CANTIERI DEL MEDITERRANEO

CAPO VERDE- SANREMO



PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI PROTEZIONE COSTIERA E RICOSTRUZIONE MOLO DI ALAGGIO DEI CANTIERI DEL MEDITERRANEO IN LOCALITA' CAPO VERDE A SANREMO

PROGETTISTA:

ING. PIERFRANCESCO RUSSO

VIA ROMA 119
18038 SANREMO
TEL. 0184/840639 FAX 0184/840639
EMAIL ing.pierfrancescorusso@gmail.com

COMMITTENTE:

CANTIERI DEL MEDITERRANEO srl

C. MAZZINI FOCE ARMEA
18038 SANREMO

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

Giovanni Spissu

STUDI IDRAULICO-MARITTIMI: Ing. Giovanni Spissu Genova

ASPETTI GEOLOGICI: Dott. Geol. Marco Martolini Sanremo

ELABORATO C	DATA: SETTEMBRE 2019	SCALA:

OGGETTO TAVOLA:

RELAZIONE TECNICA:
MODELLO MORFODINAMICO TRIDIMENSIONALE

REV. N°	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	ESEGUITO	APPROVATO	VALIDATO

CANTIERI DEL MEDITERRANEO

(PROVINCIA DI IMPERIA)

Intervento di manutenzione straordinaria di protezione costiera e ricostruzione del molo di alaggio dei cantieri del mediterraneo In località Capo Verde (Sanremo)

/RELAZIONE TECNICA: Studio Morfologico tridimensionale

INDICE DEGLI ARGOMENTI TRATTATI

0. Descrizione dello studio effettuato
0.1 Introduzione
0.2 Generalità
0.3 Brevi cenni sui risultati ottenuti

1. Inquadramento dello studio
1.1. Parametri meteomarini
1.2. Parametri sedimentologici
1.3. Studio meteomarino su acqua bassa

2. Tendenza evolutiva del litorale attorno all'area in esame
2.1 Premessa
2.2 Calcolo della tendenza evolutiva

3. Studio Idraulico-marittimo della foce del T. Armea
3.1 Premessa
3.2 Verifiche di Calcolo

4. Conclusioni

Elaborati grafici di riferimento:

a) Tav.0-Gr.0.1 - Andamento Fondale Stato Attuale
b) Tav.1-Gr.1.1 - Andamento Fondale Stato di Progetto
c) Tav.2-Gr.2.1 - Stato Attuale - Piani d'onda – Libeccio H=0.90 m - Periodo d'onda T=4.08 s
d) Tav.2-Gr.2.2 - Stato Attuale - Piani d'onda – Libeccio H=1.70 m - Periodo d'onda T=5.60 s
e) Tav.2-Gr.2.3 - Stato Attuale - Piani d'onda – Libeccio H=4.80 m - Periodo d'onda T=9.42 s
f) Tav.2-Gr.2.4 - Stato Attuale - Piani d'onda – Libeccio H=8.00 m - Periodo d'onda T=12.16 s
g) Tav.3-Gr.3.1 - Stato Attuale - Piani d'onda – Scirocco H=0.65 m - Periodo d'onda T=3.47 s
h) Tav.3-Gr.3.2 - Stato Attuale - Piani d'onda – Scirocco H=1.15 m - Periodo d'onda T=4.61 s

Studio di Ingegneria Marittima
Ing. Giovanni SPISSU
Via Puggia 23B - 16131 Genova
Tel./Fax 010/8366648
e-mail giovaspissu@tiscalinet.it

WaveTrasportEvolutionProgramm



i) Tav.3-Gr.3.3 - Stato Attuale - Piani d'onda – Scirocco H=2.10 m - Periodo d'onda T=6.23 s
j) Tav.3-Gr.3.4 - Stato Attuale - Piani d'onda – Scirocco H=3.30 m - Periodo d'onda T=7.81 s
k) Tav.4-Gr.4.1- Stato di Progetto - Piani d'onda – Libeccio H=0.90 m - Periodo d'onda T=4.08
l) Tav.4-Gr.4.2- Stato di Progetto - Piani d'onda – Libeccio H=1.70 m - Periodo d'onda T=5.60 s
m) Tav.4-Gr.4.3- Stato di Progetto - Piani d'onda – Libeccio H=4.80 m - Periodo d'onda T=9.42 s
n) Tav.4-Gr.4.4- Stato di Progetto - Piani d'onda – Libeccio H=8.00 m - Periodo d'onda T=12.16 s
o) Tav.5-Gr.5.1- Stato di Progetto - Piani d'onda – Scirocco H=0.65 m - Periodo d'onda T=3.47 s
p) Tav.5-Gr.5.2- Stato di Progetto - Piani d'onda – Scirocco H=1.15 m - Periodo d'onda T=4.61 s
q) Tav.5-Gr.5.3- Stato di Progetto - Piani d'onda – Scirocco H=2.10 m - Periodo d'onda T=6.23 s
r) Tav.5-Gr.5.4 - Stato di Progetto - Piani d'onda – Scirocco H=3.30 m - Periodo d'onda T=7.81 s
s) Tav.6-Gr.6.1 - Stato Attuale- Andamento Onda – Libeccio H=0.90 m - Periodo d'onda T=4.08
t) Tav.6-Gr.6.2 - Stato Attuale- Andamento Onda – Libeccio H=1.70 m - Periodo d'onda T=5.60 s
u) Tav.6-Gr.6.3 - Stato Attuale- Andamento Onda – Libeccio H=4.80 m - Periodo d'onda T=9.42 s
v) Tav.6-Gr.6.4 - Stato Attuale- Andamento Onda – Libeccio H=8.00 m - Periodo d'onda T=12.16 s
w) Tav.7-Gr.7.1 - Stato Attuale- Andamento Onda – Scirocco H=0.65 m - Periodo d'onda T=3.47 s
x) Tav.7-Gr.7.2 - Stato Attuale- Andamento Onda – Scirocco H=1.15 m - Periodo d'onda T=4.61 s
y) Tav.7-Gr.7.3 - Stato Attuale- Andamento Onda – Scirocco H=2.10 m - Periodo d'onda T=6.23 s
z) Tav.7-Gr.7.4 - Stato Attuale- Andamento Onda – Scirocco H=3.30 m - Periodo d'onda T=7.81 s
aa) Tav.8-Gr.8.1 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Libeccio H=0.90 m - Periodo d'onda T=4.08
bb) Tav.8-Gr.8.2 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Libeccio H=1.70 m - Periodo d'onda T=5.60 s
cc) Tav.8-Gr.8.3 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Libeccio H=4.80 m - Periodo d'onda T=9.42 s
dd) Tav.8-Gr.8.4 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Libeccio H=8.00 m - Periodo d'onda T=12.16 s
ee) Tav.9-Gr.9.1 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Scirocco H=0.65 m - Periodo d'onda T=3.47 s
ff) Tav.9-Gr.9.2 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Scirocco H=1.15 m - Periodo d'onda T=4.61 s
gg) Tav.9-Gr.9.3 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Scirocco H=2.10 m - Periodo d'onda T=6.23 s
hh) Tav.9-Gr.9.4 - Stato di Progetto- Andamento Onda – Scirocco H=3.30 m - Periodo d'onda T=7.81 s
ii) Tav.10-Gr.10.1 - Stato Attuale- Andamento Trasporto solido
jj) Tav.10-Gr.10.2 - Stato di Progetto- Andamento Trasporto solido

