,50E+05	9,03E+01
210	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	2,59E+06	1,58E+04
220	0,50	2,90	1126,12	1,40E+06	1,01E+06	8,31E+04
220	1,50	5,00	140,04	1,01E+05	1,13E+06	6,05E+03
220	2,50	6,50	0,18	9,97E+01	4,05E+03	5,90E+00
220	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
220	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	2,15E+06	8,92E+04
230	0,50	2,90	1513,61	1,88E+06	1,36E+06	1,12E+05
230	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
230	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
230	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
230	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	1,36E+06	1,12E+05
240	0,50	2,90	487,18	6,05E+05	4,38E+05	3,60E+04
240	1,50	5,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
240	2,50	6,50	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
240	3,50	7,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
240	4,50	8,80	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
				Totale:	4,38E+05	3,60E+04

Tab. 3 – Flussi energetici medi annui sottocosta per classe d'onda e direzione di provenienza

DD (°N)	$nH_s^2 T_s$ (m ² s)
130	0,00E+00
140	0,00E+00
150	1,85E+05
160	5,97E+05
170	3,43E+05
180	5,78E+05
190	1,09E+06
200	2,25E+06
210	2,59E+06
220	2,15E+06
230	1,36E+06
240	4,38E+05

Tab. 4 – Flussi energetici medi annui sottocosta – totali per direzione

La risultante energetica media annua sottocosta è stata ricavata dalla composizione vettoriale dei suindicati valori di $\sum_i n_i H_{si}^2 T_{si}$; si è ottenuto che il vettore risultante sottocosta si presenta orientato lungo la **208°N**.

Si evince, pertanto, che lungo il tratto di costa in esame, la risultante energetica è diretta verso Nord-Ovest e forma un angolo di circa **12°** con la normale alla linea di costa (inclinata all'incirca secondo la 220°N); lungo tale tratto, pertanto, nell'anno medio risultano essere prevalenti gli stati di mare cui è connessa un'azione di modellamento dovuta al moto ondoso in direzione prevalentemente trasversale alla costa con una lieve componente diretta verso Nord-Ovest che determina la formazione di modeste correnti costiere longitudinali (correnti *longshore*) nella stessa direzione.

7.5. ANALISI DEI FENOMENI DI INTERAZIONE

La prevalente azione trasversale del moto ondoso trova riscontro con l'analisi storica dei fenomeni evolutivi della linea di costa, da cui si è osservato una tendenza erosiva da ascrivere sostanzialmente ad un'azione di "asportazione" dei sedimenti che si è sviluppata (soprattutto nel decennio 2007-2017) in senso prevalentemente ortogonale rispetto alla linea di costa.

Il trend evolutivo storico osservato, unitamente alla valutazione della distribuzione energetica del moto ondoso sottocosta, comporta pertanto che gli interventi di progetto non determinano particolari fenomeni di interazione con la dinamica costiera che ne possano alterare l'attuale regime; il nuovo pennello (in parte emerso ed in parte sommerso) che è orientato in direzione ortogonale alla linea di costa ed è quindi parallelo al molo di Nisida, continuerà ad esercitare sul breve tratto di litorale in esame la stessa "azione" fino ad oggi espletata dal suddetto molo, fungendo da "punto fisso" di estremità della pocket beach oggetto di studio.

A seguito della realizzazione delle opere di progetto, è pertanto da prevedere una sostanziale stabilità del trend evolutivo della linea di riva negli anni futuri, in conformità a quanto avvenuto negli ultimi 6-7 anni lungo il tratto di costa in esame; ciò in quanto le nuove opere a scogliera (pennello) sono orientate parallelamente quelle esistenti (molo di Nisida) e sono ubicate a breve distanza dalle stesse (circa 20 m). Esse quindi "assecondano" l'attuale trend evolutivo della linea di costa, dovuto, come detto, ad un'azione prevalentemente trasversale del moto ondoso incidente e non si "oppongono" ad esso, come viceversa sarebbe avvenuto nel caso di opere disposte in direzione parallela alla costa; queste ultime, viceversa, avrebbero contribuito in maniera più efficace alla protezione della linea di costa dall'azione trasversale del moto ondoso, ma, parallelamente, avrebbero determinato probabili fenomeni di interrimento a tergo (effetto di "tombolizzazione"), con parziale o totale occlusione della nuova bocca di scarico prevista in progetto.