0. Descrizione dello studio effettuato

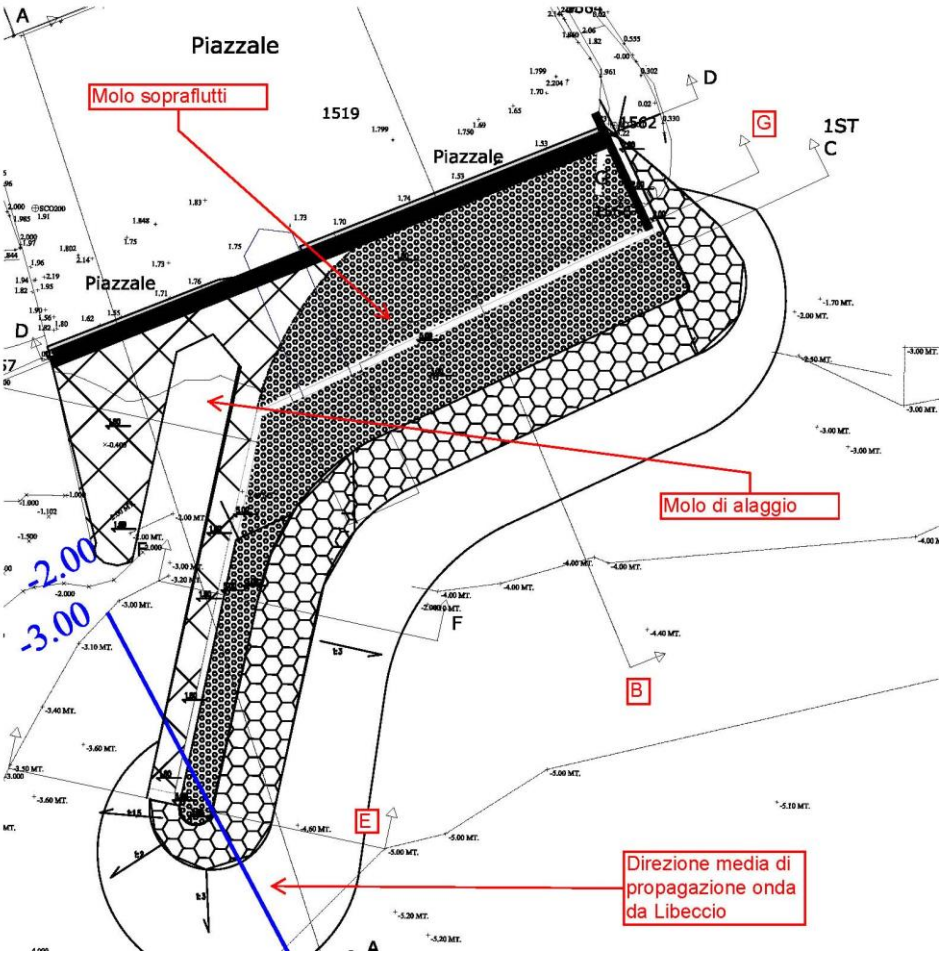
0.1 Introduzione

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di opere necessarie per la difesa costiera delle attuali infrastrutture cantieristiche navali in concessione alla Società Cantieri del Mediterraneo.
In dettaglio, come mostrato nelle planimetrie progettuali si prevedono le seguenti opere:

- Molo sopraflutti costituito da una scogliera di protezione e relativo muro paraonde (parallelo alla costa);
- Molo di alaggio.

In dettaglio l'opera in progetto è mostrata nella seguente figura:

FIGURA N°1: Planimetria generale di progetto



0.2 Generalità

Lo studio si compone delle seguenti parti:

Paragrafo 1. Inquadramento dello studio contenente i parametri necessari per la modellazione e lo studio meteomarino:
1.1. parametri meteomarini e sedimentologici
1.2. studio meteomarino
Paragrafo 2. Tendenza evolutiva del litorale attorno all'area in esame contenente le valutazioni di calcolo della tendenza evolutiva del litorale attorno all'area in esame:
2.1 Premessa
2.2 Calcolo della tendenza evolutiva
Paragrafo 3. Studio Idraulico-marittimo della foce del T. Armea: contenente le valutazioni idraulico-marittime relative alla foce del T. Armea:
3.1 Premessa
3.2 Verifiche di Calcolo

0.3 Brevi cenni sui risultati ottenuti

Lo studio illustra l'idrodinamica dell'area esterna ed interna al molo di alaggio di Capo Verde, in corrispondenza dei regimi meteomarini più frequenti, al fine di valutare la tendenza evolutiva del litorale nel paraggio in esame.
Il tratto di costa in oggetto presenta una forte caratterizzazione antropica: sia a levante che a ponente della foce del t. Armea sono infatti presenti terrapieni artificiali delimitati da scogliere in massi naturali.
Come mostrato nella relazione preliminare ambientale, il litorale posto a levante della foce del t. Armea, unico tratto non soggetto ad interventi antropici, è rimasto pressoché invariato negli ultimi 70 anni.

Le risultanze dello studio sono le seguenti:

- La disponibilità di materiale al fondo nell'area in oggetto risulta piuttosto limitata. Tale circostanza è dovuta alla presenza di un litorale fortemente antropizzato ed anche dallo scarso apporto di materiale al fondo del T. Armea.
- Tale aspetto non consente un trasporto litoraneo apprezzabile sia da levante che da ponente.
- Nella zona del molo di alaggio non si prevedono apporti di materiale al fondo né da ponente e né eventualmente da levante (infatti la profondità di frangimento delle ondazioni più frequenti da scirocco, risulta sempre inferiore alla profondità della testata molo sopraflutti);
- La nuova configurazione di progetto non varia, in generale, il regolare deflusso del T. Armea.

1. Inquadramento dello studio

1.1. parametri meteomarini

1.1.0 Dati storici a disposizione

I dati utilizzati per le simulazioni sono i seguenti:

- dati metereologici (campo di vento) prelevati dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina;
- dati meteomarini prelevati dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina;

I dati metereologici di velocità e direzione del vento, prelevati dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina, si riferiscono al paraggio di Bordighera. Tramite un appropriato modello numerico si esegue una conversione di tali dati in altezza e frequenza d'onda significativa.

Ricavate le caratteristiche del moto ondoso su profondità infinita, in base ai dati suddetti, si procede alla determinazione dei parametri da utilizzare nel modello numerico impiegato per la valutazione del regime meteomarino su acqua bassa (modello di propagazione spettrale - Università degli Studi di Genova - Istituto di Idraulica - G. Scarsi -G. Spissu)

In particolare, tali parametri si tarano in base ai risultati del modello spettrale per la profondità infinita. La propagazione del moto ondoso si esegue impiegando i dati batimetrici del paraggio di Capo Verde, ricavati da un rilievo del 2003 e dalle carte batimetriche dell'Istituto Idrografico della Marina.

1.1.1 Determinazione delle altezze d'onda spettrali su profondità infinita considerando i dati di vento a disposizione

Nella pubblicazione "Il vento e lo stato del mare" dell'Istituto Idrografico della Marina sono raccolte le frequenze medie percentuali dell'intensità del vento per le direzioni della rosa dei venti. Esse sono state ottenute dalle osservazioni ricavate dall'anemometro situato a Bordighera ed avente quota di 67 m sopra il livello del mare.

Le direzioni relative alle frequenze medie più alte sono quelle corrispondenti alle direzioni:

- E-SE, corrispondente ad uno stato del mare di scirocco;
- W-SW, corrispondente ad uno stato del mare di libeccio.

Per ogni frequenza sono state dedotte le velocità del vento raccolte nella tabella seguente:

Direzione E - SE		**Direzione W - SW**	
Frequenza %	Veloc. Vento (m/s)	Frequenza %	Veloc. Vento (m/s)
9.50	3.70	7.50	1.55
12.00	5.55	5.30	5.55
3.50	10.75	1.00	10.75
0.30	25.00	0.05	25.00

Cfr. Tabella. Si evidenzia che le suddette frequenze sono riferite a tutte le direzioni comprese nella rosa dei venti e quindi la somma di ogni colonna non può essere pari all'unità.

I dati suddetti, si calibrano per l'inserimento nel modello di conversione. La calibrazione si effettua mediante alcune correzioni, che nel caso in oggetto sono:

1. correzione per la quota dell'anemometro;
2. correzione per la localizzazione a terra dell'anemometro;
3. correzione per ottenere la velocità efficace per la generazione;

Nel paragrafo successivo sono esposte le quattro correzioni suddette, evidenziando per ognuna i dati di vento prima e dopo la correzione.

1.1.1.1 Correzione dei dati metereologici

Il modello di conversione utilizza velocità del vento riferite alla quota di 10 m sul livello del mare. I dati rilevati sono invece riferiti alla **quota anemometrica di 67 m sul livello del mare**. Si è quindi operata una correzione dei dati suddetti, tenendo in conto la perdita di potenza del vento per l'interazione con lo strato limite areodinamico. Il calcolo è stato eseguito con la seguente formula:

$$U(10) = U(y) * \left(\frac{y}{y_{10}}\right)^{\left(-1/7\right)}$$

ove:

- U(10) è la velocità del vento alla quota di 10 m;
- U(y) è la velocità del vento alla quota y=67 m;
- y=67m;
- y10=10 m;

Le velocità del vento prima e dopo la correzione, sono riportate nella tabella seguente:

U(y) (m/s)	**U(10)** (m/s)
3.70	2.50
5.55	4.23
10.75	8.19
25.00	19.05

Cfr. Tabella. Le velocità del vento alla quota di 10 m sono minori di quelle riferite alla quota anemometica di 67 m, per effetto dell'interazione con lo strato limite areodinamico.

Per tener conto della **localizzazione a terra dell'anemometro** e cioè della diversa resistenza che il vento incontra a terra, rispetto a quella che incontra a mare, si è applicato un adeguato coefficiente correttivo.

La correzione è indipendente dalla direzione del vento ed i coefficienti correttivi sono mostrati nella tabella seguente:

Velocità del vento U(10) (m/s)	**Coefficiente correttivo RL**
2.82	1.75
4.23	1.5
8.19	1.25
19.05	0.90

Cfr. Tabella. Il coefficiente RL risulta maggiore di 1 per bassi valori di velocità del vento (la resistenza incontrata dal vento a terra è maggiore di quella sul mare), viceversa per gli alti valori di questa risulta minore di 1 (la resistenza incontrata dal vento a terra è minore di quella sul mare, dove le onde possono risultare, date le alte velocità, particolarmente severe).

La velocità misurata con l'anemometro, corrisponde generalmente al valore massimo rilevato nell'intervallo del tempo di osservazione (qualche minuto). Per adattare le singole osservazioni alla durata dello stato del mare in osservazione (circa 20 minuti), si deve adottare un adeguato coefficiente correttivo.
Moltiplicando la velocità del vento riferita alla quota di 10 m, per i coefficienti correttivi RL ed RF, si ottiene **la velocità efficace per la generazione.**

La correzione RF è indipendente dalla direzione del vento.

Velocità del vento U(10) (m/s)	**Coefficiente correttivo RF**	**Velocità del vento corretta** (m/s)
2.82	1.01	4.49
4.23	0.94	5.90
8.19	0.92	10.85
19.05	0.83	19.90

Cfr. Tabella. Il coefficiente RF è pari a 1 (valore di riferimento) per uno stato del mare di durata 1 h.

1.1.1.2 Modello di conversione dati metereologici - dati meteomarini

Il modello di conversione, si basa sulle seguenti fasi di calcolo:
A. determinazione dei parametri adimensionali del fetch e della durata;
B. determinazione del regime meteomarino;

Nei paragrafi successivi, sulla base di queste determinazioni, verranno ricavati l'altezza ed il periodo d'onda spettrali, sulla profondità infinita, che permettono di implementare lo spettro di energia.

Al punto A, si eseguono in dettaglio le seguenti operazioni:
1A. Determinazione del parametro adimensionale del fetch; desunto a partire dalla seguente relazione:

$$\overline{x} = gx / U_o^{\,2}$$

ove:

- g è l'accellerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/sec^2;
- x è il fetch, cioè l'estensione di mare priva di ostacoli che possano impedire la propagazione del moto ondoso;
- Uo è la velocità del vento alla quota di 10 m e corretta come visto nel paragrafo precedente;

2A. Determinazione del parametro adimensionale della durata; desunto a partire dalla seguente relazione:

$$\bar{t} = gt / U_o$$

ove:

- g è l'accellerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/sec^2;
- t è la durata del vento;
- Uo è la velocità del vento alla quota di 10 m e corretta come visto nel paragrafo precedente;

Al punto B si eseguono in dettaglio le seguenti operazioni:

1B. Calcolo del parametro minimo adimensionale della durata:

$$\bar{t}_m = gt_m / U_o = 21.88 * (gx / U_o^{\,2})^{0.797}$$

ove:

- g è l'accellerazione di gravità, assunta pari a 9,81 m/sec^2;
- tm è la durata minima del vento per il regime stazionario;
- x è il fetch;
- Uo è la velocità del vento alla quota di 10 m e corretta come visto nel paragrafo precedente;

2B. Determinazione del regime meteomarino.

Confrontando il parametro minimo adimensionale della durata (punto 2A), con il parametro adimensionale della durata (punto 1B), si determina il regime meteomarino. In dettaglio si ha:

$$gt / U_o \geq gt_m / U_o \qquad \text{regime stazionario}$$

$$gt / U_o \leq gt_m / U_o \qquad \text{regime transitorio}$$

3B. Assunzione dei parametri del fetch e della durata del vento.

Per le due traversie considerate, libeccio (W-SW) e scirocco (E-SE), sono stati assunti i seguenti parametri:

- libeccio: x=800 Km t=36h;
- scirocco: x=200 Km t=12h;

ove:

- t è la durata media delle burrasche di vento;
- x è il fetch;

4B. Valutazione del regime meteomarino.

Nella tabella seguente sono indicati, per ogni valore di velocità del vento, i regimi meteomarini di appartenenza:

Direzione W - SW				Direzione E - SE			
U_0 (m/s)	gt/ U_0	gt_m/ U_0	R.M.	U_0 (m/s)	gt/ U_0	gt_m/ U_0	R.M.
4.50	282242	621225	**transitorio**	4.50	94081	205782	**transitorio**
6.30	201802	363923	**transitorio**	6.30	67267	120550	**transitorio**
13.33	95374	110197	**transitorio**	13.33	31791	36503	**transitorio**
28.11	45225	33545	**stazionario**	28.11	15075	11112	**stazionario**

Il significato dei simboli adottati è il seguente:

- Uo è la velocità del vento alla quota di 10 m e corretta come visto nel paragrafo precedente;
- gt/ U0 è il parametro adimensionale della durata;
- gtm/ U0 è il parametro minimo adimensionale della durata;
- R.M. significa: regime meteomarino.

Regime stazionario, significa che l'area interessata dalla burrasca di vento di durata t, determina un moto ondoso mediamente organizzato.
Nel regime transitorio, che si registra per intensità di vento più basse, il moto ondoso è ancora nella fase di generazione.

Nella tabella seguente, sono riepilogate le intensità del vento per le varie frequenze medie percentuali di accadimento.

Direzione W - SW			**Direzione E - SE**		
Freq. %	U_0 (m/s)	R.M.	Freq. %	U_0 (m/s)	R.M.
9.50	4.50	**transitorio**	7.50	4.50	**transitorio**
12.00	6.30	**transitorio**	5.30	6.30	**transitorio**
3.50	13.33	**transitorio**	1.00	13.33	**transitorio**
0.30	28.11	**stazionario**	0.05	19.90	**stazionario**

1.1.1.3 Stima dei parametri spettrali e determinazione dell'altezza e del periodo d'onda spettrale.

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

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

ove:

- $S_{PH_o}(f) = (\alpha_o / 2) * g^2 * (2\pi)^{-4} * f^{-5}$ è lo spettro in frequenza di Philips;
- $\Phi_{PM_o}(f, f_{p_o}) = \exp\left\{-1.25 * (f / f_{p_o})^{-4}\right\}$ 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;

I parametri dello spettro sono dunque:
1. frequenza di picco: pari ad f_{po} su profondità infinita;
2. parametro di equilibrio α_o;
3. fattore di amplificazione dello spettro γ_o ;
4. parametro di larghezza del picco ω_o ;

In riferimento a quanto ricavato al punto 1.1.2. , dove è stato valutato il regime metomarino per le due direzioni di traversia considerate, sono stati determinati i parametri spettrali. Le relazioni impiegate sono le seguenti:

1. frequenza di picco: $f_{p_o} = 3.5 \cdot \bar{x}^{-0.33} g / U_o$;
2. parametro di equilibrio: $\alpha_o = 0.076 \cdot \bar{x}^{-0.22}$;
3. fattore di amplificazione dello spettro $\gamma_o = 3.3$;
4. parametro di larghezza del picco $\omega_o = 0.07$ per $f \le f_{p_o}$
   $\omega_o = 0.09$ per $f \ge f_{p_o}$;

Nelle tabelle seguenti sono raccolti i valori dei parametri spettrali, ricavati per le due direzioni di traversia considerate.

Per la traversia di libeccio (W-SW), x=800 Km t=36h, si ha

DIREZIONE W - SW				
Freq. %	U_0 (m/s)	f_{po} (Hz)	α_o	γ_o
7.50	2.77	0.201001843	0.004872399	3.3
5.30	5.90	0.129156166	0.006001624	3.3
1.00	13.33	0.090381846	0.007101226	3.3
0.05	19.90	0.065893609	0.008619441	3.3

Per la traversia di scirocco (E-SE), avente x=200 Km e t=12h, si ha

DIREZIONE E - SE				
Freq. %	U_0 (m/s)	f_{po} (Hz)	α_o	γ_o
9.50	2.77	0.316810675	0.006598967	3.3
12.00	5.90	0.203570532	0.008128342	3.3
3.50	13.33	0.142456076	0.009617596	3.3
0.30	19.90	0.104117347	0.011693171	3.3

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.
I risultati sono raccolti in tabella per le due direzioni di traversia considerate:

Direzione E - SE				Direzione W - SW			
U_0 (m/s)	m_0 (m^2)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	U_0 (m/s)	m_0 (m^2)	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)
2.77	0.0130	0.46	3.05	2.77	0.0560	0.95	4.39
5.90	0.0820	1.15	4.83	5.90	0.4050	2.55	7.20
13.33	0.4000	2.53	7.18	13.33	1.9980	5.65	10.73
19.90	1.7100	5.23	10.32	19.90	8.5900	11.72	15.45

Cfr. Tabella. Si notino le differenze tra le due traversie considerate ad esempio in termini di altezza spettrale: nella traversia di libeccio, a parità di velocità del vento, si hanno moti ondosi più severi. Ciò è dovuto al fatto che il fetch e la durata del vento sono maggiori di quelli corrispondenti alla traversia di scirocco.

1.1.2 Confronto dei risultati ottenuti con i dati meteomarini a disposizione

1.1.2.1 Dati meteomarini prelevati dalle pubblicazioni dell'Istituto Idrografico della Marina

I dati meteomarini a disposizione, sono riferiti al paraggio di Bordighera.
Nella tabella seguente, sono riportati i dati ricavati sulla base di osservazioni giornaliere relative ad un periodo di 6 anni. Essi sono riferiti al massimo mare verificatosi nei singoli mesi dell'anno. Sono raccolte la frequenza in giorni, relativa frequenza nei 6 anni di osservazione, e la direzione di provenienza delle mareggiate:

MESE	**STATO DEL MARE**	**FREQUENZA IN GIORNI**	**DIREZIONE DI PROVENIENZA**
Gennaio	6	2	1 S-SW 1 W-SW
Febbraio	6	2	1 E 1 W-SW
Marzo	5	4	3 E 1 SW
Aprile	5	5	2 E 2 W 1 W -SW
Maggio	5	1	E
Giugno	5	3	1 E 1 SW 1 W-SW
Luglio	5	1	SE
Agosto	5	3	1E 1SW 1 W-SW
Settembre	5	4	1 E-NE 1E 2 W-SW
Ottobre	5	2	2E
Novembre	6	1	E
Dicembre	6	1	E
Totale		**29**	

Cfr. Tabella. Lo stato del mare forza 6, corrisponde ad un altezza d'onda compresa fra 4 e 6 metri; lo stato del mare forza 5, corrisponde ad un altezza d'onda compresa fra 2.5 e 4 metri.

Si noti che:

- gli stati di mare più severi, sono nella maggior parte dei casi, provenienti da W - SW (traversia di libeccio) e da E - SE (scirocco).

- 12 casi sui 29 osservati, cioè il 40 % circa, hanno direzione di provenienza di libeccio, di cui 3 casi con stato del mare forza 6, ed i rimanenti 9 con stato del mare forza 5.
- 10 casi sui 29 osservati, cioè il 35% circa, hanno direzione di provenienza di scirocco, di cui 3 casi con stato del mare forza 6, ed i rimanenti 7 con stato del mare forza 5.

Le suddette rilevazioni confermano le indicazioni dedotte dal modello di conversione dei dati di vento in stati del mare.

1.1.3 Conclusioni

I dati di Altezza e periodo d'onda spettrali (modello dello spettro di energia) sono raccolti nella tabella seguente:

Modello dello spettro di energia					
Direzione W - SW			**Direzione E - SE**		
Freq. %	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)	Freq. %	H_{mo} (m)	T_{mo} (s)
7.50	0.90	4.08	9.50	0.65	3.47
5.30	1.70	5.60	12.00	1.15	4.61
1.00	4.80	9.42	3.50	2.10	6.23
0.05	8.00	12.16	0.30	3.30	7.81

Considerando che il modellamento del fondo è dovuto a stati di mare molto frequenti, si considerano nelle valutazioni numeriche eseguite nelle relazioni successive, gli stati di mare corrispondenti alla prime tre righe della tabella.

1.2. Parametri sedimentologici

In questo paragrafo si illustrano i parametri sedimentologici dedotti dagli studi effettuati nella zona (a disposizione dello scrivente), da impiegare nel modello preliminare della tendenza evolutiva del litorale.

1.2.1 Schematizzazione del fondale

Il fondale su cui opera il modello di propagazione spettrale è una schematizzazione del fondale reale. Esso viene prodotto attraverso un modello numerico tridimensionale che funziona nella seguente maniera :

a) restituzione del fondale rilevato su file AUTOCAD tridimensionale. Le batimetriche vengono assimilate a polilinee tridimensionali.
b) integrazione delle batimetriche rilevate a riva con le batimetriche a largo ottenute dalla carta dell'istituto Idrografico della Marina di Genova (in commercio) del litorale in esame.
c) creazione del file AUTOCAD tridimensionale completo del fondale.
d) introduzione di questo nel modello ed elaborazione del fondale su un reticolo a maglie quadrate di lato 10x10 metri.
e) creazione del file AUTOCAD di schematizzazione del fondale. La sovrapposizione con il rilievo effettuato ha dato risultati soddisfacenti e compatibili con la realtà.
f) creazione del file profondità del fondale. Su ogni punto del reticolo del fondale (creato al punto d) si ricava per interpolazione la profondità. Il file del reticolo delle profondità si introduce nel modello di propagazione spettrale.

1.2.2 Caratteristiche dei sedimenti alle varie profondità nelle sezioni in corrispondenza dell'area in esame

Di seguito si illustrano le caratteristiche dei sedimenti nelle sezioni rilevate dell'area in esame relative allo stato attuale e dedotte dall'indagine granulometrica.

Tab. C1.1 PARAMETRI SEDIMENTOLOGICI DEI CAMPIONI PRELEVATI NELL'AREA D'INTERVENTO

Parametro	Campione Profondità 4 m	Campione Profondità 8 m	Campione Profondità 12 m	Campione Profondità 16 m		
D_{16} (mm)	10.61	1.85	2.20	3.55		
D_{35} (mm)	3.15	1.26	1.57	2.33		
D_{50} (mm)	2.32	0.95	1.29	1.73		
D_{84} (mm)	0.65	0.53	0.82	0.93		
D_{90} (mm)	0.49	0.11	0.70	0.76		
% Sabbia	45	87	84	57		

1.3. Studio meteomarino su acqua bassa

1.3.1. Introduzione

Nella presente relazione si illustrano i risultati dell'applicazione del modello spettrale di propagazione del moto ondoso nell'area di interesse. Per ogni traversia si descrive:

* l'andamento planimetrico delle ortogonali d'onda.
* I valori di altezza d'onda in corrispondenza dell'imboccatura del bacino portuale, e della spiaggia in corrispondenza della foce del Torrente Armea.

Ogni ortogonale d'onda è riferita alle condizioni meteomarine a largo, che sono definite per ogni traversia da:

* altezza d'onda spettrale
* periodo d'onda spettrale

Nella propagazione spettrale dell'energia del moto ondoso dal largo alle profondità di riferimento, si impone la costanza del periodo d'onda. Tale assunzione è pienamente soddisfatta nelle presenti condizioni operative.

1.3.2. Traversia di Libeccio: direzione media di avanzamento 194°N

1.3.2.1 Caratteristiche del moto ondoso a largo

Le caratteristiche del moto ondoso a largo, per le ondazioni più frequenti sono illustrate nella tabella seguente :

Tab. 2.1 : DIREZIONE DI TRAVERSIA DA LIBECCIO 194° N
CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO A LARGO

Settore di traversia	**Direzione media di provenienza rispetto al** N (°)	Altezza d'onda (m)	Periodo d'onda (s)	Frequenza di accadimento **(%)**
Libeccio 174°N- 213°N	194°	0.90	4.08	**7.50**
		1.70	5.60	**5.30**
		4.80	9.42	**1.00**

1.3.2.2. Caratteristiche del moto ondoso su acqua bassa

Nel presente paragrafo si illustrano le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dell'opera.

1.3.2.2.1 Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 0.90 m – Periodo pari a 4.08 s

L'andamento delle ortogonali d'onda su acqua bassa può essere schematizzato nel seguente modo :

* il tratto compreso tra la profondità infinita e la batimetrica 15 metri è pressochè rettilineo.
* il tratto compreso tra la batimetrica 15 metri e la linea di riva è caratterizzato da una forte deviazione, che si verifica essere piuttosto accentuata nella zona a levante dell'opera. L'ortogonale d'onda curva infatti verso la battigia, tendendo a disporsi perpendicolarmente alla linea di costa. Tale effetto è dovuto alla rifrazione.
* Da notare che la zona della foce del Torrente Armea, risulta essere protetta da tali ondazioni, per effetto della zona d'ombra creata dalla radice del molo sottoflutto.
* La divergenza delle ortogonali d'onda nella zona suddetta, provoca la diminuzione dell'energia spettrale contenuta tra due ortogonali d'onda contigue ed una conseguente attenuazione del moto ondoso che risulta piuttosto marcata nella zona a levante dell'opera. L'altezza d'onda spettrale ricavata, nella zona situata a levante del Torrente Armea, risulta essere pari a 0.65 m.

Si noti che l'onda si presenta stabile dal largo verso riva, ed in particolare raggiunge la condizione di frangimento in prossimità della battigia.

1.3.2.2.2 Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 1.70 m – Periodo pari a 5.50 s

Le ortogonali d'onda ripetono l'andamento illustrato al punto precedente, manifestando generalmente una curvatura verso la battigia, più accentuata nella zona a levante dell'opera. L'altezza d'onda spettrale ricavata nella zona a levante dell'opera risulta in condizioni di stabilità fino alla profondità di 2 metri circa, ove subisce il processo di frangimento.

1.3.2.2.3 Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 5.65 m – Periodo pari a 10.73 s

Le ortogonali d'onda ripetono l'andamento illustrato al punto precedente, manifestando generalmente una curvatura verso la battigia, più accentuata nella zona a levante dell'opera. L'altezza d'onda spettrale ricavata nella zona a levante dell'opera rimane in condizioni di stabilità fino alla profondità pari a 4.5 metri circa, oltre la quale si propaga in condizioni di frangimento.

1.3.3. Traversia di Scirocco: direzione media di avanzamento 135°N

Nel presente paragrafo si illustrano le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza dell'opera.

1.3.3.1 Caratteristiche del moto ondoso a largo

Le caratteristiche del moto ondoso a largo, per le ondazioni più frequenti sono illustrate nella tabella seguente :

Tab. 3.1 : DIREZIONE DI TRAVERSIA DA SCIROCCO 135° N
CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO A LARGO

Settore di traversia	**Direzione media di provenienza rispetto al** N (°)	Altezza d'onda (m)	Periodo d'onda (s)	Frequenza di accadimento **(%)**
Scirocco 135°N	135°	0.65	3.47	**9.50**
		1.15	4.61	**12.00**
		2.10	6.23	**3.50**

1.3.3.2. Caratteristiche del moto ondoso su acqua bassa

1.3.3.2.1 Scirocco: Altezza d'onda a largo H=0.46 m - Periodo d'onda T=3.05 s

L'andamento delle ortogonali d'onda su acqua bassa è pressoché rettilineo e non presenta cambiamenti di direzione rilevanti. Le altezze d'onda decrescono dal largo verso riva.
L'onda si presenta sempre stabile durante la propagazione, ed in particolare raggiunge la condizione di frangimento in corrispondenza della battigia.
Nella zona litoranea situata a levante dell'opera, l'altezza d'onda spettrale risulta essere pari a 0.40 metri circa.

1.3.3.2.2 Scirocco: Altezza d'onda a largo H=1.15 m - Periodo d'onda T=4.83 s

L'andamento del moto ondoso presenta le stesse caratteristiche descritte al punto precedente, ed il raggiungimento della condizione di frangimento avviene in corrispondenza della battigia.
L'andamento dell'altezza d'onda è pressoché decrescente dal largo verso riva.
Nella zona litoranea situata a levante dell'opera, l'altezza d'onda spettrale risulta essere pari a 0.80 metri circa.

1.3.3.2.3 Scirocco: Altezza d'onda a largo H=2.53 m - Periodo d'onda T=7.18 s

L'andamento del moto ondoso presenta le stesse caratteristiche descritte al punto precedente, ed il raggiungimento della condizione di frangimento si manifesta alla profondità di 2 metri circa.
L'andamento dell'altezza d'onda è pressoché decrescente dal largo verso riva.

2. Tendenza evolutiva del litorale attorno all'area in esame

2.1 Premessa

Nel presente paragrafo si illustra lo studio morfodinamico dell'area in esame.
Si illustrano i parametri di input del modello: parametri sedimentologici e meteomarini. I parametri sedimentologici sono essenzialmente costituiti dai diametri statistici dei sedimenti (D_{16}, D_{35}, D_{50}, D_{84}, D_{90},). I parametri meteomarini sono essenzialmente l'altezza d'onda, il periodo d'onda, la direzione media di avanzamento, l'indice di frangimento (wave breaking) e la profondità in corrispondenza del frangimento. Nella sezione di frangimento infatti, iniziano ad instaurarsi le condizioni di trasporto di sedimenti che caratterizzano i processi costieri di modellamento al fondo.

Si determinano le condizioni medie di inizio modellamento al fondo nelle condizioni di moto ondoso più frequente. Il modello impiegato è il modello di Shields modificato per il moto ondoso (Università degli studi di Genova - G. Scarsi & L. Rebaudengo). In pratica si calcola il diametro medio dei sedimenti che possono essere potenzialmente trasportati dalla corrente. Tale calcolo serve per verificare, se nelle zone considerate è potenzialmente probabile il trasporto dei sedimenti ivi depositati e la fascia media di sedimenti potenzialmente trasportabili.

2.2 Calcolo della tendenza evolutiva

2.2.1 Premessa

I parametri sedimentologici e meteomarini riportati di seguito si riferiscono alla sezione trasversale della battigia, situata in corrispondenza del paraggio in esame.

2.2.2 Parametri sedimentologici

Si riportano di seguito i parametri sedimentologici utilizzati nel modello di trasporto solido, già definiti nei paragrafi precedenti

Tab. C1.1 PARAMETRI SEDIMENTOLOGICI DEI CAMPIONI PRELEVATI NELL'AREA D'INTERVENTO

Parametro	Campione Profondità 4 m	Campione Profondità 8 m	Campione Profondità 12 m	Campione Profondità 16 m		
D_{16} (mm)	10.61	1.85	2.20	3.55		
D_{35} (mm)	3.15	1.26	1.57	2.33		
D_{50} (mm)	2.32	0.95	1.29	1.73		
D_{84} (mm)	0.65	0.53	0.82	0.93		
D_{90} (mm)	0.49	0.11	0.70	0.76		
% Sabbia	45	87	84	57		

Essi sono stati dedotti da un'indagine sedimentologica eseguita nell'area in esame (documento a disposizione dello scrivente).

2.2.3. Parametri meteomarini

Si illustrano di seguito i parametri meteomarini utilizzati nel modello, relativi al rilievo effettuato nello stato attuale. Essi sono raggruppati in tabelle per ogni direzione di traversia.

2.3.3.1 Traversia di Libeccio: direzione media di avanzamento 194°N

Tab. C2.1.1 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 0.90 m – Periodo pari a 4.08 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	----	< 1m	----	7.50	battigia	----

Tab. C2.1.2 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 1.70 m – Periodo pari a 5.60 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	spilling	2.61	1.95	5.30	100	0,75

Tab. C2.1 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Libeccio: Altezza d'onda a largo pari a 4.80 m – Periodo pari a 9.42 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	spilling	4,52	3,44	1.00	150	0,76

Dalla tabella si deduce che il frangimento è di tipo 'spilling', cioè causato da una elevata ripidità dell'onda. Ciò è confermato dal 'Wave breaking index' pari a circa 0.7-0.8, Si noti che il frangimento inizia più a largo rispetto agli altri casi.

2.2.3.2 Traversia di Scirocco: direzione media di avanzamento 135°N

Tab. C2.2.1 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Scirocco: Altezza d'onda a largo pari a 0.65 m – Periodo pari a 3.47 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	----	< 1 m	----	9.5	battigia	----

Tab. C2.2.2 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Scirocco: Altezza d'onda a largo pari a 1.15 m – Periodo pari a 4.61 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	----	< 1 m	----	12.0	battigia	----

Tab. C2.2.3 PARAMETRI METEOMARINI UTILIZZATI NEL MODELLO DI TRASPORTO SOLIDO MOTO ONDOSO FRANGENTE

Scirocco: Altezza d'onda a largo pari a 2.10 m – Periodo pari a 6.23 s

ZONA	PENDENZA MEDIA FONDALE	TIPO DI FRANGIM.	PROF. DI FRAG. (m)	ALTEZZA D'ONDA (m)	Frequenza di annuale di accadimento (%)	DISTANZA DALLA COSTA (m)	WAVE BREAKING INDEX
1	0.03	spilling	1.73	1,34	3.50	60	0,77

Dalla tabella si deduce che il frangimento è di tipo 'spilling', cioè causato da una elevata ripidità dell'onda. Ciò è confermato dal 'Wave breaking index' pari a circa 0.7-0.8.

2.2.4 Analisi della tendenza evolutiva del litorale attorno all'area in esame

L'analisi viene condotta utilizzando il modello di Shields definito per il moto ondoso (Università di Genova - G.Scarsi L. Rebaudengo). Esso a partire dai dati meteomarini riferiti alle zone esaminate, permette di ricavare il diametro d, di inizio del modellamento del fondo alla profondità h del frangimento.

2.2.4.1.Determinazione del diametro di inizio modellamento al fondo

2.2.4.1.1 Introduzione

In questo paragrafo si determinano le condizioni di inizio modellamento del fondo. L'inizio del modellamento del fondo è caratterizzato da un movimento d'assieme delle particelle. Il diametro caratteristico delle particelle, che sotto l'azione del moto ondoso di maggiore frequenza annuale modifica e modella il fondo è qui inteso come diametro di inizio del modellamento al fondo. Tutte le particelle aventi diametro inferiore partecipano al modellamento del fondo, viceversa maggiore è la dimensione della particella è minore è la probabilità che essa si muova.

Di seguito si illustrano le fasi del calcolo:

a) determinazione dei parametri meteomarini di entrata del modello
b) determinazione del diametro di inizio del modellamento al fondo in corrispondenza della profondità di frangimento delle ondazioni più frequenti, nelle zone d'interesse.
c) Confronto tra il diametro calcolato al punto precedente ed il diametro D_{50} rilevato.

2.2.4.1.2 Parametri di entrata del modello

Per la definizione del modello si utilizzano i seguenti parametri:

- parametro d'onda H/gT^2 ;
- parametro di profondità h/gT^2 ;
- parametro di periodo g^2T^3/v;

2.2.4.1.3 Diametro di inizio modellamento al fondo per le zone considerate.

Nelle tabelle seguenti, per ogni ondazione più frequente, si illustra il diametro di inizio modellamento al fondo

Tab. C2.1 DIAMETRO DI INIZIO MODELLAMENTO AL FONDO - ZONA 1

Traversia	**Periodo d'onda su profondità infinita** (s)	**Frequenza di annuale di accadimento** (%)	**Altezza d'onda al frangimento** (m)	**Periodo d'onda su profondità finita** (s)	**Profondità di frangimento** (m)	**Diametro di inizio modellamento al fondo** (mm)
Libeccio	4.08	7.50	----	4.08	battigia	----
Libeccio	5.60	5.30	1.95	5.60	2.61	1.98
Libeccio	9.42	1.00	3,44	9.42	4,52	2.20
Scirocco	3.47	9.50	----	3.47	battigia	----
Scirocco	4.61	12.00	----	4.61	battigia	----
Scirocco	6.23	3.50	1,34	6.23	1.73	0.56

2.2.4.2. Considerazioni conclusive

Considerando che:

- le profondità di frangimento valutate in corrispondenza delle ondazioni più frequenti sono inferiori a 2,5 m per le ondazioni da libeccio e sono inferiori ed a circa 1.7 m per le ondazioni da scirocco;
- il diametro medio D_{50} rilevato per tali profondità risulta pari a 2.32 mm
- il diametro medio D_{84} rilevato per tali profondità risulta pari a 0.65 mm
- il diametro di inizio del modellamento al fondo risulta essere dello stesso ordine di grandezza del diametro medio D_{50} rilevato, solo per le ondazioni di Libeccio
- il diametro di inizio del modellamento al fondo risulta essere dello stesso ordine di grandezza del diametro medio D_{84} rilevato, sia per le ondazioni di Libeccio e sia per le ondazioni da Scirocco.

Ed in base alle seguenti deduzioni:

- La disponibilità di materiale al fondo nell'area in oggetto risulta piuttosto limitata. Tale circostanza è dovuta alla presenza di un litorale fortemente antropizzato ed anche dallo scarso apporto di materiale al fondo del T. Armea.

FIGURA N°2: litorale presso Capo Verde

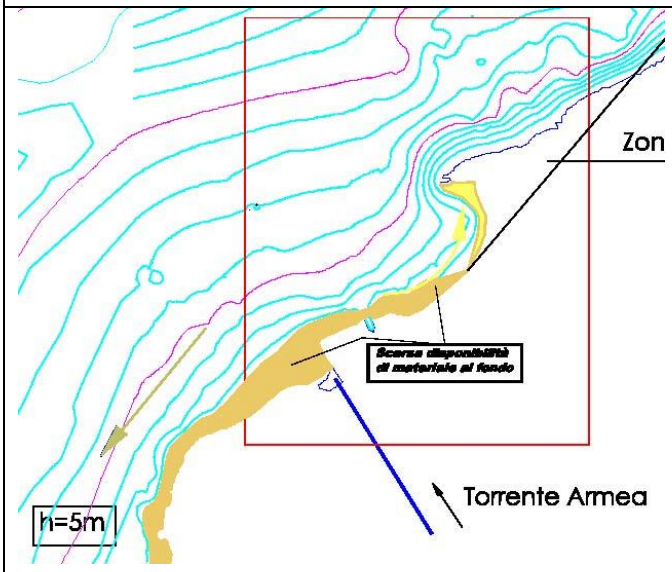
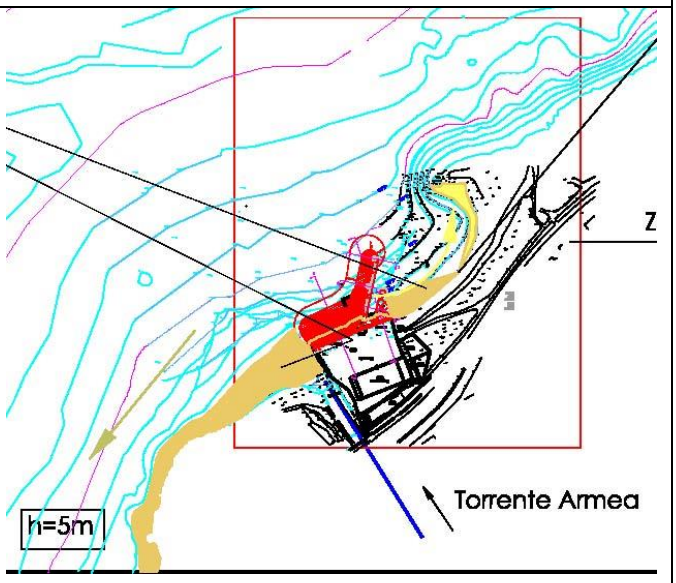


Come mostrato nella relazione preliminare ambientale, il litorale posto a levante della foce del t. Armea, unico tratto non soggetto ad interventi antropici, è rimasto pressoché invariato negli ultimi 70 anni.

- Tale aspetto non consente un trasporto litoraneo apprezzabile sia da levante che da ponente.
- Nella zona del molo di alaggio non si prevedono apporti di materiale al fondo né da ponente e né eventualmente da levante (infatti la profondità di frangimento delle ondazioni più frequenti da scirocco, risulta sempre inferiore alla profondità della testata molo sopraflutti);

Nelle tavole seguenti si mostra l'andamento potenziale del trasporto solido complessivo per le traversie di Scirocco e Libeccio e per le ondazioni più frequenti, nello stato attuale e nello stato di progetto:

FIGURA N°3: Andamento trasporto solido

Stato attuale	Stato di Progetto
	

La tavola evidenzia la tendenza potenziale di trasporto solido (verso levante colore marrone, verso ponente colore giallo). Il calcolo si riferisce alle ondazioni più frequenti ed il grafico mostrato considera il bilancio globale di trasporto solido per tutte le traversie.

Trattandosi di trasporto potenziale, e considerando la limitata disponibilità di materiale al fondo nell'area in oggetto, non si prevedono apprezzabili evoluzioni della costa (che è rimasta invariata da 70 anni).

Si conclude che nella zona del molo di alaggio non si prevedono apporti di materiale al fondo né da ponente e né eventualmente da levante (infatti la profondità di frangimento delle ondazioni più frequenti da scirocco, risulta sempre inferiore alla profondità della testata molo sopraflutti);

3. Studio Idraulico-marittimo della foce del T. Armea

3.1 Introduzione

Nel presente paragrafo si valuta il regolare deflusso del Torrente Armea, considerando le interazioni con gli elementi strutturali dell'opera in oggetto. La valutazione si basa su uno studio morfodinamico tridimensionale, applicato al paraggio in oggetto.

Dal punto di vista del regolare deflusso del Torrente Armea, si registra che l'opera in progetto non varia, in generale, il regolare deflusso del Torrente Armea

3.2 Generalità relative allo studio morfodinamico tridimensionale del Paraggio.

Nel presente paragrafo si illustra l'inquadramento generale del Torrente Armea, e si valuta l'interazione idraulica, tra la foce dello stesso, e la nuova opera in progetto. La valutazione si esegue considerando l'azione del moto ondoso in corrispondenza della foce del Torrente, prima e dopo la costruzione dell'opera.
Nel confronto tra i due scenari, si rileva, che lo Stato Attuale, comporterebbe una leggera diminuzione dell'altezza del moto ondoso in corrispondenza della foce del torrente, nel caso di mareggiate provenienti dalla traversia di Libeccio.

3.3 Inquadramento generale

3.3.1 Inquadramento generale

La superficie del bacino idraulico del torrente Armea è pari a circa 38 Kmq, mentre la lunghezza del corso d'acqua principale è pari a circa 16 Km.
Il bacino è caratterizzato da forma a "bandiera", con il tratto terminale orientato NNW/SSE e la testata deviata in direzione WNW/ESE.
A Nord lo spartiacque segue i crinali di Monte Collettazzo (1233 m), M. Alpicella (1238 m), M. Merlo (1013 m); a ovest passa da Punta Lodiro (1083 m), M. Bignone (1299 m), M. Colma (649 m); a Est passa da Punta Pistorin (483 m) e M. S. Maria (463 m).
Si tratta di un bacino di ridotte dimensioni, caratterizzato da versanti particolarmente acclivi (classi di acclività prevalenti dal 35 al 75%).
Il torrente Armea è così denominato a partire dalla confluenza dei rii Gordola, Armena, Verna e Bellando, circa a quota 480 m.
Il suo corso si presenta regolare, con ampie anse, fino a valle della confluenza con il fosso Pampara, dove acquista un carattere meandriforme e cambia nettamente direzione, da WNW/ESE a NNW/SSE; nella parte terminale il corso diviene rettilineo con anse poco pronunciate.
Il tratto di valle compreso tra il viadotto autostradale e Ceriana è caratterizzato da coltivazioni prevalentemente ad olivo e vite, con tessuto residenziale rado, inframezzate ad aree a bosco o con vegetazione rada o assente.
Il tratto tra la foce ed il viadotto autostradale è occupato dalla zona industriale della Valle Armea, con aree di urbanizzazione discontinua, importanti infrastrutture (discariche, complesso carcerario, mercato floricolo), attività artigianali e commerciali, coltivazioni floricole in serra e in pienaria.

Gli insediamenti antropici sono avvenuti in maniera disordinata, invadendo aree di pertinenza fluviale con riporti e infrastrutture, rendendo questa porzione di territorio molto critica dal punto di vista idraulico.

Il tratto terminale del torrente Armea, a partire dalla foce e risalendo verso monte, è caratterizzato da un alveo naturale con sponde a tratti in c.a. e tratti a scarpata naturale. Gli attraversamenti che si incontrano sono, a pochi metri dal mare, i ponti della ex linea ferroviaria Genova-Ventimiglia e della S.S. n° 1 Aurelia. Il ponte ex FS è un ponte ad arco di larghezza pari a circa 20 m e un'altezza di circa 9 m, mentre il ponte dell'Aurelia, sempre ad arco ma con sezione ribassata, ha una larghezza di circa 20 m e un'altezza di circa 6,5 m.
A monte dei ponti le sponde del corso d'acqua sono arginate solo parzialmente con necessità di completamento. A circa 300 m dalla foce è presente la tombinatura del Mercato dei Fiori di Sanremo, costituita da una struttura in c.a. con setto centrale della lunghezza massima pari a 575 m.
Sulla copertura è stata realizzata una viabilità pubblica che permette il collegamento tra le due sponde e consente nel frattempo lo smaltimento del traffico legato all'attività commerciale floricola.
Circa 300 m a monte della tombinatura sopra descritta si incontrano le opere connesse alla nuova viabilità costituita dalla variante alla S.S. n° 1 (Aurelia Bis), rappresentate da un insieme di strutture in c.a. comprensive di argini, traverse, ponti e viadotti; tali opere si sviluppano per una lunghezza complessiva di circa 400 ml.

3.3.2 Valutazione delle portate idrauliche allo stato attuale

Le portate indicate nel Piano di Bacino sono le seguemti:

SUPERFICIE TOTALE kmq	50 anni	200 anni	500 anni
38 km^2	320 m^3/s	470 m^3/s	560 m^3/s

3.4 Verifiche di calcolo

Il calcolo del moto ondoso interagente con le strutture in progetto, ed in particolare con la diga di sopraflutti, nel tratto alla radice (in corrispondenza della foce del Torrente Armea), si esegue secondo quanto indicato di seguito.

Nel caso di traversia da libeccio, come mostrato nei piani d'onda, le onde vengono diffratte dal molo sopraflutti.

Il calcolo del coefficiente di dffrazione si esegue consideando il diagramma di Wiegel sotto rappresentato e valutando le ondazioni da libeccio:

FIGURA N°4: abaco di Wiegel

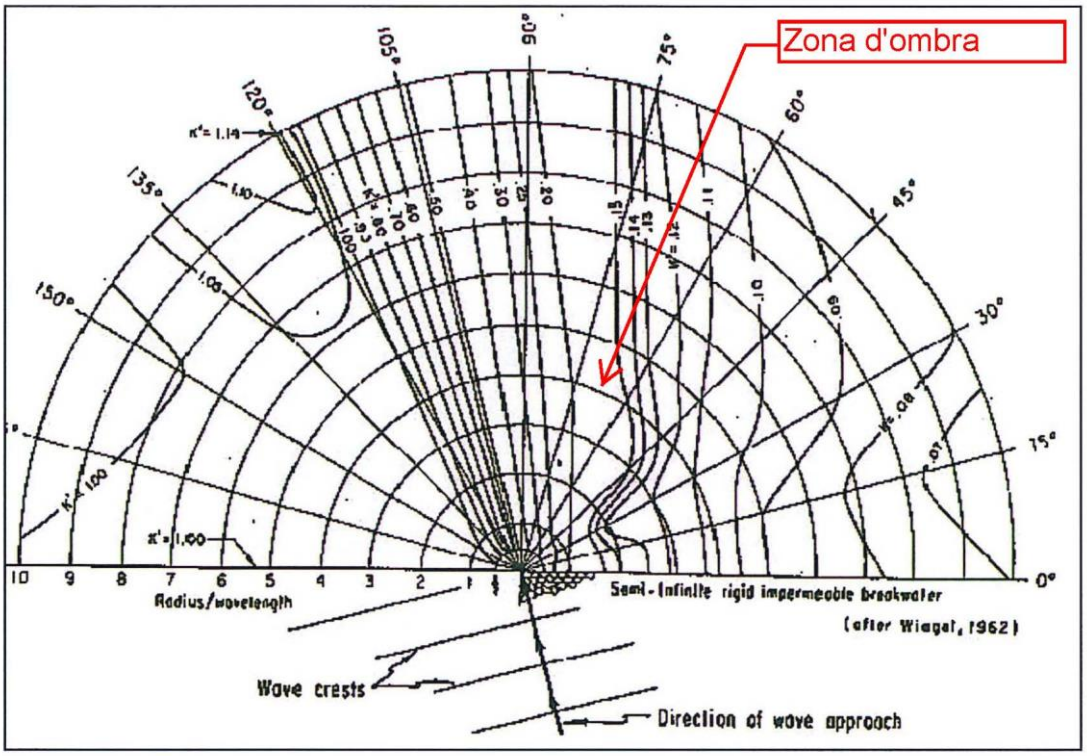


fig.11 - Abaco di Wiegel: direzione di incidenza -15° (240°N)

La figura mostra che per le ondazioni da libeccio la radice del molo sopraflutti, genera una zona d'ombra proprio in corrispondenza della foce del T. Armea, permettendo di fatto una lieve diminuzione dell'altezza d'onda incidente.

Nelle seguenti tabelle si illustrano, per ogni traversia, i risultati dei calcoli eseguiti. Da essi si desume che nel confronto tra lo stato attuale e lo scenario di progetto, si registra, rispetto allo stato attuale, una lieve diminuzione dell'altezza d'onda di progetto in corrispondenza della traversia di libeccio (specie per le ondazioni più frequenti che presentano direzioni di attacco, rispetto all'asse della diga, più ridotte).

Tab. 1 : DIREZIONE DI TRAVERSIA DA LIBECCIO 194° N
MOTO ONDOSO IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL T.ARMEA

Settore di traversia	Altezza d'onda Stato Attuale (m)	Periodo d'onda (s)	Altezza d'onda Stato Attuale (m)	Frequenza di accadimento (%)
Libeccio 194°N	0.62	4.08	0.50	1.90
	0.95	5.60	0.70	2.70
	2.10	9.42	2.00	1/5 anni
	2.20	12.16	2.10	1/10 anni

Cfr. Tabella. L'altezza d'onda di stato attuale è stata calcolata come indicato nei paragrafi precedenti (propagazione moto ondoso dal largo a riva. L'altezza d'onda di Stato Attuale è stata calcolata considerando gli effetti di diffrazione del molo sopraflutti

Per la traversia di Scirocco non ci sono invece variazioni apprezzabili. Il calcolo per tale traversia viene eseguito mediante il modello che adopera la formula di Seeling, e considera l'interazione onda-struttura (le onde da scirocco incidono sulla scogliera del molo radice, come rappresentato nei piani d'onda) e quindi le dissipazioni provocate dalla risalita dell'onda sulla massicciata della diga sottoflutti. La relazione proposta da Seeling, viene mostrata qui di seguito:

FIGURA N°5: Formula di Seeling

Wave Reflection coefficients for Non-Overtopped Sloping Structures Based on Seelig (1983) Equation

Head-on waves

$$C_r = \frac{a\,\xi^2}{(b+\xi^2)} \qquad \xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H}{gT^2}}} \qquad \text{(VI—5—38)}$$

For irregular wave H is replaced by H_s, T is replaced either by T_p (ξ_{op}) or T_m (ξ_{om}).

Fitted coefficients in Eq VI-5-38

L'interazione onda-scogliera del molo radice, produce una diminuzione trascurabile dell'altezza d'onda incidente, per altro apprezzabile in prossimità della scogliera stessa. Come indicato nella tabella seguente i valori di stato attuale e di progetto possono ritenersi coincidenti:

Tab. 2 : DIREZIONE DI TRAVERSIA DA SCIROCCO 135° N
MOTO ONDOSO IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL T.ARMEA

Settore di traversia	Altezza d'onda Stato Attuale (m)	Periodo d'onda (s)	Altezza d'onda Stato Attuale (m)	Frequenza di accadimento (%)
Scirocco 135° N	0.5	3.47	0.5	1.90
	0.75	4.61	0.75	2.70
	1.5	6.23	1.5	1/5 anni
	1.7	7.81	1.7	1/10 anni

Nel confronto tra i due scenari di stato attuale e di Stato Attuale, considerando le due traversie principali, si rileva, che lo Stato Attuale, comporterebbe un lieve abbattimento dell'altezza del moto ondoso in corrispondenza della foce del torrente, nel caso di mareggiate provenienti dalla traversia di Libeccio (specie per le ondazioni più frequenti che presentano direzioni di attacco, rispetto all'asse della diga, più ridotte). Mentre nel caso di mareggiate da Scirocco, non si hanno variazioni apprezzabili.

In conclusione, si ritiene dunque che lo Stato Attuale non comporta modifiche sostanziali al deflusso del Torrente Armea.

4. Conclusioni

La presente relazione mostra le risultanze del modello morfodinamico applicato allo stato attuale ed allo Stato Attuale, dimostrando che le opere in progetto non apportano modifiche sostanziali rispetto allo stato attuale.

A corredo della presente relazione, si allegano le tavole grafiche relative ai piani d'onda ed all'andamento degli stati di mare per le due traversie principali da libeccio e da scircco.

Elenco allegati:

Allegato 1: tavole del modello morfologico tridimensionale dalla 0.1 alla 5.4

Allegato 2: tavole del modello morfologico tridimensionale dalla 6.1 alla 10.2